

Bombeamento Direto nas Redes de Abastecimento através de Bombas de Velocidade Variável sem Reservatório de Distribuição.

RICARDO FERREIRA DE SOUZA
AUGUSTO CESAR BRUCOLI
DRAUSIO LUIZ LUCARELLI (*)

1. INTRODUÇÃO

Para abastecimento das zonas altas, tradicionalmente no Brasil, tem-se utilizado a solução clássica, que consiste na construção de uma Estação Elevatória com bombas de velocidade constante, com a finalidade de recalcar a água para uma Torre, que entre outras funções atende a variação horária de consumo, prevista para a região. Em vários sistemas de abastecimento de água implantados em São Paulo verifica-se que a Torre tem função quase exclusivamente de garantir a pressão na rede, sendo o seu volume insuficiente para que lhe seja atribuída a finalidade de reservação.

Objetivando a redução do alto custo envolvido na construção e manutenção da Torre, bem como da adutora que a interliga com a estação elevatória, estamos apresentando o presente estudo de um sistema de bombeamento direto para uma rede de distribuição, através de bombas de velocidade variável, sem qualquer tipo de reservatório de distribuição.

(*) Engenheiros do Departamento Eletromecânico da SABESP.

Este trabalho não objetiva inovar em termos de sistema de distribuição de água, mas divulgar uma técnica largamente aplicada em outros países. O sucesso dos sistemas de velocidade variável nesses países se deve a grande economia resultante de sua utilização comparada aos sistemas convencionais.

Aqui serão abordados os principais aspectos técnicos e econômicos que envolvem a utilização dessa técnica.

2. PROJETO DO SISTEMA DE BOMBEAMENTO DIRETO NA REDE

2.1. Considerações gerais sobre o projeto da rede

O projeto da rede exige os mesmos cuidados aplicados nos sistemas de distribuição em marcha. Como é de conhecimento geral, esses sistemas apresentam aspectos particulares no dimensionamento dos condutos troncos no que tange às vazões, pressões e sentidos de escoamento da água. As figuras 1 e 2 mostram as variações de altura manométrica impostas pelo sistema de tubulações em função da intensidade da demanda da rede. Os pontos A e B da fi-

gura 1 correspondem às cotas das alturas piezométricas mínimas necessárias para o ponto crítico da rede com relação aos níveis mínimo e máximo respectivamente, no poço de sucção. Assim obviamente h_1 e h_2 representam os desníveis geométricos relativos aos níveis de sucção mínimo e máximo respectivamente. No projeto do sistema de bombeamento direto na rede faz-se também necessário o cálculo das vazões média, máxima e mínima para as quais usualmente são adotados os seguintes parâmetros.

Vazão média anual —

$$Q_{\text{média}} = q \times P_{\text{abast.}}$$

86.400

Vazão mínima anual —

$$Q_{\text{min}} = 0,5 \times Q_{\text{média}}$$

Vazão máxima anual —

$$Q_{\text{máx}} = Q_{\text{média}} \times k_1 \times k_2$$

Onde:

