

COMPLETAÇÃO DE POÇOS

I. B. MARIANO *
E. L. SILVEIRA **

I. OBJETIVO

No âmbito deste trabalho, define-se como completação de poço, aos serviços que vão desde o término de perfuração até aos testes finais de bombeamento, passando pelas etapas subsequentes:

- a - perfilagem x amostragem
- b - dimensionamento da coluna: tubos lisos x filtros
- c - descida da coluna de produção
- d - injeção de pré-filtro
- e - desenvolvimento
- f - testes finais.

De acordo com o objetivo do 4º Encontro Nacional de Perfuradores de Poços serão abordados, dentro da Completação de Poço, os assuntos relativos ao desenvolvimento, controle e análise de resultados.

II. DESENVOLVIMENTO DE POÇO

Todo o processo de perfuração de um poço altera, em maior ou menor grau, as condições do aquífero no local, incorporando materiais impermeáveis às formações aquíferas, misturando granulometrias, fechando fraturas, rebocando as paredes do poço com lama, etc.

Conforme fig. 01, supõe-se que o cilindro de raio D é o limite do raio de influência de um poço em exploração, de diâmetro $D_3 = 20$ cm (8") e de vazão constante Q , sendo D_2 o diâmetro de um cilindro intermediário. Em geral, $Q = A.v$, sendo $A =$ área lateral dos cilindros. Percebe-se que, se a vazão mantém-se constante e as áreas laterais diminuem, a velocidade tem que aumentar fortemente, e até, muitas vezes, mudar o padrão de fluxo (de laminar a turbulento), incrementando-se as perdas de carga. As alterações produzidas na perfuração provocam velocidades ainda maiores, com as consequências conhecidas, de altos rebaixamentos, produção de areia e incrustação e corrosão nos filtros, entre outros problemas.

O desenvolvimento tende a reduzir as resistências provocando permeabilidades maiores nas vizinhanças do poço.

II.1 - Definição e Objetivo

Define-se como desenvolvimento ao processo de tratamento de poços por meios mecânicos, hidráulicos e químicos, com a finalidade de obter a melhor eficiência hidráulica possível do sistema de extração de água subterrânea.

As vantagens do desenvolvimento estão correlacionadas com a estabilidade da parede do poço, acomodação do pré-filtro em aquíferos não consolidados e a eliminação dos efeitos negativos causados pela perfuração.

* Geólogo do Departamento de Águas e Energia Elétrica

** Tecnólogo do Departamento de Águas e Energia Elétrica

Dependendo das circunstâncias, usam-se vários métodos de desenvolvimento e várias substâncias químicas complementares. Discriminam-se, a seguir, os métodos dos mais comuns e as condições em que são usados:

II.2 - Desenvolvimento de poços em aquíferos não consolidados

Neste caso, os procedimentos usados chamam-se de "reversão de fluxo". Consistem em geral em atrair, para dentro do poço, parte dos finos da formação. Um fluxo unidirecional até o poço atrairá certos grãos finos; outros grãos formarão uma ponte, opondo-se à direção do fluxo (Fig. 02). Para destruir essa ponte, inverte-se a direção do fluxo (para fora do poço), o que ocasionará a formação de nova ponte na direção oposta. O processo repete-se até não obter mais areia fina.

Os métodos podem dividir-se em cinco categorias principais, em ordem de utilização:

II.2.1 - Superbombeamento simples

Consiste em bombear o poço a uma vazão maior que a do projeto. Passado algum tempo, pára-se a bomba, deixa-se esvaziar a coluna de descarga. Com este procedimento cria-se um fluxo até o poço, com formação de pontes, e logo um fluxo para o exterior do poço, destruindo-se as pontes. Repete-se esta operação até obter pouca areia. O método é muito usado, mas geralmente não é eficiente. A ação de reversão concentra-se nas vizinhanças dos filtros mais próximos à bomba.

II.2.2 - Superbombeamento com reversão (rawhiding)

O sistema é similar ao usado para o superbombeamento simples. A bomba, porém, deve ser de eixo prolongado e não deve ter válvula de retenção, ou qualquer outro implemento que não permita a rotação invertida da bomba, quando esta parar. O poço é bombeado por etapas (por exemplo, 1/4, 1/2, 1, 1 1/2 ou 2 vezes a capacidade do projeto). Ao início de cada etapa, bombeia-se o poço até não haver produção de areia, ou que se haja chegado a uma produção aceitável. Pára-se o motor e deixa-se a água dentro da coluna sair livremente pelo crivo da bomba, destruindo as pontes. Repete-se o ciclo à mesma vazão, até que a água esteja relativamente limpa. A vazão é incrementada e opera-se na mesma forma em todas as etapas. Este tipo de desenvolvimento é definitivamente superior ao de superbombeamento simples, mas quando usado isoladamente produz o desenvolvimento parcial dos filtros. O método é usado como um procedimento de finalização, após um desenvolvimento feito com qualquer dos outros métodos que se descrevem em seguida. Um dos problemas que apresenta é o da possibilidade do eixo da bomba se desenroscar durante a inversão do fluxo.

II.2.3 - Desenvolvimento com pistão

O pistoneamento é um dos métodos mais antigos, sendo considerado como um dos mais efetivos para o desenvolvimento de poços. É aplicável especialmente em máquinas de perfuração a percussão, podendo também ser usado em máquinas do sistema rotativo, porém com certas dificuldades.

Em geral, os pistões podem ser sólidos, semisólidos (com válvulas) ou de molas. Os sólidos e semisólidos consistem de um corpo de aço ou de madeira, com diâmetro de uma ou duas polegadas menor que os filtros ou tubos de revestimento, de vários discos de 1/4" a 1/2" de espessura e de diâmetro igual

ao dos filtros ou tubos. Os discos podem ser de borracha ou de qualquer outro material similar. Os pistões semi-sólidos têm válvulas que fecham no percurso do pistão para cima, e permitem a passagem de água no percurso para baixo, minimizando o efeito do retorno de água para o pré-filtro e para o aquífero. Os pistões de molas são assim chamados por possuírem uma mola entre cada grupo de discos e podem ter, ou não, válvulas.

Nas figuras de 3 a 5 aparecem os tres tipos básicos de pistão. Sofrem pequenas modificações, dependendo do fabricante, que geralmente é a firma perfuradora. São colocados na haste de perfuração para garantir o percurso para baixo, por gravidade.

As etapas para executar um processo de pistoneamento são as seguintes:

- a - antes de se iniciar, o poço deve estar limpo até o fundo. O cabo deve ser marcado com a profundidade total e as profundidades onde estão colocados os filtros. Identificam-se, assim, a quantidade de material que entra no poço durante o desenvolvimento e os intervalos onde se deve pistonear;
- b - a operação começa acima do primeiro intervalo, para evitar que o pistão fique travado com a areia que penetra no poço. Continua-se descendo o pistão até a outra profundidade determinada, e assim por diante, até o último intervalo. Usa-se o maior percurso do excêntrico e a menor velocidade da máquina. A seguir, levanta-se o pistão até o primeiro local, sem pistoneando nos intervalos definidos;
- c - o procedimento anterior é repetido usando-se o mesmo percurso, aumentando-se, porém, a velocidade, até atingir a máxima possível, que é a que pode manter o cabo em tensão no percurso para baixo. Não se deve permitir que a haste saia do prumo e bata no revestimento;
- d - depois de cada etapa do processo para cima, o pistão (ou a caçamba) deve descer no poço para registrar o acúmulo de material. Quando este material atinge quantidades apreciáveis, extrai-se com caçamba. A quantidade acumulada em cada etapa deve ser registrada para ter dados do progresso do desenvolvimento;
- e - cada vez que o pistão for retirado do poço, deve-se medir os discos. A troca dos mesmos é efetuada quando o desgaste diminui em cerca de 19 mm o diâmetro inicial.
- f - as velocidades de início da operação são geralmente da ordem de 15 a 20 movimentos por minuto. Ditas velocidades dependem do tipo de máquina usada. Se se começa com uma operação muito forte, o poço pode ser danificado, especialmente em formações argilosas;
- g - o tempo necessário de pistoneamento difere de poço para poço. Deve-se, entretanto, ter sempre em mente alguns critérios que auxiliarão a defini-lo:
 - quantidade de areia desprezível na caçamba;
 - estabilização do pré-filtro;
 - quando o desenvolvimento por outros meios indique que não existe mais produção de areia.

Eventualmente usa-se a caçamba de válvula de pé (sem dardo) como um pistão semi-sólido, se a diferença de diâmetros entre o revestimento e a caçamba for de uma polegada ou menos.

Em qualquer caso, a experiência e o critério do pessoal técnico encarre

gado do desenvolvimento são fatores da maior importância para o sucesso da operação.

II.2.4 - Desenvolvimento com Ar Comprimido

O desenvolvimento com ar comprimido é um método eficiente, mas que exige um equipamento relativamente considerável e habilidade por parte do perfurador. É, porém, muito usado e existe uma experiência boa nas firmas perfuradoras.

