

ENSAIO DE DECANTAÇÃO ACELERADA NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE RIO GRANDE

Engenheiro CARLOS ENRIQUE SAEZ CARRIZO*

I — INTRODUÇÃO

As obras de reabilitação da Estação de Tratamento de Rio Grande, que abastece a região do ABC na Grande São Paulo, prevêm o aumento de sua capacidade de 2,4 para 3,5 m³/seg. Com este aumento todas as unidades serão sobrecarregadas, e em particular, os decantadores, que já se encontram com uma taxa de trabalho elevada de 68 m³/m².d e que passariam a trabalhar, caso mantido o sistema atual, a uma taxa ainda maior de 100 m³/m².d.

Como não poderia ser de outra forma, a eficiência dessas unidades para a taxa atual é péssima, problema que se agrava pelas deficientes condições do pré-tratamento físico-químico.

O projeto de reabilitação prevê, entre outras coisas, a otimização do pré-tratamento físico-químico e a transformação dos filtros em unidades de taxa declinante operando com dupla camada de antracito e areia.

Estes antecedentes levaram a suscitar a necessidade da instalação de uma área de decantação acelerada na parte final dos decantadores, de forma a possibilitar uma melhoria substancial da qualidade da água decantada.

É sabido que os decantadores acelerados podem operar com boa eficiência quando a

taxa de aplicação superficial (T_s), calculada para a área efetivamente coberta, está compreendida entre 180 a 240 m³/m².d. Contudo, o alto custo deste tipo de decantadores e a elevada vazão a tratar levaram a procurar estabelecer com precisão a taxa de aplicação a adotar no projeto, visando o resultado mais econômico considerando-se não só o custo dos módulos em si e de sua instalação, como também a duração das carreiras de filtração. Maior taxa na decantação significará menor área coberta e conseqüentemente menor investimento de implantação mas, paralelamente, a qualidade da água piorará diminuindo as carreiras de filtração e aumentando o consumo de água de lavagem.

A melhor solução será aquela que, assegurando sempre um padrão invariável de qualidade da água filtrada, apresentar melhor resultado econômico, considerando custos de implantação e operação.

No presente trabalho relata-se o procedimento seguido para a solução do problema apresentado, o qual constitui um método racional de dimensionamento de instalações para decantação acelerada.

II — DESCRIÇÃO DAS INSTALAÇÕES E METODOLOGIA DO ENSAIO

1 — Instalações — Para a realização dos ensaios instalou-se, na parte final de um dos

* Engenheiro da Diretoria de Construção da SABESP

decantadores da Estação, uma pequena área de módulos tubulares, isolada do resto do decantador, na qual, mediante uma bomba de 15 HP, foi possível simular diversas taxas de aplicação superficial abrangendo uma faixa estudada de 180 a 360 m³/m².dia. A água bombeada era posteriormente descarregada num tanque de 1.000 litros onde era aferida a vazão, regulando-se esta última mediante uma válvula na descarga (Ver Fig. 1). A água efluente era aplicada a filtro piloto de características idênticas às dos filtros da Estação após sua reabilitação, ou seja, funcionamento a uma taxa de filtração de 300 m³/m².dia e leito filtrante e camada suporte com o seguinte detalhe:

PEDREGULHO:

Altura das Camadas	Granulometria
15,0 cm	1 1/2" — 3/4"
7,5 cm	3/4" — 1/2"
7,5 cm	1/2" — 1/4"
7,5 cm	1/4" — Pen. n.º 6
7,5 cm	Pen. n.º 6 — Pen. n.º 14

Alt. suporte 45 cm

AREIA:

Tamanho efetivo: 0,35 — 0,45 mm
 Coeficiente de uniformidade: 1,55
 Altura do leito: 20 cm

ANTRACITO:

Tamanho efetivo: 0,9 — 1,0 mm
 Coeficiente de uniformidade: 1,7
 Peso específico: 1,5 — 1,6
 Dureza: 2,8 — 3,7 (Esc. Moh)
 Altura do leito: 40 cm

Paralelamente, um segundo filtro piloto, com as mesmas características do primeiro, foi alimentado com água efluente do mesmo decantador no qual foi instalada a área de decantação tubular, visando medir a porcentagem de aumento nas carreiras de filtração obtida mediante a decantação acelerada, em relação à clássica.