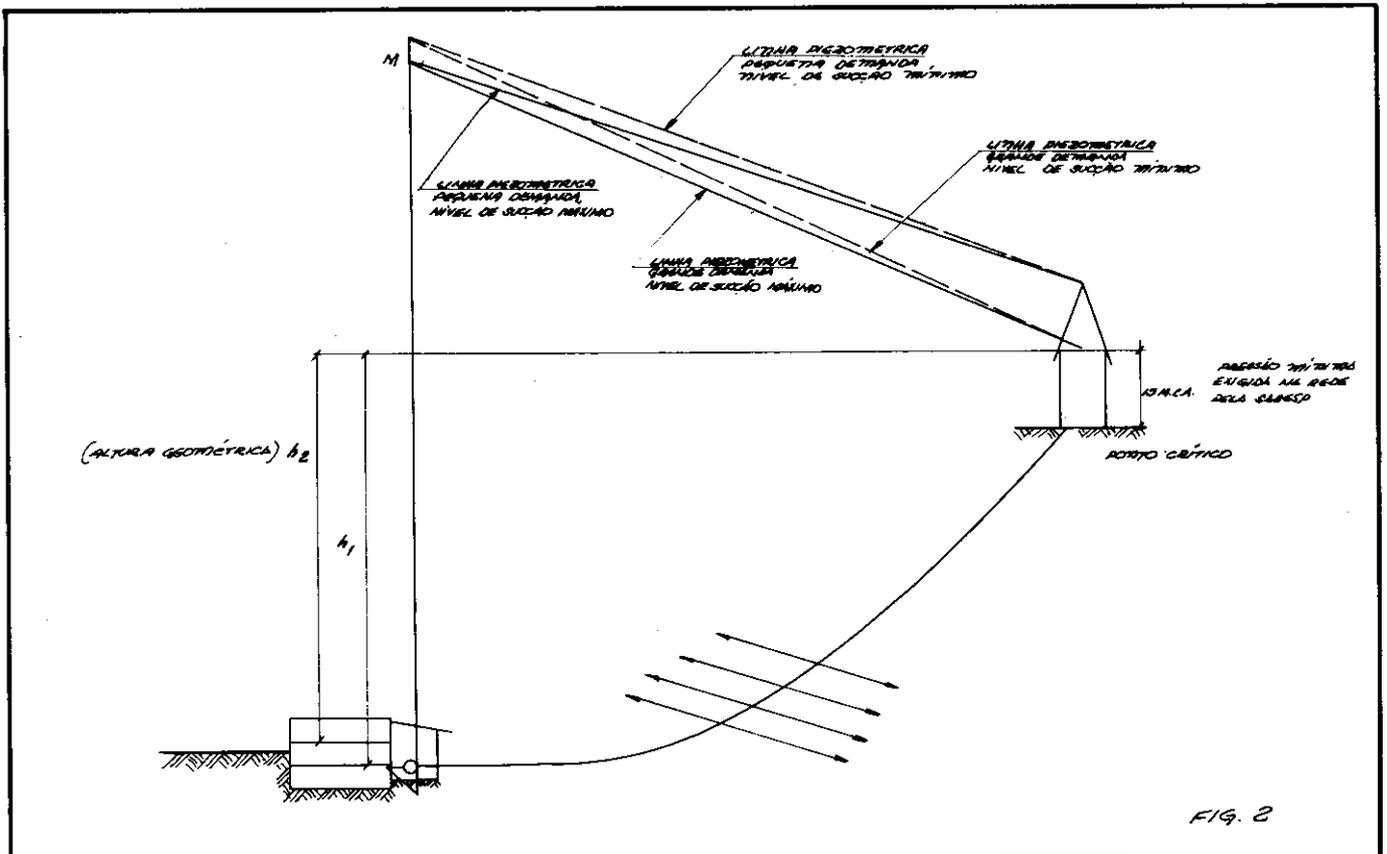
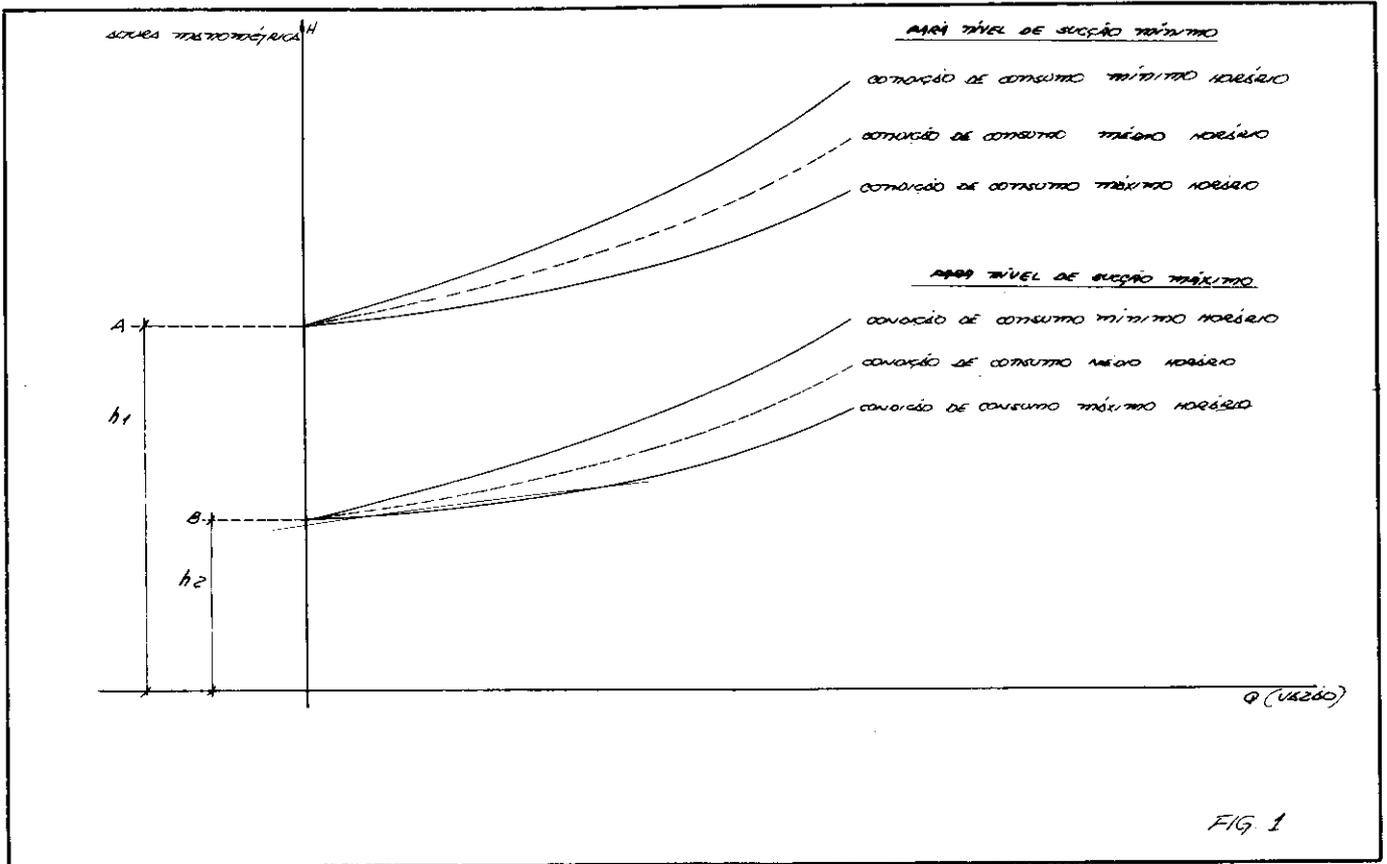
$Q_{\text{máx}}$ — vazão máxima em l/s.

q — quota de consumo per capita em litros/hab. dia.

k_1 — coeficiente do dia de maior consumo.

k_2 — coeficiente da hora de maior consumo.

$P_{\text{abast.}}$ — população abastecível.



2.2. Variador de velocidade

Nos sistemas de velocidade variável, a pressão é a característica a ser mantida constante em qualquer condição de vazão de consumo e/ou pressão de sucção. Variações de pressão de sucção e/ou variações de consumo se traduzem em uma variação na pressão de recalque que é detetada por um sensor do variador de velocidade, que atua na rotação da bomba, de modo a manter a pressão de descarga constante. Se a pressão de sucção se mantiver constante, a pressão diferencial desenvolvida pela bomba (pressão diferencial = pressão de descarga - pressão de sucção) também se manterá constante para qualquer vazão, e assim sendo, a curva característica do sistema, imposta pelo variador, e que a bomba "enxerga" é uma linha reta como indica a figura 3.

Caso a pressão de sucção varie, a curva característica do sistema se traduz por várias retas paralelas ao eixo das vazões correspondendo a cada uma delas uma pressão de sucção.

2.3. Seleção de bombas

Para a seleção das bombas o seguinte roteiro é recomendado:

2.3.1 Determinação das alturas manométricas máximas e mínimas exigidas pelo sistema

Com as curvas características do sistema de distribuição (fig. 1) e os valores de vazão máxima e vazão mínima determina-se:

a) A altura H_1 relativa a vazão máxima nas condições de consumo máximo horário para a pressão mínima de sucção (ponto C da fig. 4).

b) A altura H_1 relativa a vazão máxima nas condições de consumo máximo horário para a pressão máxima de sucção (ponto E da fig. 4).