II.2.4.1 - Método do Poço Fechado (retrolavagem)

A figura 6 mostra a instalação típica para o desenvolvimento com ar comprimido. O sistema usado é basicamente chamado de "retrolavagem".

A água é alternativamente bombeada e forçada através do filtro e pré-filtro para o aquífero, por meio do ar que se introduz no poço por meio de um selo na parte superior do tubo de revestimento. Por meio de uma válvula de triplo efeito, injeta-se o ar comprimido pela tubulação de ar e a água é bombeada pela tubulação de descarga, cuja extremidade inferior está colocada de 30 a 60 cm acima do primeiro filtro. Quando a água fica relativamente limpa, corta-se a injeção de ar e abre-se a válvula de saída de ar, deixando a água do poço voltar ao nível estático. Escutando a saída do ar pela válvula, sabe-se quando esse nível é atingido, porque o ar deixa de sair, ou seja, a água não sobe mais. Fecha-se a válvula de saída (suspiro) e abre-se a tripla no sentido de injeção direta acima do nível estático. Esta operação força a água para a formação, agitando-a e rompendo as pontes formadas pelos grãos de areia durante a etapa de bombeamento.

Quando a água desce até o nível da tubulação de ar, poder-se-á escutar o ar saindo pelo tubo de descarga, indicando que o nível da água não desce mais. Neste ponto, a injeção de ar é interrompida e abre-se o suspiro, deixando a água voltar ao nível estático. Abre-se a válvula tripla injetando ar pela tubulação de ar e bombeia-se novamente. A rotina repete-se até que o poço esteja desenvolvido. Mede-se a profundidade do poço, e com a caçamba retira-se o material que possa ter-se depositado durante o desenvolvimento.

Este procedimento não é muito eficiente, salvo para seções curtas de filtro, ou de poço sem revestimento.

II.2.4.2 - Método do Poço Aberto (surgimento)

A figura 7 mostra a instalação típica para o desenvolvimento com ar comprimido em poços abertos.

É o sistema mais usado e que mais se assemelha ao pistoneamento, tendo o inconveniente de necessitar um tanque relativamente grande para o armazenamento de ar, o que às vezes é difícil de obter-se. A tubulação de ar é colocada dentro da tubulação de descarga de água. Para obter os melhores resultados, a submergência deve ser de 60% ou mais. Um operador experiente pode, porém, efetuar um desenvolvimento razoável com até 35% de submergência. O processo é de reversão de fluxo, bombeando normalmente e depois injetando grandes colunas de ar no poço, o que produz o efeito de uma entrada de água e ar, forte e repentina, na formação.

Ao início do desenvolvimento, o tubo de descarga de água é descido cerca

de 60 cm abaixo do fundo do filtro que será desenvolvido. A extremidade inferior do tubo de ar coloca-se a uns 30 cm acima da extremidade do tubo de descarga. Liga-se o compressor e bombeia-se o poço até obter água relativamente limpa. Desce-se a tubulação de ar a uns 30 cm sob a extremidade do tubo de descarga. Enquanto o tubo de ar é descido, enche-se o tanque à pressão máxima. Com o tanque cheio de ar, abre-se a válvula rapidamente; desta forma o ar entrará violentamente no poço, causando uma breve mas forte explosão de uma bolha de ar na região onde foi colocada a extremidade do tubo de ar e produzindo-se a reversão do fluxo. O tubo de ar é levantado à posição anterior e volta-se a bombear. O ciclo repete-se até obter água livre de areia, ou com pouca areia. Os ciclos repetem-se dentro dos filtros espaçando-se a operação, geralmente a cada 30 cm, dependendo da capacidade da instalação para injetar o ar. Desenvolvem-se assim, todos os filtros. Finalmente, limpa-se o fundo do poço, descendo as tubulações de água e de ar, na forma conhecida. Se não se obtêm resultados aceitáveis, usa-se uma bomba de areia de percussora, para efetuar a limpeza.

Sob condições de muita porosidade, o processo de desenvolvimento com ar deve ser usado com precaução, pelo perigo que existe de que parte do ar fique preso na formação, impedindo o fluxo da água ao poço. Um procedimento não muito eficiente, mas seguro, é o de manter o tubo de ar 1 ou 2 metros acima da extremidade do tubo de descarga e efetuar a reversão de fluxo com a água que desce pelo tubo de descarga ao interromper-se a operação.

A descarga de água, no desenvolvimento, deve ser dirigida a um recipiente, para observar o grau de eficiência e os progressos da operação.

No uso de qualquer um dos dois métodos de desenvolvimento com ar deve-se ter algum sistema que permita medir periodicamente o volume de areia acumulada no fundo do poço. Se a areia chegar perto do último filtro, o desenvolvimento deve ser interrompido e limpo o poço. Ao final do desenvolvimento, deve-se limpar o poço totalmente.

Quando os filtros possuem um comprimento superior a 6 metros, pode-se usar uma outra forma muito eficiente para o desenvolvimento. Na extremidade inferior do tubo de descarga colocam-se duas buchas de borracha ou material similar, separadas de 2 a 3 metros por barras com roscas, uma adaptada ao tubo e outra fechando o poço. Todo o desenvolvimento se efetua no espaço entre as duas buchas. O tubo e o aparelho vão sendo descidos até atingir o desenvolvimento de todo o filtro. O diâmetro das buchas é geralmente 1/4" menor que o diâmetro do filtro.

II.3 - Método do Jato de Água

Este método hidráulico é eficiente, especialmente em poços perfurados em rocha e em poços com filtros tipo NOLD ou espiralados. A ferramenta básica (figura 8) é um cilindro com dois ou mais bicos de 3/16" a 1/2 polegadas de diâmetro, espaçados regularmente na circunferência. A ferramenta acopla-se a uma tubulação de 1 1/2" de diâmetro, ou maior. À extremidade superior da tubulação acopla-se a uma bomba, por meio de um anel e uma mangueira, na mesma forma que na perfuração rotativa. A bomba deve ser de alta capacidade e alta pressão.

Bombeia-se água pela tubulação em quantidade e pressão adequadas para obter velocidades de 37 m/seg ou mais, pelos bicos. A tabela indica as vazões e velocidades para vários diâmetros de bicos:

Diâmetro do bico polegadas	Pressão: 100 lbs/pol ²		Pressão: 150 lbs/pol ²		Pressão: 200 lbs/pol ²	
	Veloc.saída m/seg	Vazão m ³ /h	Veloc.saída m/seg	Vazão m ³ /h	Veloc.saída m/seg	Vazão m ³ /h
3/16	36.6	2.04	45.7	2.72	52.4	2.95
1/4	36.6	4.08	45.7	4.77	52.4	5.22
3/8	36.6	8.17	45.7	10.45	52.4	12.03
1/2	36.6	15.00	45.7	18.62	52.4	21.12

A ferramenta é girada com baixa velocidade (1 revolução por minuto ou menor), mas não se deve mantê-la mais de 2 minutos a uma determinada profundidade, devendo ser descida sucessivamente em avanços aproximadamente iguais à metade do diâmetro dos filtros, até completar o desenvolvimento do poço. Durante a operação, a ferramenta deve girar constantemente. A água com areia que retorna, ou que sai pelo bico, é jateada contra o filtro, e se o jato se concentra em um ponto determinado ou em uma circunferência, por poucos minutos, provocará uma forte abrasão no filtro e até, eventualmente, poderá cortá-lo.

Este sistema é muito eficiente na remoção dos rebocos de lama bentonítica causados pela perfuração rotativa, e para a limpeza das formações de areia argilosa que foram colmatadas por um pistoneamento muito rápido e vigoroso. É particularmente eficiente no desenvolvimento de poços com pré-filtro. Sendo possível, é conveniente bombear a água do poço durante este tipo de desenvolvimento. Idealmente, a descarga da bomba deve exceder a dos jatos, de 1,5 a 2 vezes; esta prática remove os finos, quando são lavados e passados pelos filtros, mantém a água fluindo do aquífero ao poço, evitando a formação de cargas positivas, as que atuam no sentido de forçar os finos a voltarem para a formação. Geralmente usa-se ar comprimido para o bombeamento.

A descarga deve passar por um tanque, de modo que se possa aferir a quantidade de areia e avaliar a evolução do sistema, por meio dos materiais recolhidos no fundo do tanque. O tanque permite a recirculação da água à ferramenta, o que apresenta vantagem adicional quando são usados compostos químicos para o desenvolvimento.

II.4 - Desenvolvimento de Poço em Aquíferos Fraturados

Os poços sem revestimento, perfurados em rochas duras, supostamente não recebem benefício do desenvolvimento, mas a experiência demonstra o erro desta afirmação. Em materiais granulares consolidados, forma-se um reboco de lama e os grãos finos são forçados para dentro das paredes do poço, durante a perfuração. Em rochas fraturadas, onde as vazões dependem da interceptação de fraturas ou de aberturas por dissolução, o selo produzido durante a perfuração é praticamente o mesmo por invasão de lama ou pela injeção de materiais dentro das aberturas. Qualquer um dos métodos de desenvolvimento descritos pode, pois, ser usado efetivamente nestes poços.