2 — Procedimento de ensaio — Para alcançar os objetivos desejados, os ensaios visaram estabelecer como se comportavam os módulos quando lhes eram aplicadas diferentes taxas superficiais. O comportamento foi medido por meio de duas grandezas. A primeira grandeza foi a eficiência na remoção de turbidez; a segunda a duração das carreiras de filtração do filtro recebendo água efluente da decantação tubular e, paralelamente, as do filtro que recebia água decantada pelo método clássico.

Como complemento dessas informações foi medida também a turbidez do efluente de ambos os filtros para verificar o padrão de qualidade da água filtrada.

Em resumo, o procedimento para a realização dos ensaios foi o seguinte (Ver Fig. 1):

a — Fazer passar através dos módulos tubulares uma vazão determinada acionando a bomba e regulando esta mediante o registro na descarga. Uma vez que a área coberta é conhecida, a taxa de aplicação superficial a ser testada também é conhecida.

b — A determinação exata da vazão é feita por aferição no tanque a jusante.

c — Uma vez colocado o sistema em operação numa determinada taxa, esperava-se um determinado tempo para permitir que se atingisse o estado de regime.

d — Uma vez atingido o estado de regime começava-se a carreira de filtração para ambos os filtros, ajustando-se a taxa de filtração no valor pré-estabelecido.

3 — Medições levantadas — Em cada um desses ensaios, ou seja, para cada carreira de filtração, foram feitas, a cada duas horas, as seguintes determinações:

a — Turbidez da água decantada clássica, localizando-se o ponto de coleta na parte externa da caixa contendo os módulos tubulares (C).

b — Turbidez da água efluente da decantação tubular (M), localizando-se o ponto de coleta dentro da caixa de módulos.

c — Perda de carga e turbidez de água filtrada em cada um dos filtros descritos.

No quadro n.º 1 são apresentados os valores médios da eficiência, calculados para cada taxa de aplicação superficial testada. Estes valores médios são provenientes de oito a dezesseis pares de valores C e M tomados ao longo das carreiras de filtração.

QUADRO N.º 1

Valores médios da eficiência dos módulos na remoção de turbidez

T _s (m ³ /m ² .d)	177	220	218	236	260	280	296	325	352
E _m (%)	63	58	54	54	47	51	40	47	38

T_s — Taxa de aplicação superficial para a área de decantação tubular.

E_m — Eficiência na remoção de turbidez.

$$E_m = 100 \left(1 - \frac{M}{C} \right)$$

DECANTAÇÃO ACELERADA

As carreiras de filtração eram encerradas quando a perda de carga atingia 2,20 m. Os valores das carreiras e as porcentagens de aumento para as taxas de aplicação superficial nos módulos são apresentados no quadro n.º 2.

QUADRO N.º 2

Aumento das carreiras de filtração

T_s (m ³ /m ² .d)	C_1 (hs)	C_2 (hs)	A_u (%)
177	18,00	39,00	117
200	21,25	41,00	93
218	19,17	37,50	96
236	21,00	38,00	81
260	20,50	32,10	57
280	20,10	33,00	64
296	17,75	29,33	65
325	21,00	32,10	53
352	19,00	28,00	47

Valor médio $C_1 = 19,75$

- T_s — Taxa de aplicação superficial para a área de decantação tubular.
- C_1 — Carreira do filtro alimentado com água decantada clássica.
- C_2 — Carreira do filtro alimentado com o efluente da decantação tubular.
- A_u — Aumento porcentual na carreira de filtração devido à decantação tubular.

$$A_u = \frac{C_2 - C_1}{C_1} \times 100$$

III — RESULTADOS E APLICAÇÃO PRÁTICA

1 — Resultados — Um resumo dos resultados das experiências é mostrado nas Figs. 2, 3 e 4.

Na Fig. 2 mostra-se a variação da eficiência na remoção de turbidez alcançadas pelos módulos (E_m), com a taxa superficial aplicada (T_s).