Nota: Eventualmente, dependendo do andamento das curvas características do sistema, H_1 e H_2 deverão ser acrescidas de uma tolerância afim de garantir o atendimento a todas as cotas de alturas piezométricas mínimas necessárias para o ponto crítico da rede (fig. 4a).

2.3.2 Determinação da pressão a ser mantida na descarga da bomba

A pressão a ser mantida na descarga da bomba será:

$$P_{desc} = H_1 + H_{sucção\ mín.}$$

$$= H_2 + H_{sucção\ máx}$$

$$\text{pois } P_{diferencial} = P_{desc.} -$$

$$- H_{sucção.}$$

Na figura 4 onde as pressões são as diferenciais (H_1 e H_2), a manu-

tenção da pressão de descarga se traduz por retas horizontais passando por C e por E para H_1 e H_2 respectivamente, e infinitas outras entre essas duas retas para situações intermediárias.

2.3.3. Determinação dos pontos críticos de operação das bombas

São dois os pontos críticos:

a) Na rotação máxima, a bomba deverá recalcar $Q_{máx}$ e desenvolver H_1 de pressão (ponto C da fig. 4).

b) Na rotação mínima, a bomba deverá recalcar $Q_{mín}$ e desenvolver H_2 de pressão (ponto F da fig. 4).

2.3.4. Determinação da zona de operação da bomba

Como a vazão e a pressão de sucção oscilam entre seus valores máximos e mínimos, obviamente a bomba operará na zona limitada pelo quadrilátero CDFE e o que resultará numa pressão de descarga constante.

2.3.5. Localização da região de maior rendimento da bomba

Como a bomba operará a maior parte do tempo com vazões médias e níveis de sucção médios, o ponto de operação com máxima vazão e