Os poços perfurados em rochas carbonáticas são desenvolvidos com a adição de ácidos (sulfâmico ou muriático) que atacam os carbonatos, alargando as aberturas existentes e criando novas aberturas. Depois do tratamento com ácido, bombeia-se a solução até não haver mais ácido no poço. Posteriormente trata-se com polifosfatos e pistoneamento (ou jato). Em circunstâncias especiais o uso de explosivos (dinamite) em calcários provou ser eficaz como método de desenvolvimento, provocando fraturas. Com cargas de 25 a 50 kg de gelatina 60% ou equivalente, a cada 2 metros, produzem-se fraturas consideráveis na rocha.

No uso destes procedimentos existem riscos sérios, pelo que as operações devem ser bem planejadas, executadas por pessoal experimentado, com equipamento adequado e com precauções estritas de segurança.

Os poços em basalto e em cristalino, não importando o método de perfuração usado, devem ser desenvolvidos com polifosfato e depois, com jato, pistoneamento ou ambos.

II.5 - Fraturamento Hidráulico

O fraturamento hidráulico é de eficiência limitada para incrementar a vazão de rochas sedimentares, cristalinas e vulcânicas. Usam-se buchas infláveis colocadas na extremidade de um tubo e isolam-se com elas 2 ou 3 metros de poço. O tubo e a seção isolada são encheidos de água e aplica-se a pressão de uma bomba para produzir fraturas na rocha. A continuação do bombeamento incrementa a pressão e provoca fraturas adicionais.

O fraturamento com areia consiste em bombear tamanhos e tipos selecionados de areia dentro das fraturas para abri-las mais e mantê-las abertas. Alguns poços mostraram incrementos de vazão de até 200% com a aplicação deste método, mas em todos os casos a vazão foi pequena, da ordem de 500 a 1000 litros/hora.

II.6 - Substâncias Químicas no Desenvolvimento

Para uso adicional no desenvolvimento são usadas numerosas substâncias químicas. As mais comuns são os polifosfatos: tripolifosfato de sódio ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$), pirofosfato sódico ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) e hexametáfosfato sódico ($\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{21}$), este último provavelmente o mais usado no Brasil. Estes compostos atuam como defloculadores e dispersantes de argilas e outros materiais de grão fino. Facilitam a remoção do reboco de lama do poço e das frações argilosas dos aquíferos, quando se efetua o desenvolvimento. Uma mistura muito usada para o desenvolvimento é composta de 7.5 kg de polifosfato, 2 kg de carbonato sódico, 1 litro de hipoclorito de sódio 6%, para cada 400 litros de água no poço. Em casos extremos, onde não existem polifosfatos disponíveis, usam-se detergentes em pó de uso doméstico que são, basicamente, polifosfatos. As vantagens são a economia e a formação de espuma.

III. CONTROLE DE DESENVOLVIMENTO

Uma vez realizado os serviços de desenvolvimento por qualquer que seja o método aplicado, único ou combinado, faz-se necessário efetuar uma avaliação para verificação se os serviços foram eficazes ou não.

A avaliação e o controle só pode ser obtido através de testes preliminares de bombeamento com a utilização de conjunto motobomba, uma vez que o

bombeamento por ar comprimido não apresenta bons resultados em função dos equipamentos mais comuns, normalmente de baixa capacidade (volume de ar e pressão) que na maioria dos casos não permitem bombear a vazão igual ou superior à do projeto.

III.1 - Testes de Produção

O rebaixamento real, medido num poço em bombeamento, é uma somatória de rebaixamentos devidos a perdas de carga no aquífero e as perdas de carga no poço (figura 9).

As perdas de carga no aquífero produzem o rebaixamento necessário para que a água flua para o poço em regime laminar e dependem, fundamentalmente, das características do aquífero (permeabilidade e porosidade) e do diâmetro do poço.

As perdas de carga do poço produzem um sobrerbaixamento que é uma soma dos seguintes fatores:

- . perdas de carga em torno do poço, devido ao aumento de velocidade da água. Este tipo de perda pode ser significativo em poços com filtros subdimensionados, ou mal desenvolvidos;
- . perdas de carga devidas à ascensão da água no poço, desde a zona filtrante até a bomba. Este tipo de perda só é significativo quando essa distância é grande ou quando o diâmetro da tubulação é pequeno em relação a vazão;
- . perdas de entrada na bomba; quando o espaço entre o corpo da bomba e a parede da tubulação é muito pequeno.

Segundo Jacob o rebaixamento real em um poço bombeado obedecem, aproximadamente à equação:

$$s = BQ + CQ^2 \quad (1)$$

onde: s é o rebaixamento real, medido no poço em bombeamento, em metros.
B é o coeficiente de perda do aquífero
C é o coeficiente de perdas do poço
Q é a vazão, em m³/hora

* Nesta equação distinguem-se dois tipos de fluxo: um fluxo laminar cuja equação (BQ) é linear seguindo Darcy, e um fluxo turbulento cuja equação é não linear. Na realidade esta última é do tipo CQ^n e Jacob usou a forma quadrática para simplificar, assimilando-a à fórmula de Manning (fluxo em canais). A resolução da equação CQ^n efetua-se por interações sucessivas, ou por métodos gráficos (Custódio). O uso da equação simplificada é muito generalizado e não produz distorções apreciáveis nos resultados na maioria dos casos.

O termo BQ da equação representa o rebaixamento devido às perdas do aquífero. O coeficiente B é função do tempo de bombeamento.

O termo CQ² representa o sobre-rebaixamento devido às perdas de carga do poço. O coeficiente C independe do tempo.

Para determinar os coeficientes B e C é necessário conhecer os rebaixa

mentos correspondentes a várias vazões distintas, ou seja, precisa-se efetuar um teste de bombeamento em etapas ou teste de produção.

III.1.1 - Execução

Antes de ligar a bomba faz-se 3 medidas de nível d'água, de meia em meia hora, a fim de certificar-se da posição do nível estático.

Estabelece-se o escalonamento das vazões de teste levando em conta a vazão prevista do poço e a capacidade de extração da bomba (a vazão do poço é avaliada durante o desenvolvimento).

As vazões devem ser, aproximadamente, de 40%, 60%, 80% e 100% da vazão prevista do poço (ou capacidade máxima da bomba) correspondentes a 1^a, 2^a, 3^a e 4^a etapas. Este número de etapas é tentativo, e pode ser incrementado ou diminuído de acordo com o critério do encarregado do teste e das condições de fluxo detectados no teste de vazão completa.

Decorrido os primeiros minutos de teste, passe a colocar as medidas em gráficos. Em papel "monolog" coloque os pontos de medida de nível d'água (ou de rebaixamento) em ordenadas e os tempos correspondentes em escala logarítmica.

Uma vez estabilizado o nível dinâmico para a 1^a vazão, passe para a 2^a etapa, procedendo da mesma maneira, isto é, obedecendo a sequência de tempos como se fosse um novo bombeamento. E assim sucessivamente até o final do teste.

Concluindo o teste, faz-se a representação gráfica dos rebaixamentos com o tempo, tal como indicado na figura 10.

Por fim, com os resultados do teste, organize o seguinte quadro sumário:

Etapa	Q (m ³ /h)	s (m)	s/Q (m/m ³ /h)	Duração (min)
1a.				
2a.				
3a.				
4a.				
Outras etapas				

Os valores de s (rebaixamento) correspondentes a cada etapa devem ser tomados a intervalos de tempo iguais e sempre referidos ao nível estático, para eliminar o fator tempo da equação.

III.1.2 - Determinação das Perdas de Carga

A equação (1) dos rebaixamentos, pode também ser escrita da seguinte forma:

$$s/Q = B + CQ \quad (2)$$

Esta equação caracteriza uma reta. Em um gráfico, em papel milimetrado (figura 11), em escala conveniente colocam-se em abcissas os valores Q_1 , Q_2 , Q_3 , Q_n do teste, e em ordenadas os valores s_1/Q_1 , s_2/Q_2 , s_3/Q_3, s_n/Q_n

(rebaixamento específico), calculados.

Os coeficientes de perda de carga do aquífero (B) e do poço (C) são determinados graficamente. Os valores determinados são substituídos na equação (1) obtendo-se a equação característica do poço.

Com base nos resultados do teste, constroem-se um outro gráfico "vazão-rebaixamento", que é a curva característica do poço.

A curva característica é constituída de duas partes: um setor OP, praticamente uma reta, correspondente a rebaixamentos relativamente pequenos. Para rebaixamentos acentuados, a inclinação da curva aumenta rapidamente com o aumento da vazão. Existe um ponto P a partir do qual o aumento dos rebaixamentos é bastante desproporcional a pequenos aumentos de vazão. É o ponto crítico.

A vazão máxima ou vazão crítica (figura 12) corresponde ao rebaixamento no ponto crítico e não pode ser ultrapassada na exploração do poço. Acima desta vazão o fluxo entraria em regime turbulento.