A Fig. 3 mostra o aumento porcentual (A_u), das carreiras de filtração quando se filtra o efluente dos módulos, em relação às car-

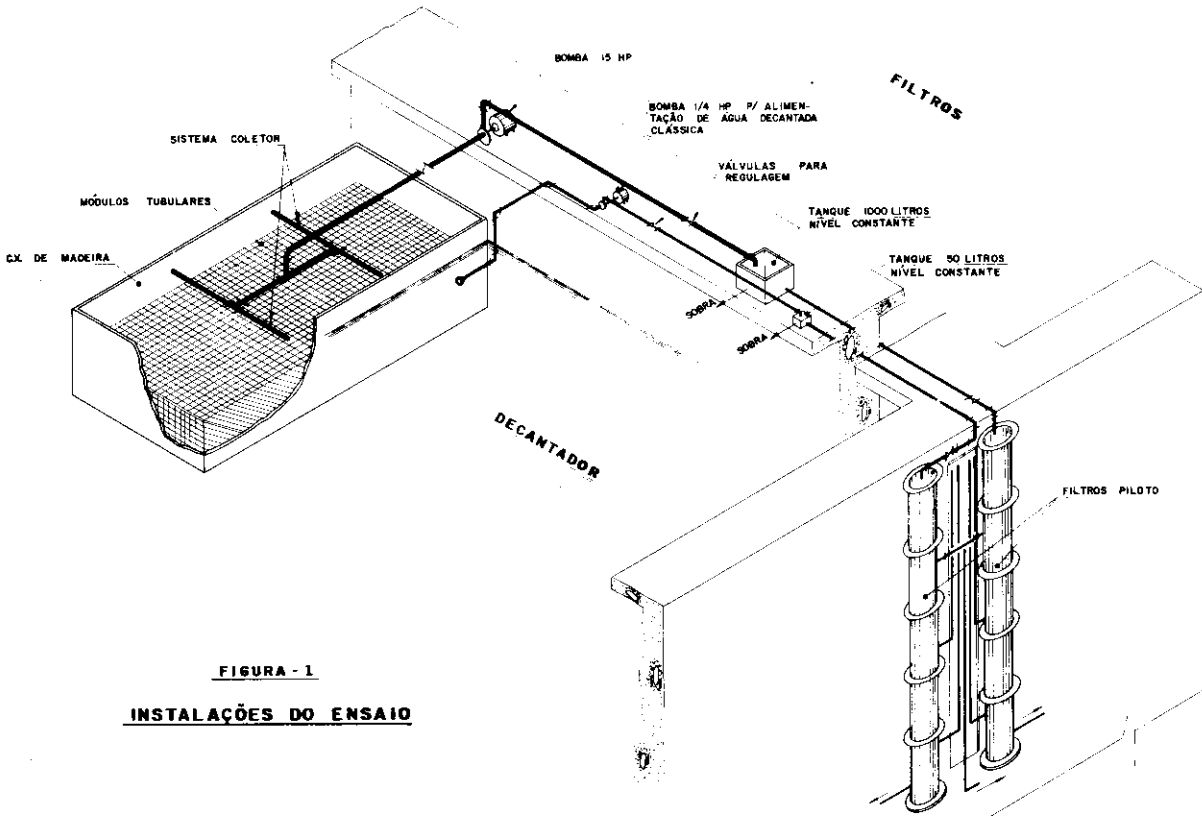


FIGURA - 1
INSTALAÇÕES DO ENSAIO

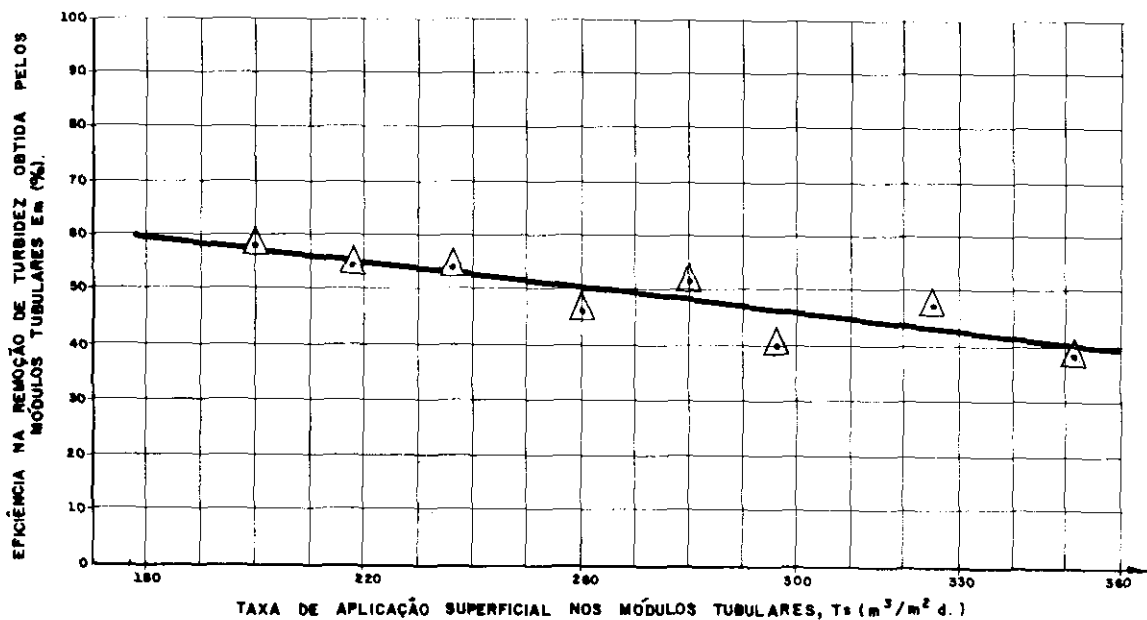