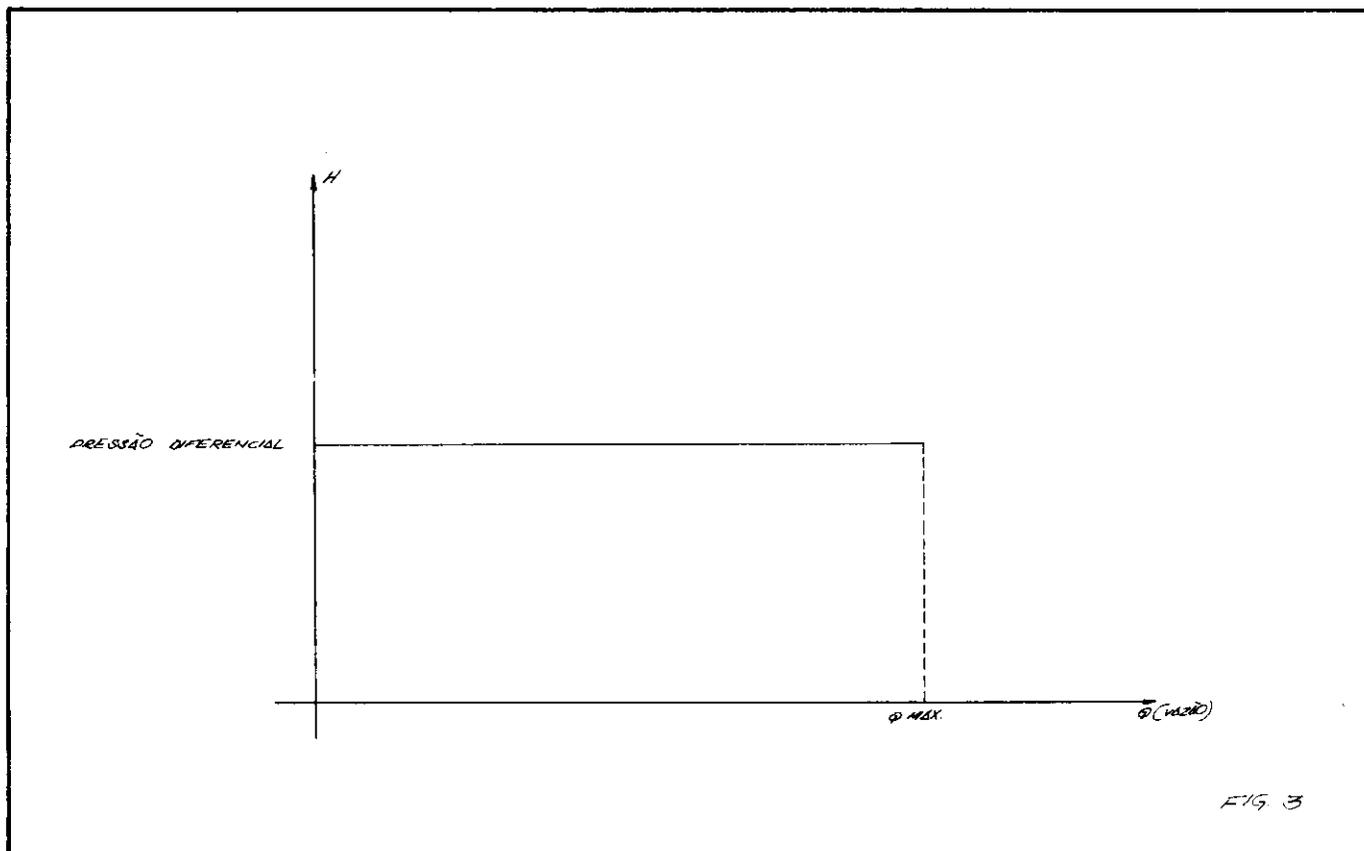
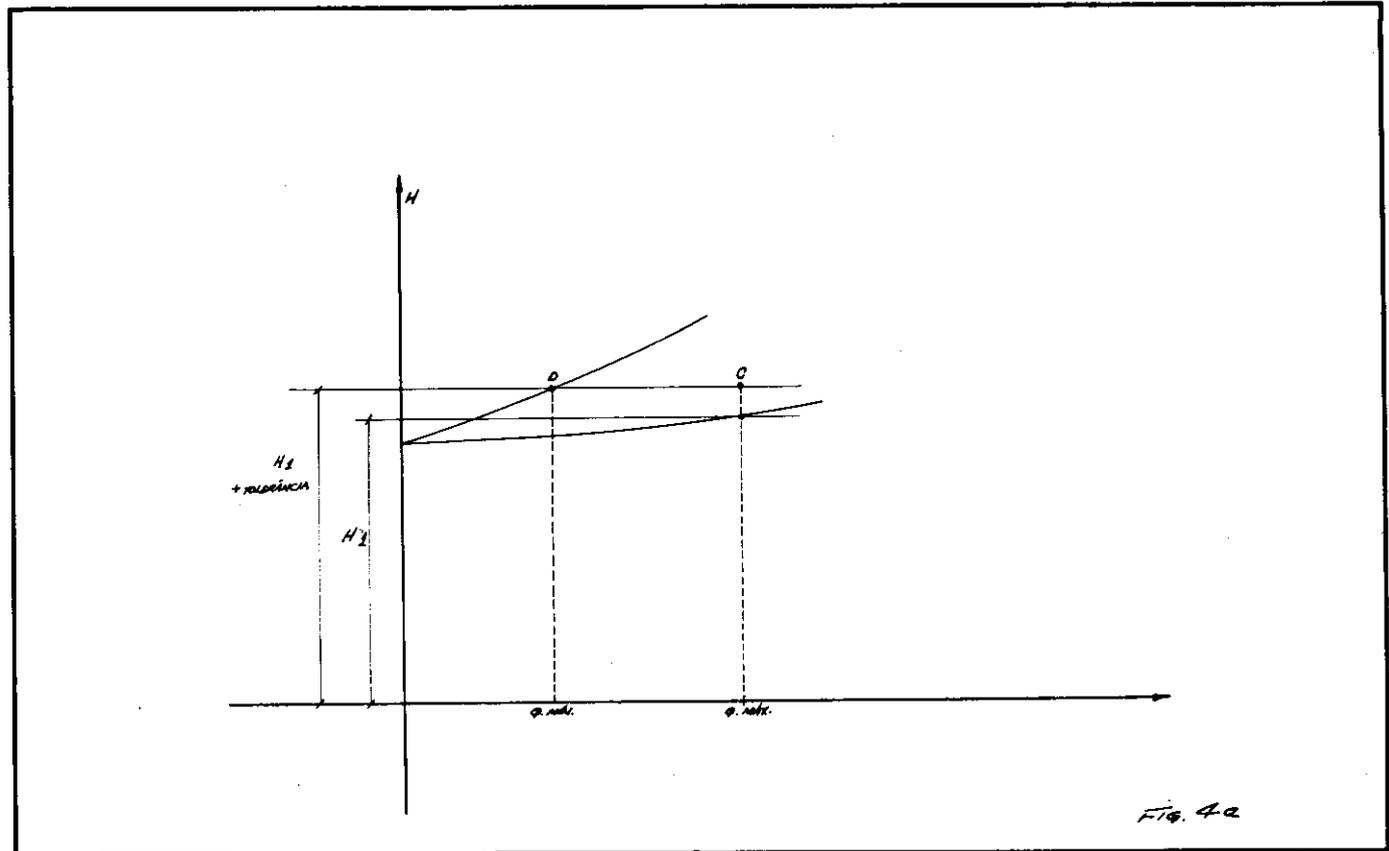
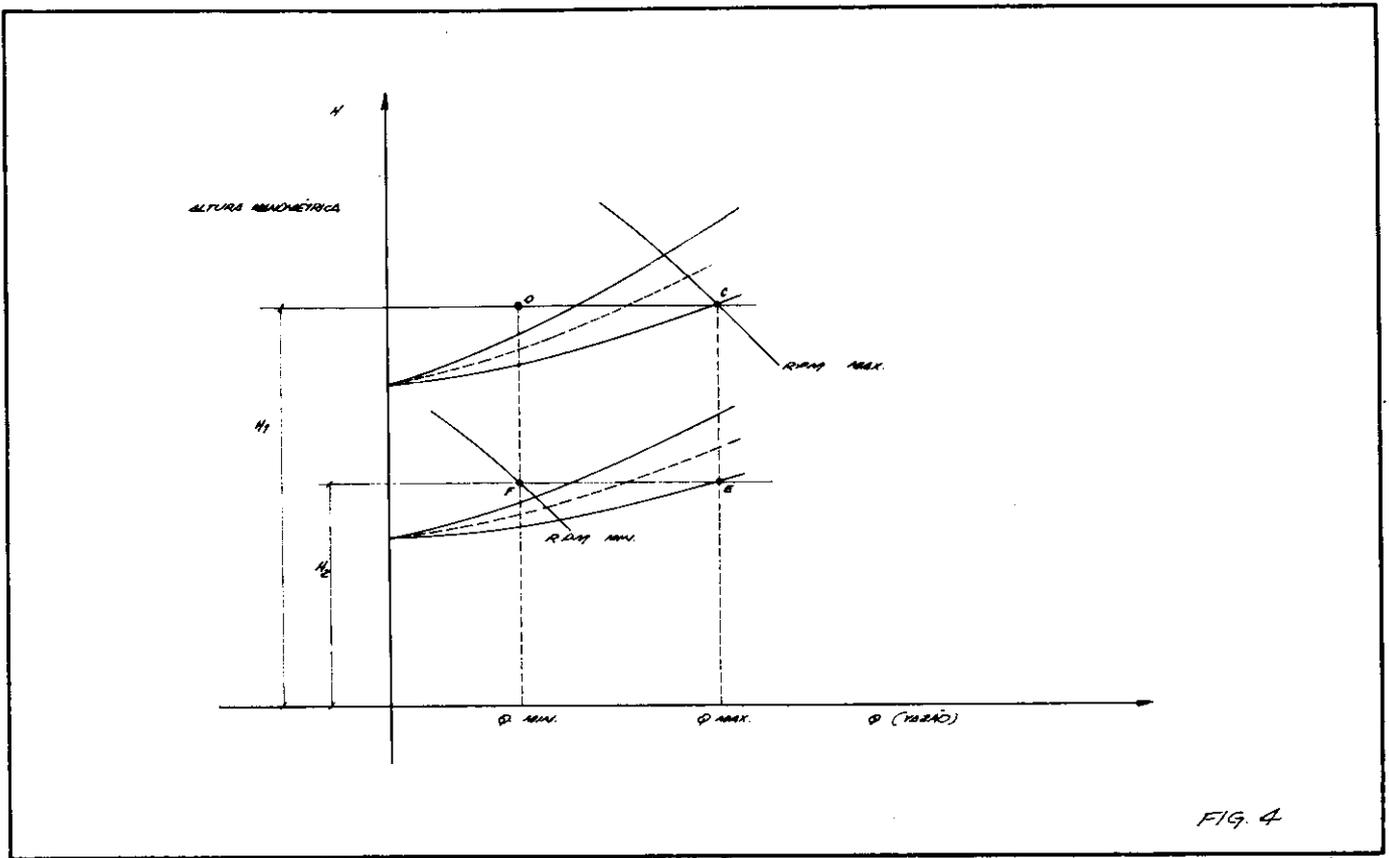