Uma vez conhecidas as perdas de carga e a vazão máxima explorável é, então, possível calcular o rebaixamento correspondente à vazão de extração desejada, de acordo com a equação característica do poço (1).

III.1.3 - Determinação da Eficiência

A eficiência e de um poço é definida como relação entre a vazão específica teórica e a vazão específica real, ambas referidas a um tempo igual de bombeamento. Para o cálculo do rebaixamento teórico é necessário conhecer os coeficientes de transmissividade (T) e armazenamento (S) do aquífero e o raio efetivo do poço, mediante ensaio de bombeamento com piezômetro. Em situações reais bastantes frequentes, quando não se conhece os parâmetros do aquífero, a eficiência pode ser calculada admitindo-se que o tempo BQ da equação do poço ($s = BQ + CQ^2$) representa o rebaixamento teórico. Deste modo:

$$e = \frac{BQ}{BQ + CQ^2} = \frac{1}{1 + CQ/B}$$

A eficiência é um dado importante que permite comparar as características de poços construídos numa mesma formação. Quando, porém, se deseja avaliar o desempenho de um poço ao longo do tempo, o valor absoluto da eficiência carece de maior significado. Procura-se, neste caso, trabalhar com a eficiência relativa do poço, isto é, efetuar determinações periódicas da eficiência e analisar cada resultado em comparação com os valores anteriormente obtidos.

III.2 - Avaliação Preliminar

III.2.1 - Controle da Eficiência do Desenvolvimento

A paralização do desenvolvimento só poderá ser avaliada através dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero (vazão específica e equação característica)

III.2.1.1 - Vazão Específica

A vazão específica é uma função de tempo para uma determinada vazão e

portanto, deve ser relacionada a um determinado tempo. Em uma série de bombeamentos sucessivos, a vazão máxima, analisa-se os valores da vazão específica, verificando se permaneceu constante ou se houve incremento.

Em poços com vazões da ordem $20\text{m}^3/\text{h}$, a vazão específica é praticamente o único parâmetro.

III.2.1.2 - Métodos Gráficos

O método gráfico baseia-se na determinação e comparação das equações características do poço obtidas em testes sucessivos de bombeamento conforme texto anterior.

A interpretação é realizada plotando-se os valores dos rebaixamentos específicos x vazões de cada etapa do teste e analisando-se o comportamento da eficiência do poço através dos fatores B e C da equação característica (figura 13).

III.3 - Término do Desenvolvimento

O desenvolvimento é dado por encerrado quando quer seja pelo controle da vazão específica ou método gráfico (equação característica), os valores não apresentam variações significativas por mais tempo que se utilize nos diferentes processos combinados.

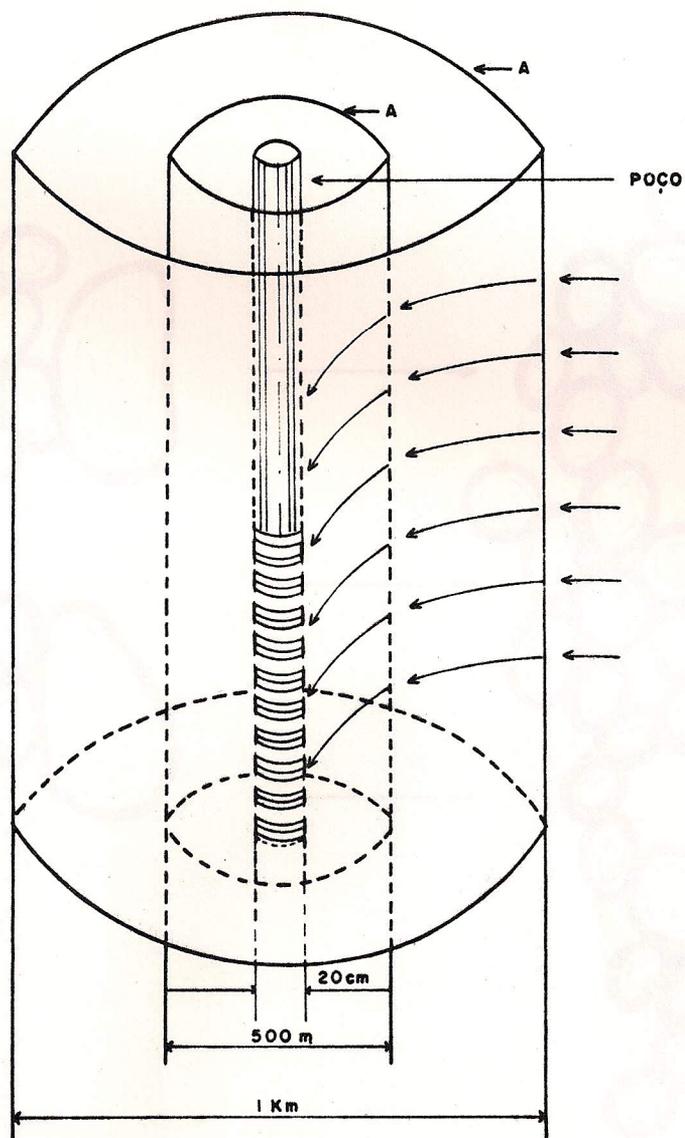
Nesta caso faz-se necessário uma revisão detalhada, pois os dados resultantes do desenvolvimento não podem ser tratados por si, só matematicamente, devendo ser analisadas as seguintes zonas de ocorrência dos fatos que possam estar provocando no sistema, baixa eficiência:

- a - avaliação hidrogeológica;
- b - projeto;
- c - especificações técnicas;
- d - tipo de aquífero;
- e - limites máximos de exploração;
- f - metodologia de perfuração;
- g - tipo de fluido de perfuração;
- h - tempo de completação do poço.

Os resultados satisfatórios ou não, são produtos da interação entre o projeto e a execução da obra e não podem ser analisados desassociadamente.

IV. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Ground Water Manual - U.S. Department of the Interior - 1^a Ed. 1977
2. "Wells" - U.S. Department of the Arms and the Air Foiceltn 5 - 297Y
AFM 85 - 23) 08/1957
3. Desenvolvimento de poços para água - A.F. Jorba, 1981.
4. Manual de Manutenção e Operação de Poços - DAEE - A.F. Jorba - G.A. Rocha, 1982
5. Manual de Metodos quantitativos en el estudio de água subterrânea. J. A. Costa - E.F. Moreno - M.S.G.S., 1963.