FIGURA - 2

EFICIÊNCIA DA DECANTAÇÃO ACELERADA NA REMOÇÃO DE TURBIDEZ PARA AS DIVERSAS TAXAS DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO RIO GRANDE - TRG

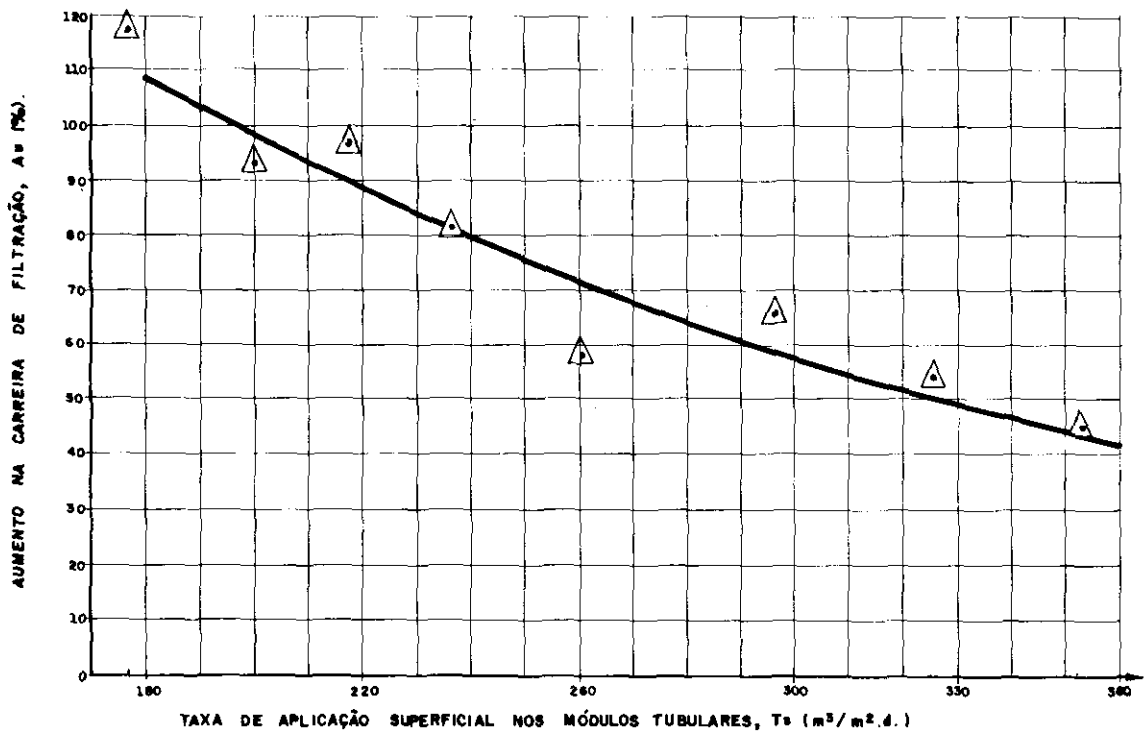
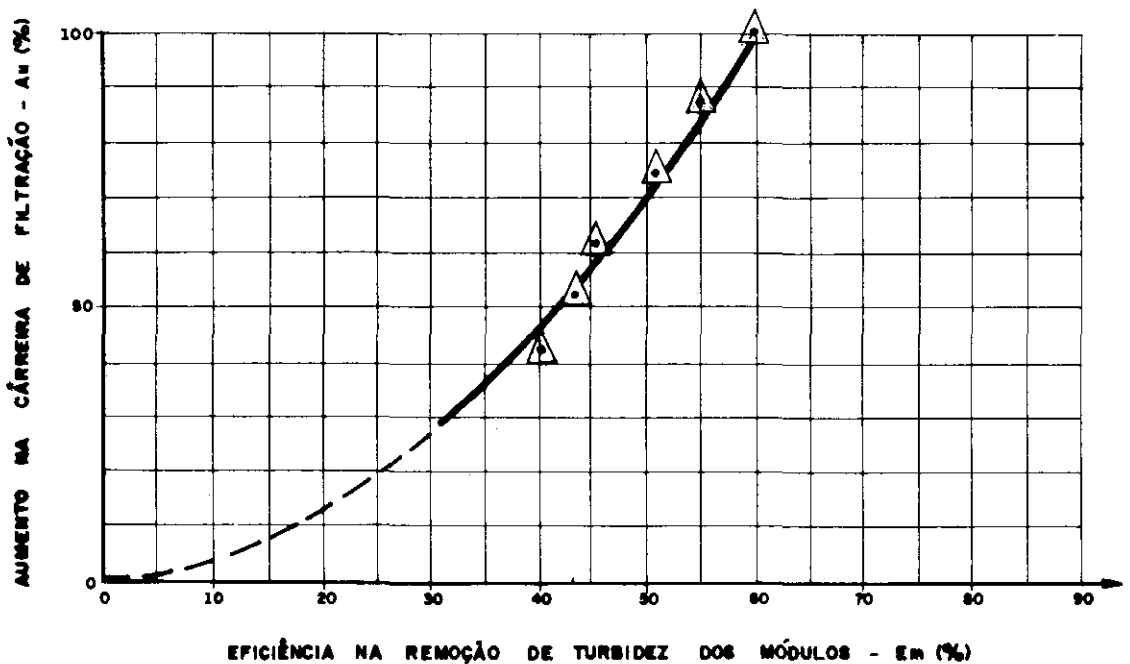