FIG. 3



ligada e, caso a pressão caia, é ligada novamente pelo sinal temporizado do pressostato. O tempo de operação da 2.ª bomba é determinado em função do tempo necessário para se cobrir os horários de maior consumo. Essa solução por não ser precisa é sugerida quando os conjuntos moto-bombas são pequenos.

MEDIDOR DE VAZÃO

A utilização de um medidor de vazão no recalque leva a um comando mais caro, porém preciso, uma vez que esse equipamento, detectando a vazão de referência para comando, fornece o sinal para desligamento da 2.ª bomba.

Caso 3 — Mais de duas bombas em operação.

Para mais de duas bombas em operação o sistema de comando é o mesmo ou seja ligamento das bombas por pressostatos e desligamento por temporização ou medição de vazão.

2.5. Precauções a serem tomadas quando do projeto

a) Prever instalação de uma bomba de emergência acionada por mo-

tor de combustão interna acionando automaticamente em caso de falta de energia elétrica, com a finalidade específica de evitar pressões negativas no sistema de distribuição. Essa bomba portanto não necessariamente deve ser dimensionada para garantir o abastecimento na falta de energia.

b) Dimensionar o poço de sucção, quando houver, para atender a vazão máxima, isto é, atender o dia e hora de maior consumo.

c) Demais precauções usuais tomadas no projeto de qualquer sistema de bombeamento.

3. EXEMPLO PRÁTICO

Com a finalidade de ilustrar este trabalho apresentaremos as características principais de uma instalação de bombeamento direto na rede com velocidade variável, para substituição hipotética de um sistema convencional de abastecimento em marcha implantado.

3.1. Descrição do sistema implantado

O sistema foi projetado estimando-se as vazões máximas de 445 l/s

para a 1.ª etapa e 1150 l/s para a 2.ª etapa, com o critério exposto em 2.1 onde foram adotados:

$$k_1 = 1,30$$

$$k_2 = 1,46$$

A estação elevatória é composta de dois conjuntos moto-bomba, sendo um reserva, para a vazão máxima de 445 l/s na 1.ª etapa (uma bomba) e 3 conjuntos, sendo um reserva, para a vazão máxima de 1150 l/s na 2.ª etapa (duas bombas em paralelo).

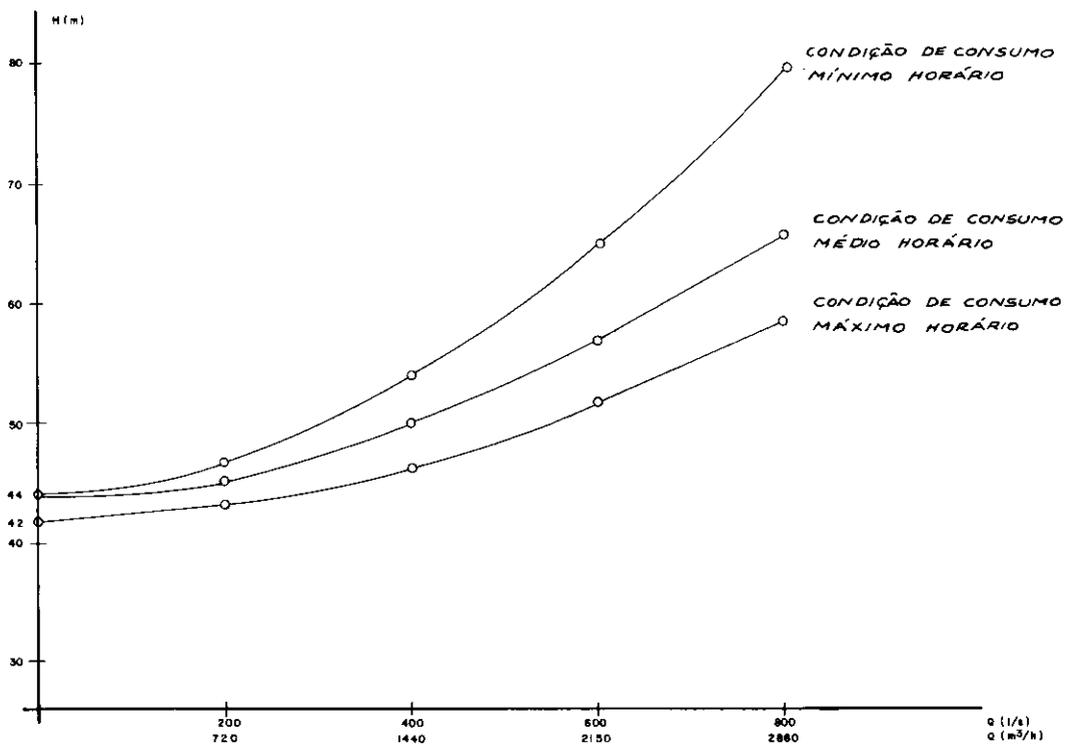
Esses conjuntos recalarão de um reservatório semi-enterrado com variação de nível de 7,5 m, para uma rede de abastecimento no fim da qual existe um reservatório de 12.000 m³, a ser complementado na 2.ª etapa por um outro de igual capacidade executados em concreto armado.

As curvas características do sistema estão indicados nas figuras 6 e 7.

Para atender as vazões de projeto foram selecionadas bombas de velocidade constante cujas curvas características compostas com as do sistema estão indicadas nas figuras 8 e 9.