$$Q = A \times V$$

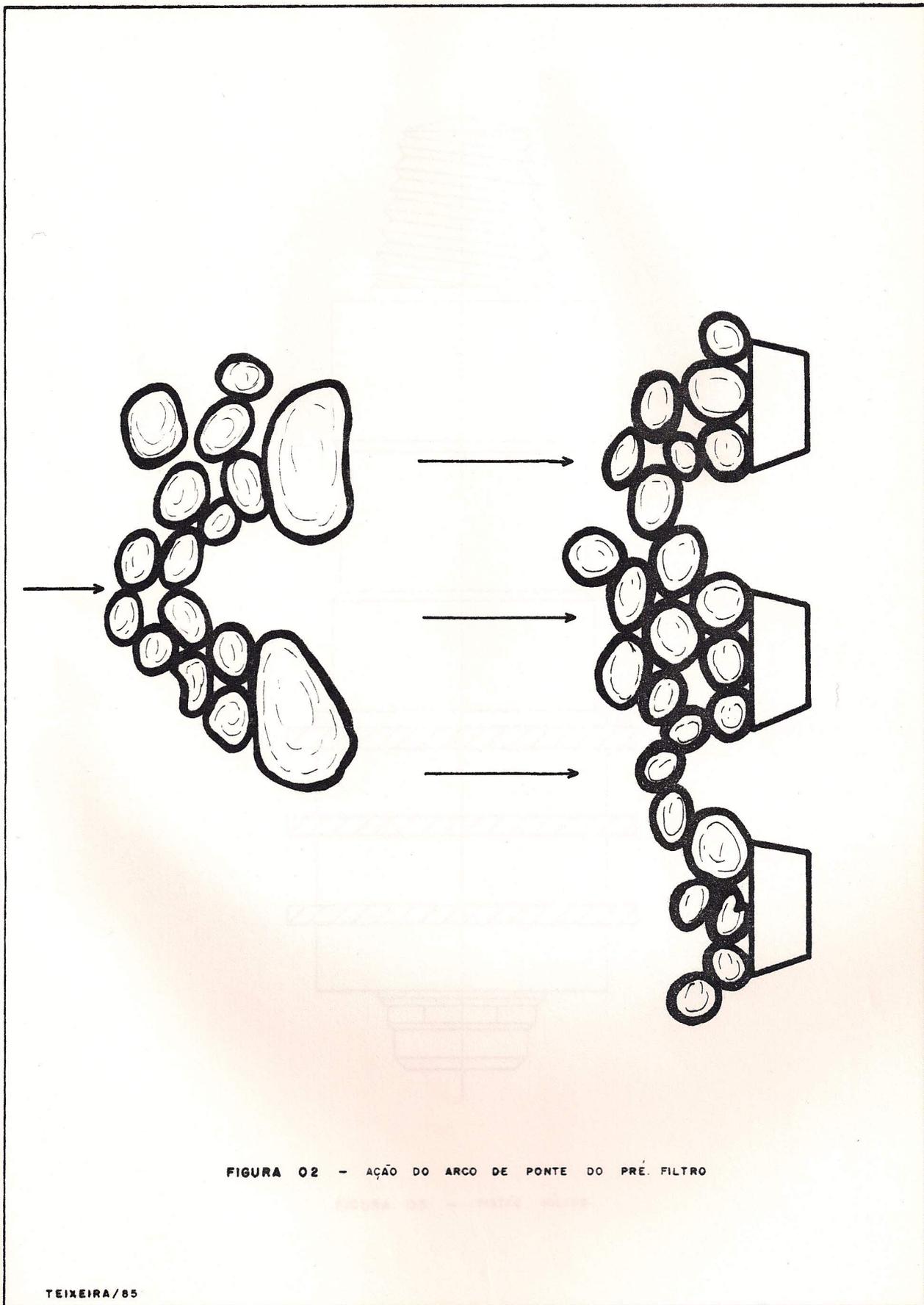
Sendo

Q = Vazão

A = Área Lateral dos cilindros

V = Velocidade

FIGURA 01 - MODELO FÍSICO



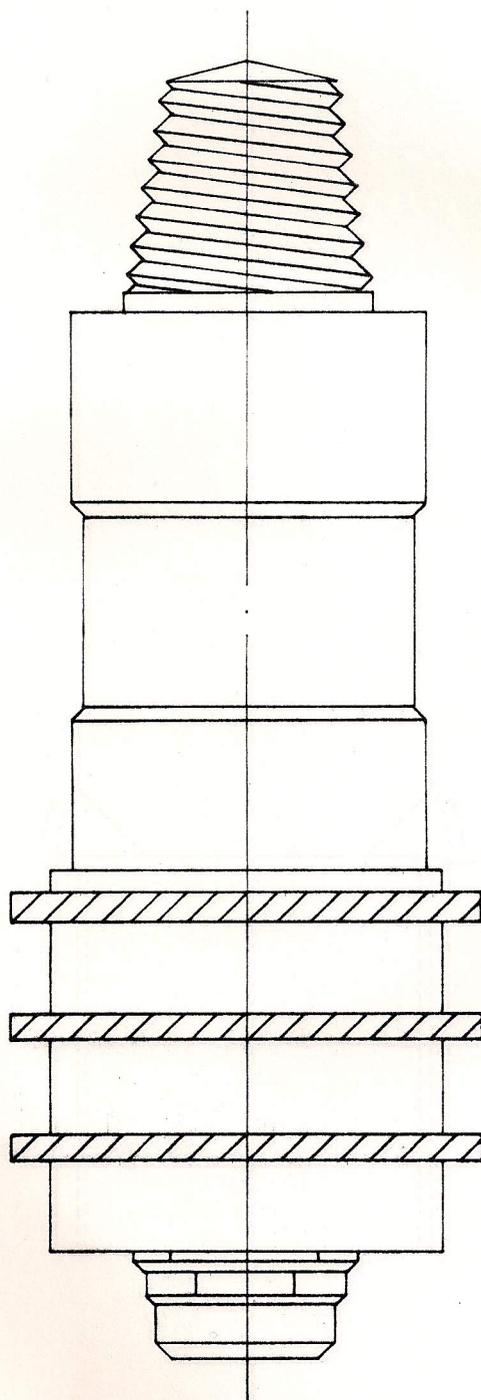


FIGURA 03 - PISTÃO SÓLIDO

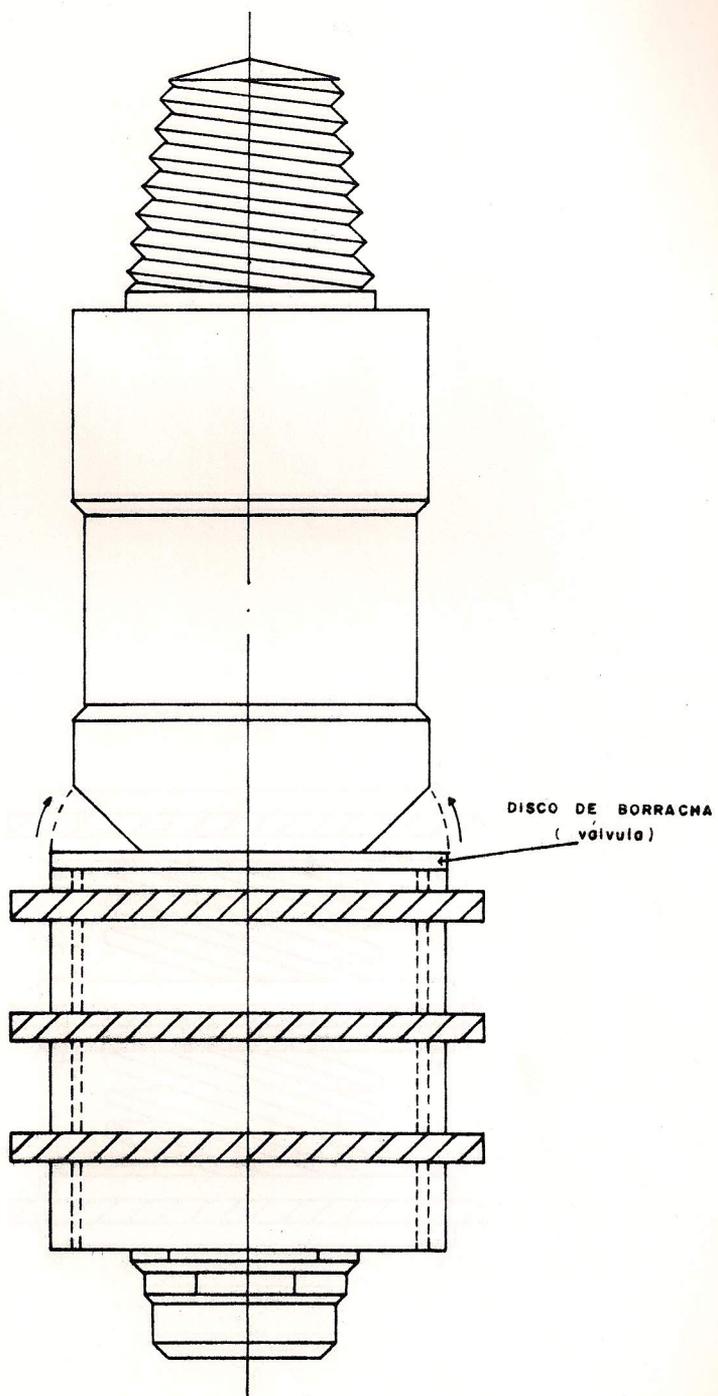


FIGURA 04 - PISTÃO COM VÁLVULA (SEMI SÓLIDO)