FIG. 6

CURVAS CARACTERÍSTICAS DA LINHA - 1ª ETAPA



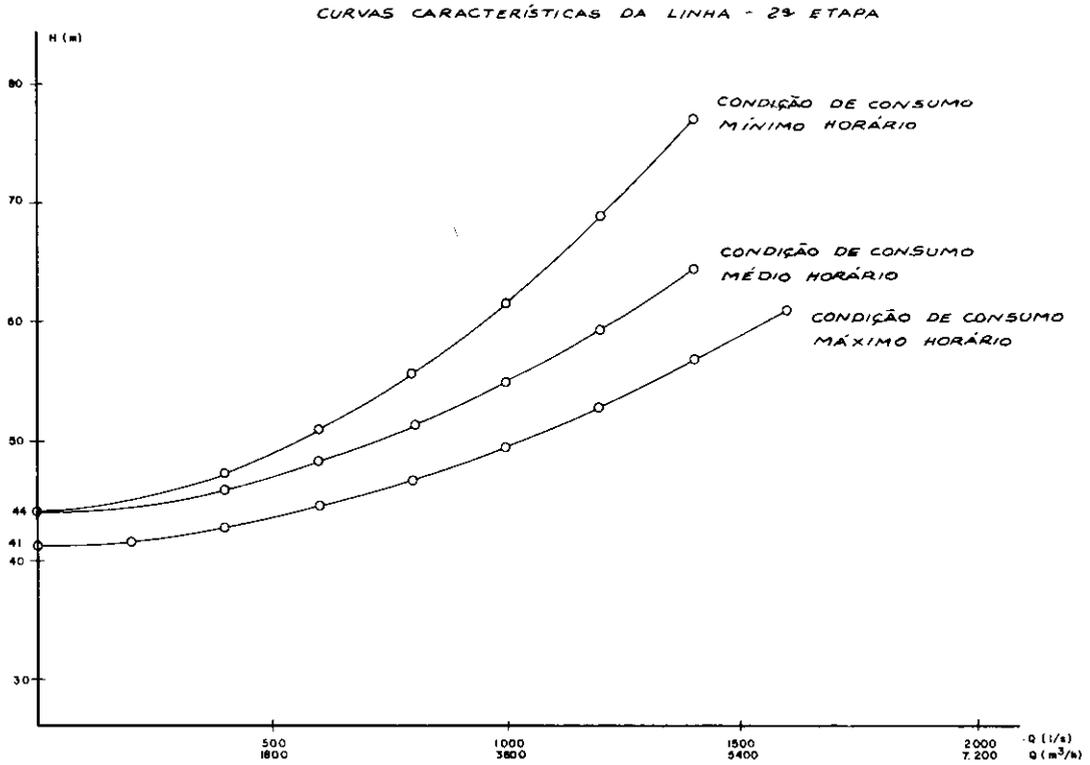
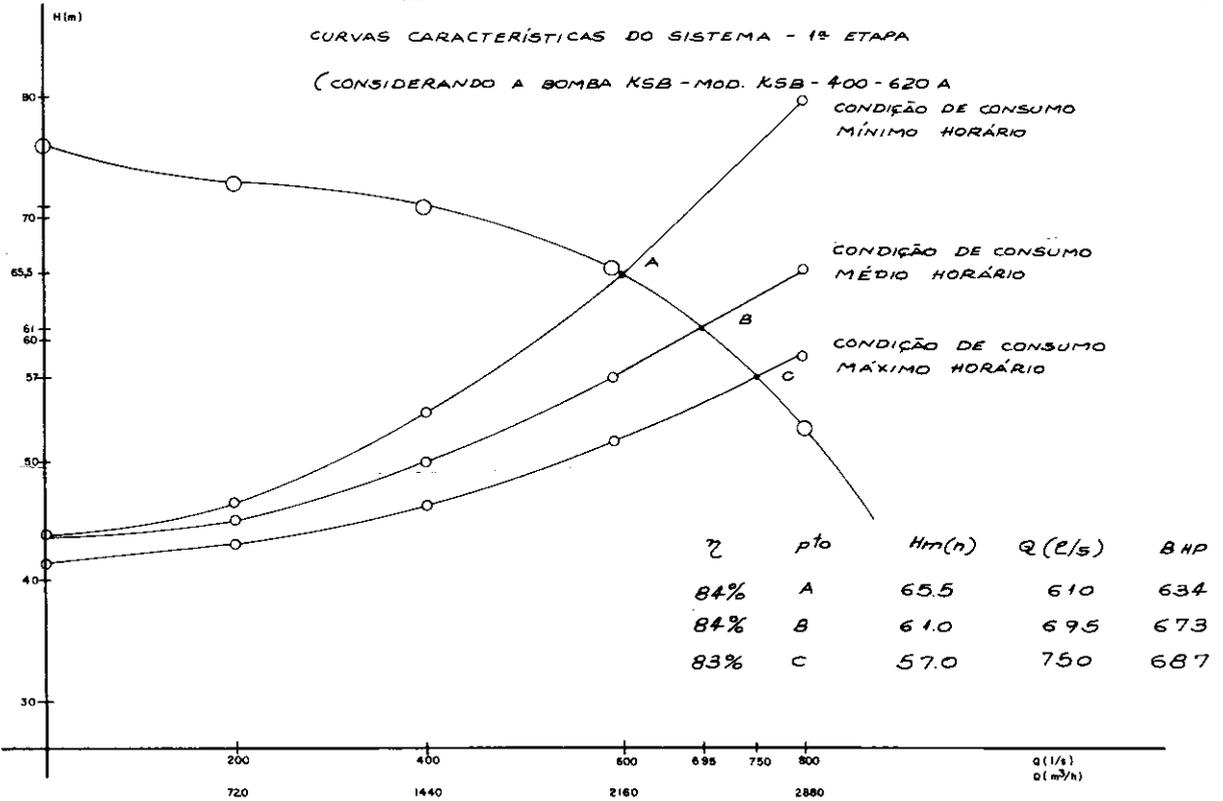
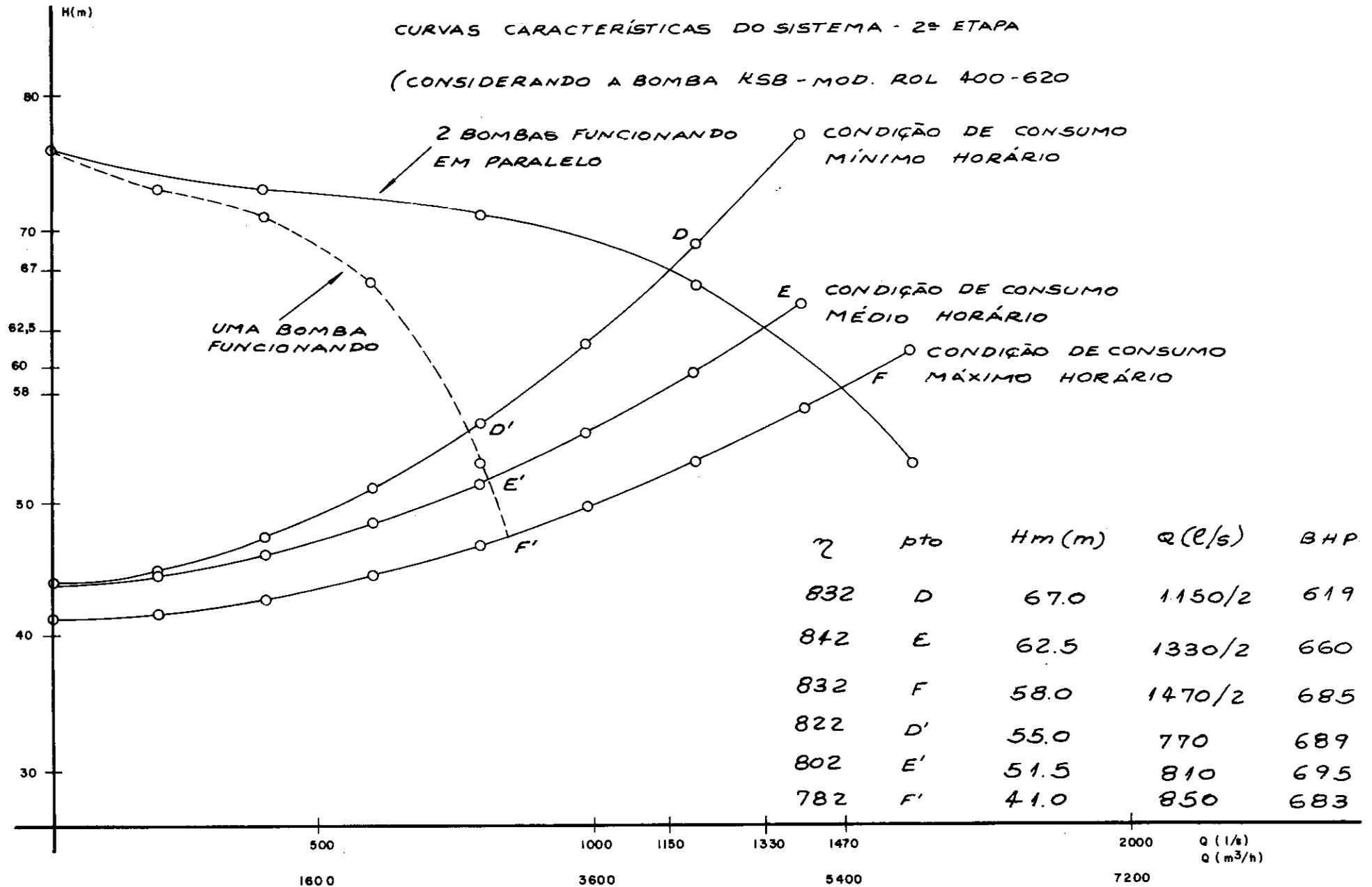