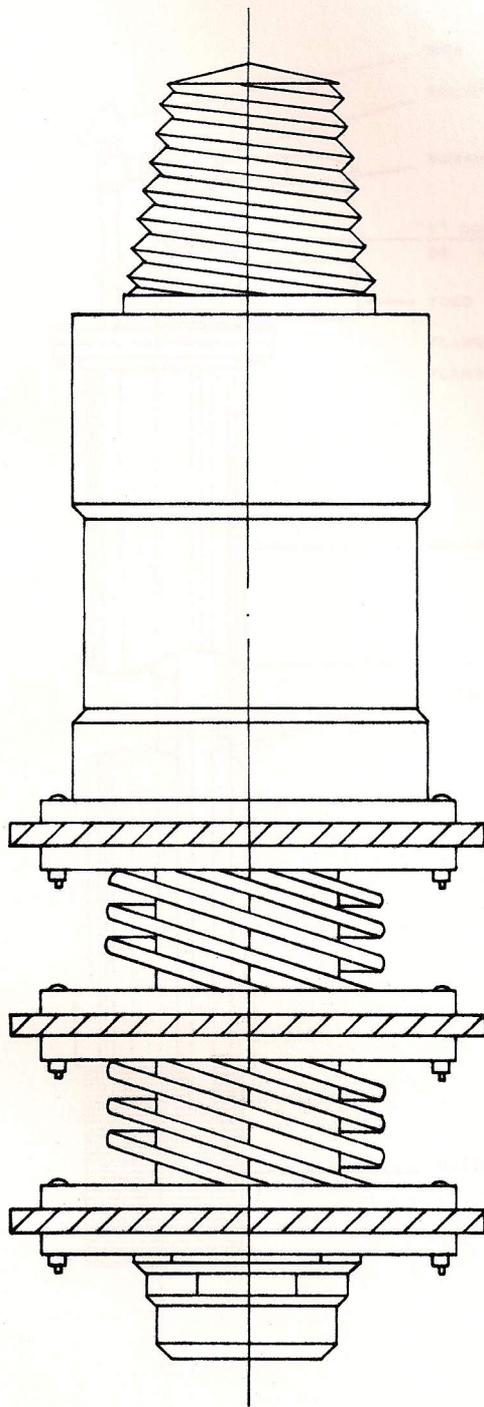


FIGURA 05 - PISTÃO COM MOLA

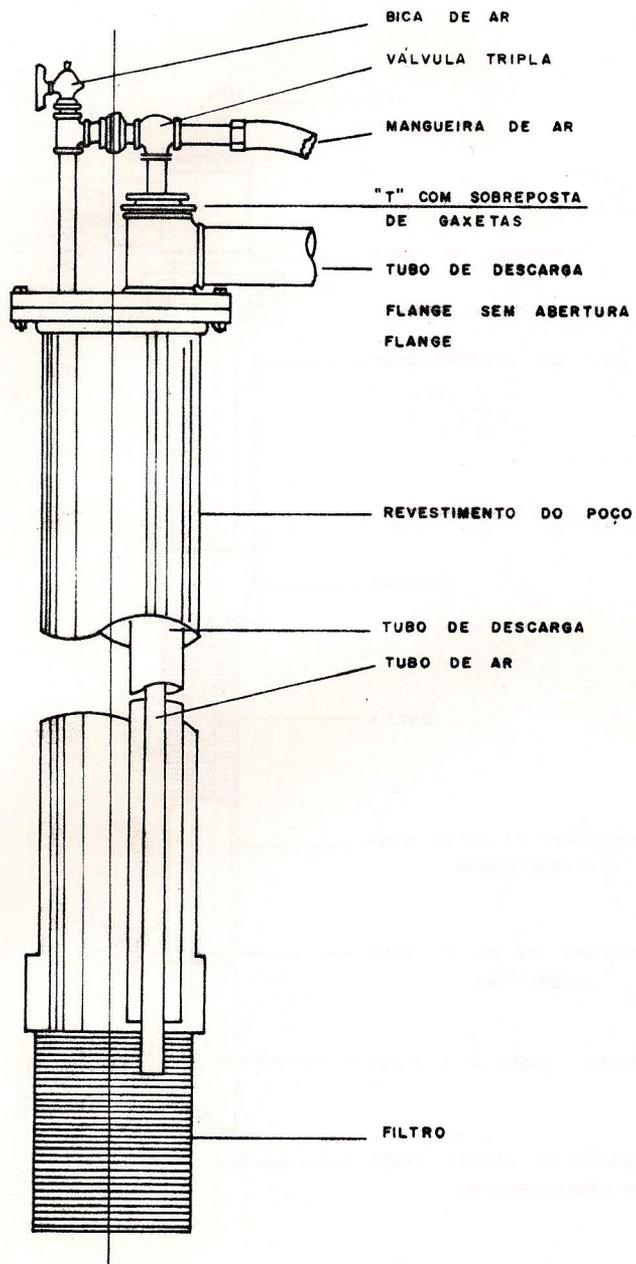


FIGURA 06 - MÉTODO DE POÇO FECHADO

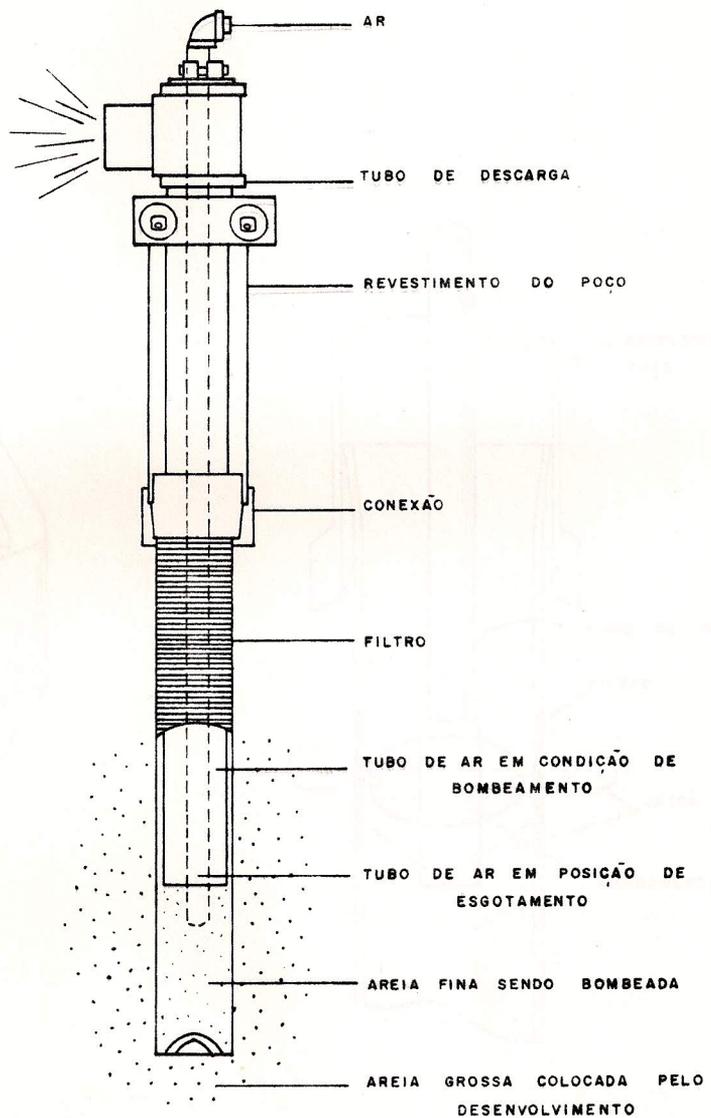


FIGURA 07 - MÉTODO DE POÇO ABERTO

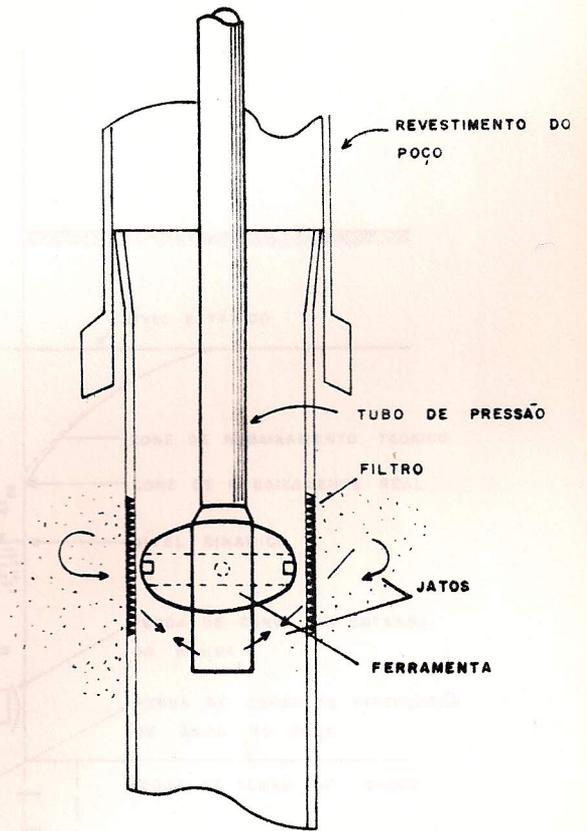
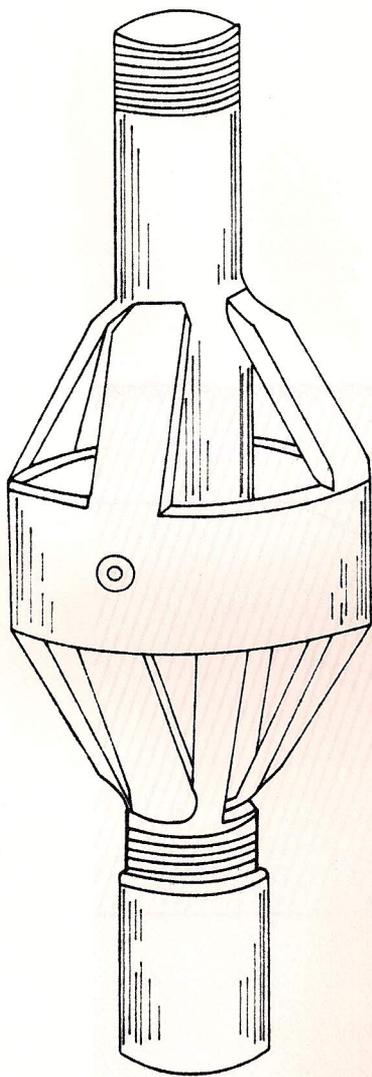