FIG. 8



CURVAS CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA - 2ª ETAPA

(CONSIDERANDO A BOMBA KSB - MOD. ROL 400-620)



3.2 Descrição do sistema de bombeamento com velocidade variável

Adotando-se o critério exposto em 2.1, e a partir das vazões máximas de 445 l/s para a 1.ª etapa e 1150 l/s para a 2.ª etapa deduzimos:

- vazão mínima para a 1.ª etapa — 117 l/s
- vazão mínima para a 2.ª etapa — 302 l/s

Definidas as vazões máximas e mínimas e as variações de pressão de sucção, foram traçadas as curvas indicadas nas figuras 10 e 11 com as quais selecionou-se um conjunto moto-bomba de velocidade variável para atender as vazões da 1.ª etapa e dois conjuntos moto-bomba funcionando em paralelo para atender as da 2.ª etapa.

Em ambas as etapas foi previsto um conjunto moto-bomba de reserva.

Para evitar pressões negativas na rede, na falta de energia elétrica, foi prevista uma bomba de emergência de velocidade constante para $Q = 302$ l/s e $H = 43$ m.c.a. (vazão mínima da 2.ª etapa x pressão correspondente) acionada por um motor diesel de 325 CV.

4. COMPARAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS

Para caracterizar as vantagens do sistema de bombeamento através de bombas de velocidade variável, iremos comparar o sistema de bombeamento do tipo "Abastecimento Em Marcha" implantado, com o sistema de bombeamento proposto.

Compararemos os custos de implantação dos equipamentos e construções envolvidos no estudo dos dois sistemas transformados em UPC, sendo portanto os demais custos considerados comuns aos sistemas. Não consideraremos os custos operacionais, visto que serão praticamente os mesmos para os dois sistemas.

Os custos do sistema implantado são os que foram efetivamente pagos. Os do sistema proposto foram obtidos de propostas de fabricantes de equipamentos.

4.1 Custos do sistema implantado para as duas etapas

Subestação Blindada, Quadro de Acionamento dos Motores	8.500 UPC
3 Conjuntos Moto-Bomba	15.300 UPC
2 Reservatórios de 12.000 m ³ cada	126.000 UPC

3 km de Cabos para Comando Interligando os Reservatórios à Elevatória	1.300 UPC
TOTAL	151.100 UPC

4.2 Custos do sistema proposto para as duas etapas

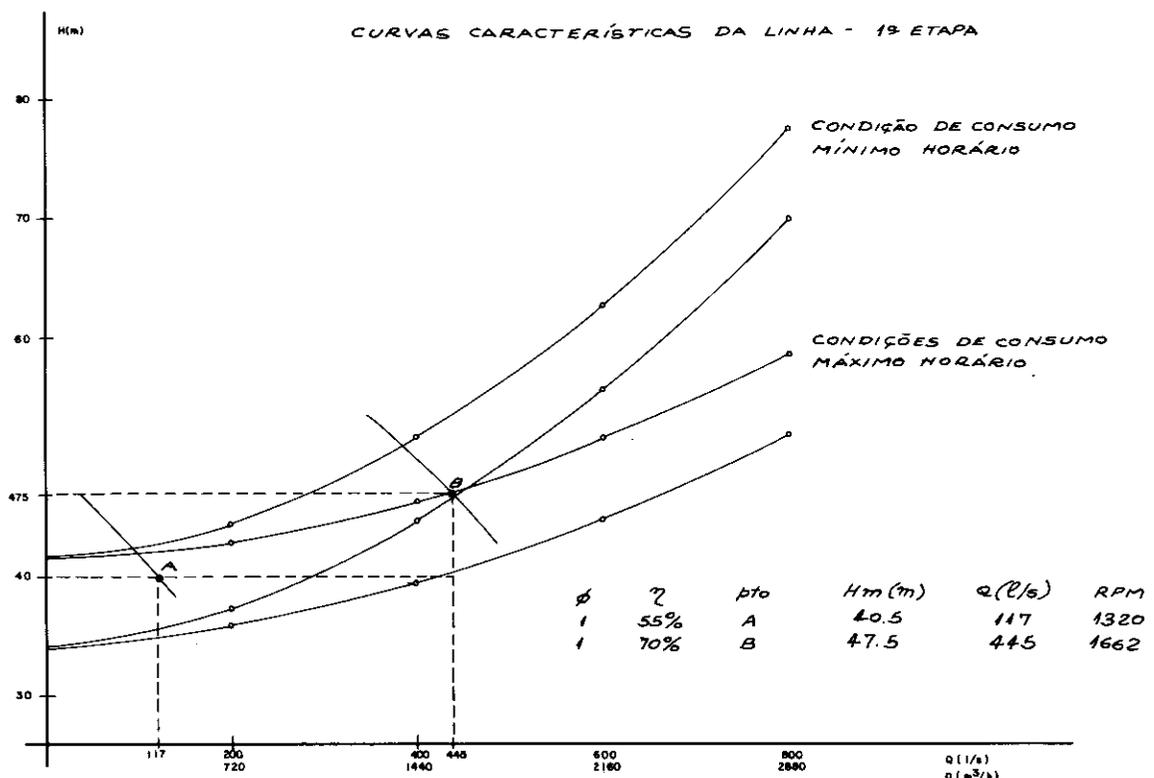
Subestação Blindada, Quadro de Acionamento dos Motores	8.500 UPC
3 Conjuntos Moto-Bomba	15.300 UPC
3 Variadores de Velocidade, Eletromagnéticos de Pólos Salientes, com Quadro de Controle e Transdutores	8.800 UPC
1 Bomba de emergência acionada por Motor Diesel de 325 CV	3.800 UPC
Instrumentação (Medidor de Vazão e Pressostato para Comando)	1.600 UPC
TOTAL	38.000 UPC

4.3 Comentários

a) Conforme pode-se observar, os equipamentos e construções envolvidos neste estudo do sistema proposto são cerca de 397% mais econômicos do que os correspondentes implantados.

Entretanto, considerando-se que os reservatórios implantados têm capacidade de reserva, para tornar esta comparação mais genérica iremos substituir o seu custo pelo custo

FIG. 10



de uma torre de carga, que é de 38.000 UPC. Neste caso, os equipamentos e construções do sistema proposto ainda são 66% mais econômicos.

b) É preciso considerar que o sistema proposto substitui simplesmente o implantado.

Se o sistema fosse projetado desde o início, prevendo a utilização de bombas de velocidade variável, possivelmente a estação elevatória seria subdividida em duas ou mais de menor porte, estrategicamente localizadas funcionando como "booster", proporcionando uma maior economia na implantação do sistema.

c) É necessário ainda ressaltar que, na comparação feita, os equipamentos eletromecânicos são de custo significativo por serem de grande porte. Nas elevatórias de menor porte o custo dos equipamentos se re-

duzem em muito, enquanto que o custo das torres se mantêm o que torna as diferenças de custos entre o sistema convencional e o de velocidade variável muito mais acentuado.

5. CONCLUSÃO

Do exposto, pode-se concluir que os sistemas de bombeamento direto, através de bomba de velocidade variável, são tão ou mais confiáveis do que os sistemas convencionais com torres de carga ou reservatórios. Além do aspecto técnico, deve-se ressaltar a grande economia proporcionada por este sistema, visto que elimina a necessidade da construção de torres de carga ou reservatórios, que são sempre construções de altíssimo custo, além de exigirem manutenção constante.

O sistema de bombeamento através de conjuntos motor-bomba de velocidade variável é constituído de equipamentos simples, nada sofisticados, podendo ser aplicados sem maiores problemas operacionais, inclusive em comunidades de menores recursos técnicos, proporcionando dessa forma grande economia na implantação dos sistemas de abastecimento de água.

Generalizando, pode-se considerar plenamente viáveis sistemas de abastecimento de água constituídos de estação de tratamento de água, reservação somente junto a essa ETA e elevatórias de velocidade variável "booster" estrategicamente localizadas para o abastecimento das regiões altas não abastecíveis por gravidade.

A economia que esse sistema proporcionaria é notória.

BIBLIOGRAFIA

— Karassih, I. J. e eRoy Carter — Bombas Centrífugas — Selección Operación y Mantenimiento — Barcelona — Companhia Editorial Continental S.A. — 1967 — 2.ª edição.

— Stepanoff, A. I. — Centrifugal and Axial Flow Pumps — New York, John Wiley Sons, 1957 — 2.ª edição.

— Yassuda, E. R.; Chiara, J.; Nogami, P. S. e outros — Bombas e Estações Elevató-

rias Utilizadas em Abastecimento de Água — São Paulo — Faculdade de Higiene e Saúde Pública — Escola Politécnica — 1966.

FIG. 11