FIGURA 08 - DESENVOLVIMENTO A JATO

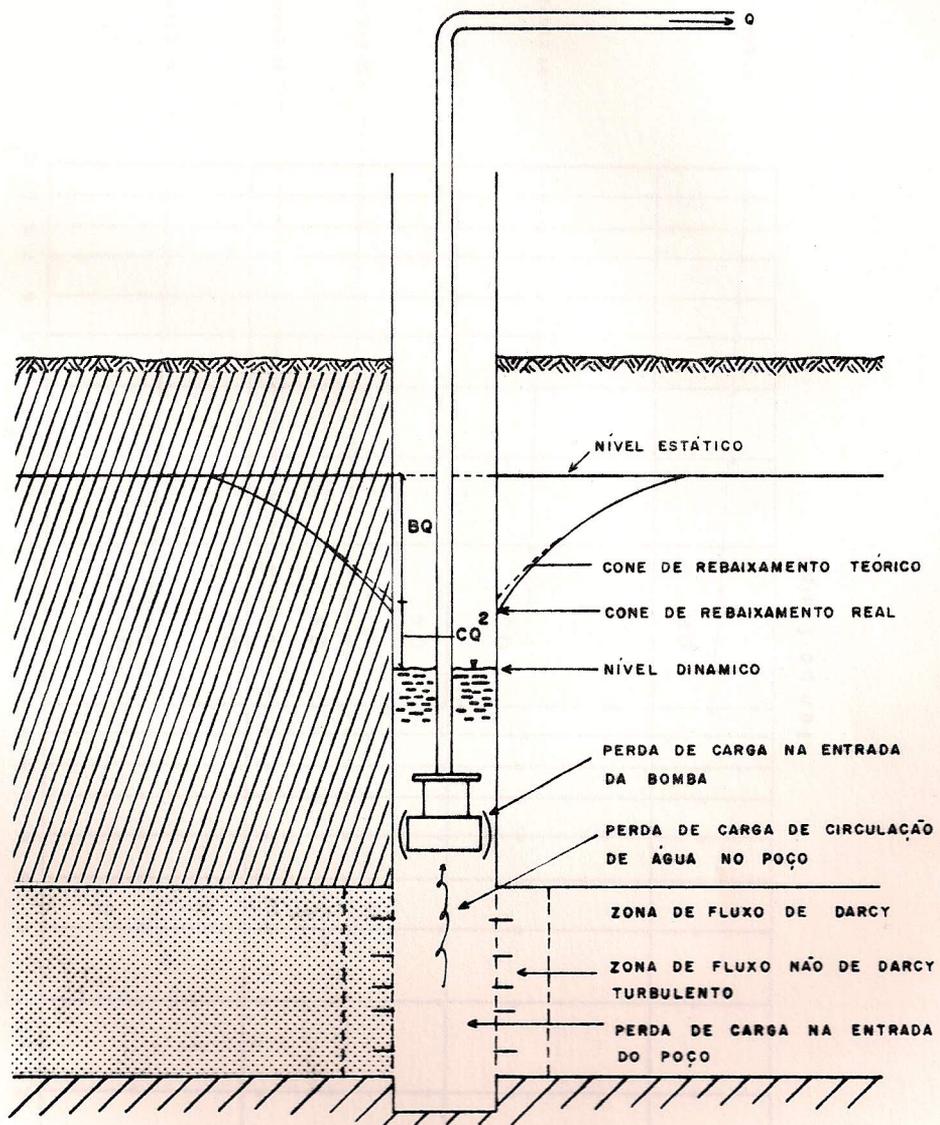


FIGURA 09 - CAUSAS DO REBAIXAMENTOS EM POÇOS

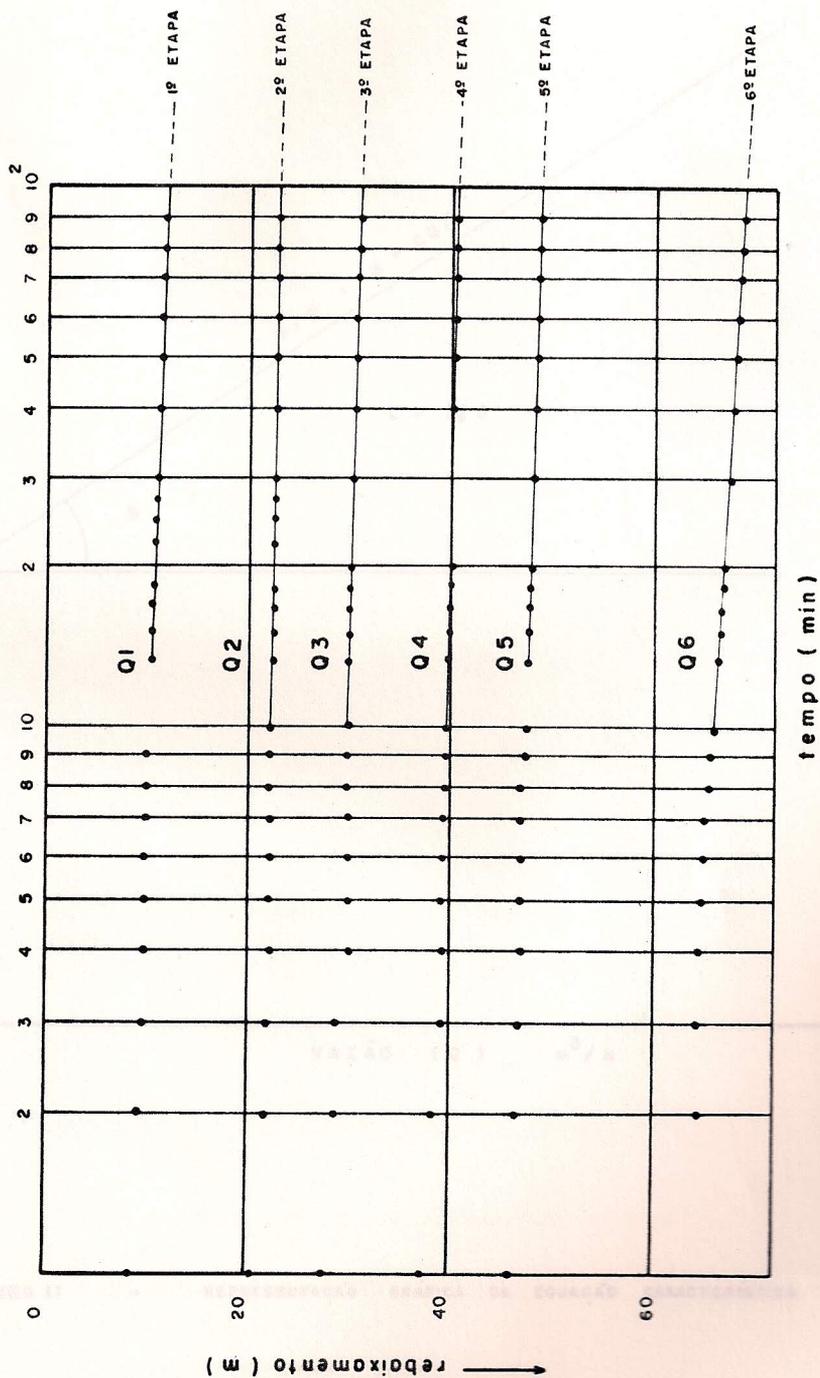


FIGURA 10 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO TESTE DE REBAIXAMENTO EM ETAPAS (PAPEL MONOLOG)

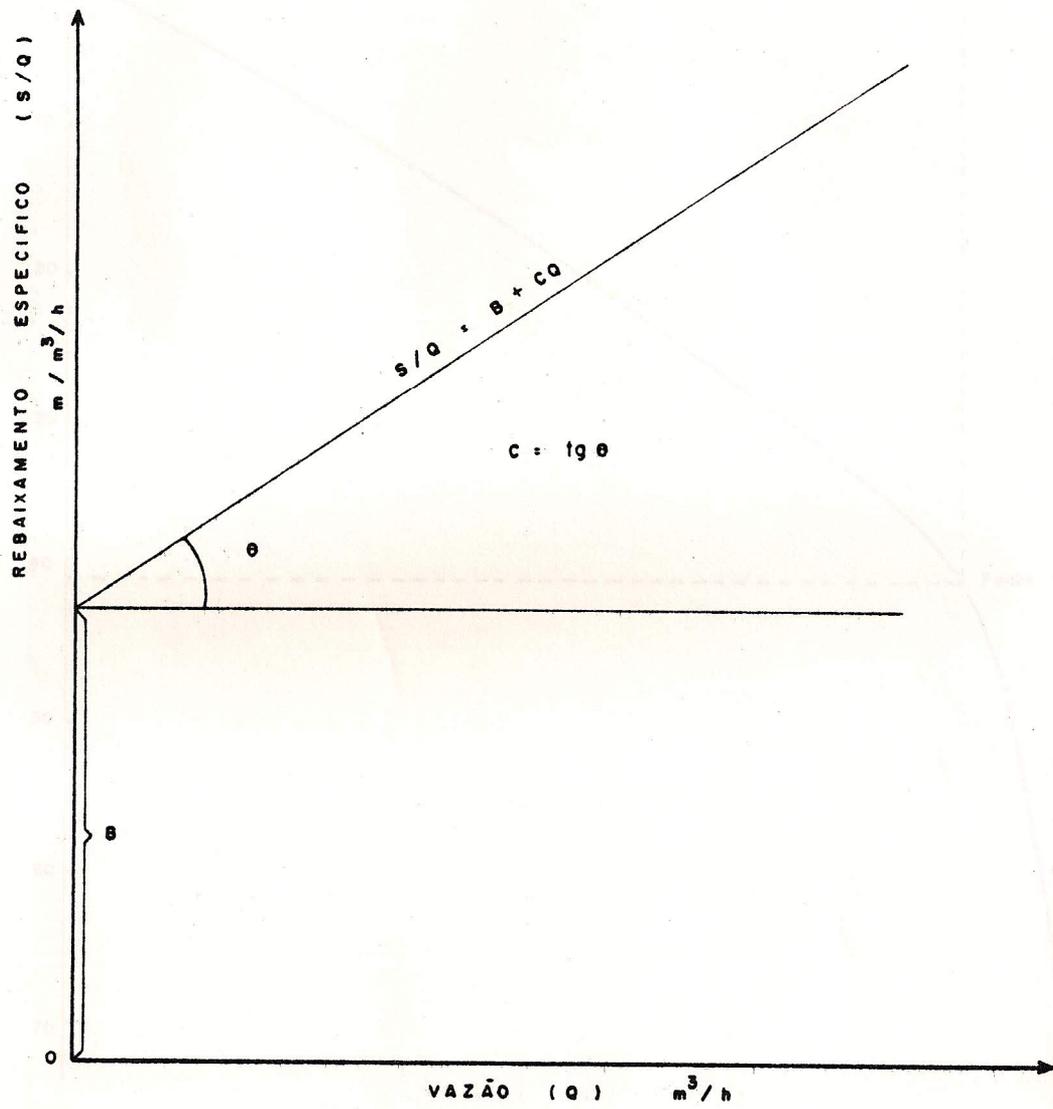


FIGURA II - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA EQUAÇÃO CARACTERÍSTICA DO POÇO

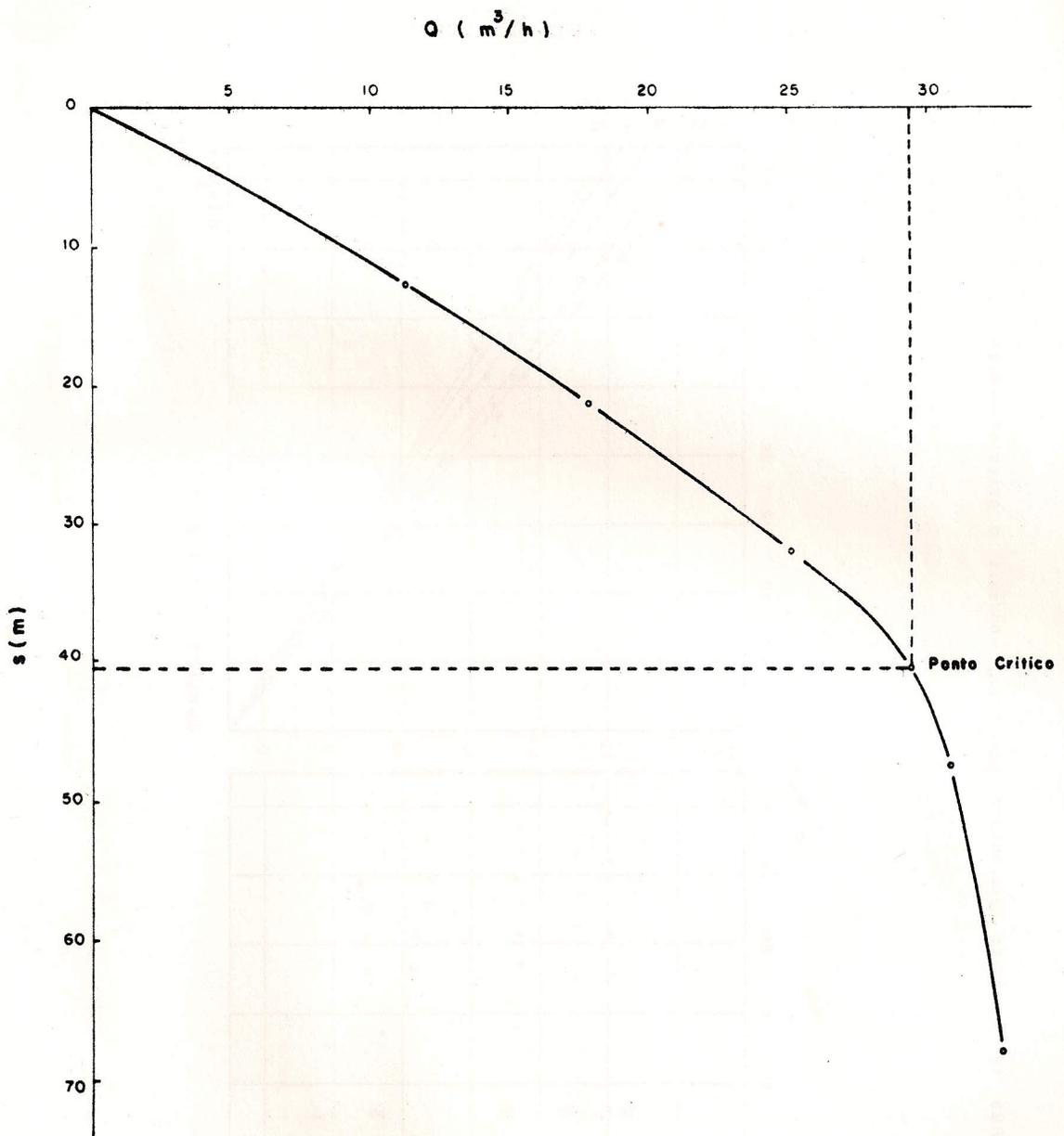


FIGURA 12 - CURVA CARACTERÍSTICA DE POÇO

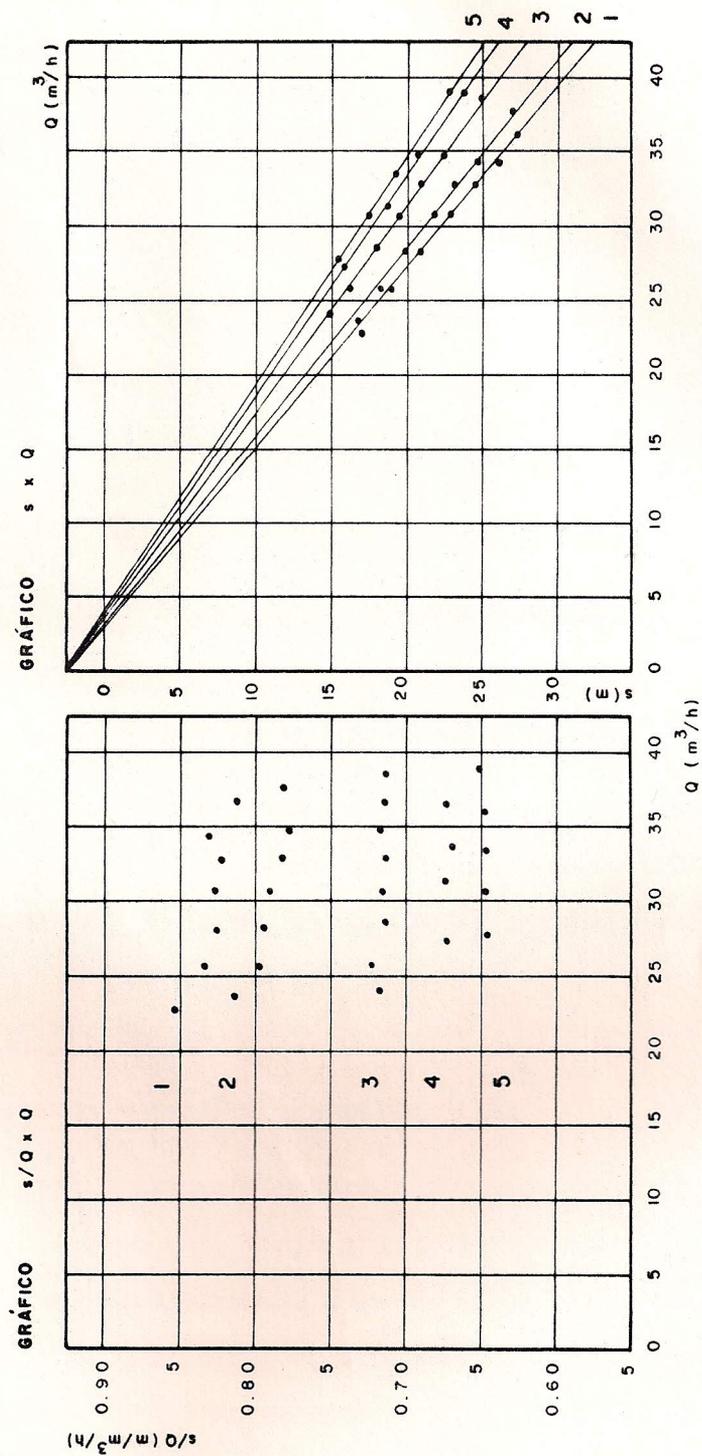


FIGURA 13 - TESTES ESCALONADOS REALIZADOS DURANTE O DESENVOLVIMENTO