FIGURA - 3

AUMENTO NA CARREIRA DE FILTRAÇÃO COM AS DIVERSAS TAXAS DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL NA DECANTAÇÃO ACELERADA

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO RIO GRANDE - TRG

**FIGURA - 4**

AUMENTO DAS CARREIRAS DE FILTRAÇÃO vs.
EFICIÊNCIA NA REMOÇÃO DE TURBIDEZ

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO RIO GRANDE - TRG

reiras do filtro recebendo água decantada clássica, com a taxa superficial aplicada (T_s).

Por último, na Fig. 4 se representa a função:

$A_u = f(E_m)$. Teoricamente esta curva deveria passar pela origem, ou seja, quando a eficiência dos módulos tende a zero, o aumento das carreiras também. Da mesma forma, se a eficiência tende a 100%, o aumento das carreiras deverá tender hipoteticamente ao infinito.

2 — Aplicação prática — Com base nos resultados obtidos nos ensaios, pode-se calcular a área de decantação acelerada mediante um simples cálculo econômico. Com efeito, para cada taxa de aplicação superficial ter-se-á um determinado custo, que será a soma do custo de implantação da decantação tubular e do custo de operação (neste caso só se considera o custo da água usada na lavagem). Na continuação se enumeram os passos a seguir para determinar o custo que implica cada taxa de aplicação superficial:

a — Para cada taxa de aplicação e com ajuda da curva da Fig. 3, obtém-se o aumento,

na carreira de filtração respectiva.

b — Com o dado do valor médio das carreiras do filtro alimentado com água decantada clássica — C_1 e a porcentagem de aumento obtido em (a), calcula-se a duração média da carreira de filtração para a decantação acelerada, que corresponde a esta taxa de aplicação superficial.

c — Com dado determinado em (b) determina-se o volume de água gasta na lavagem num ano e, com o preço de produção dela, ter-se-á o custo anual respectivo. O estudo econômico se faz para um período de N anos e estes custos anuais devem ser transformados em capital mediante a aplicação da taxa de juros adequada.

d — Com o dado da vazão da estação e a taxa de aplicação, determina-se a área a cobrir para decantação acelerada e, com os custos por m^2 de material, sustentação, colocação etc., tem-se o custo de implantação. Este custo dependerá da solução adotada para a decantação: módulos tubulares ou placas paralelas, suas dimensões geométricas e sistema de sustentação.

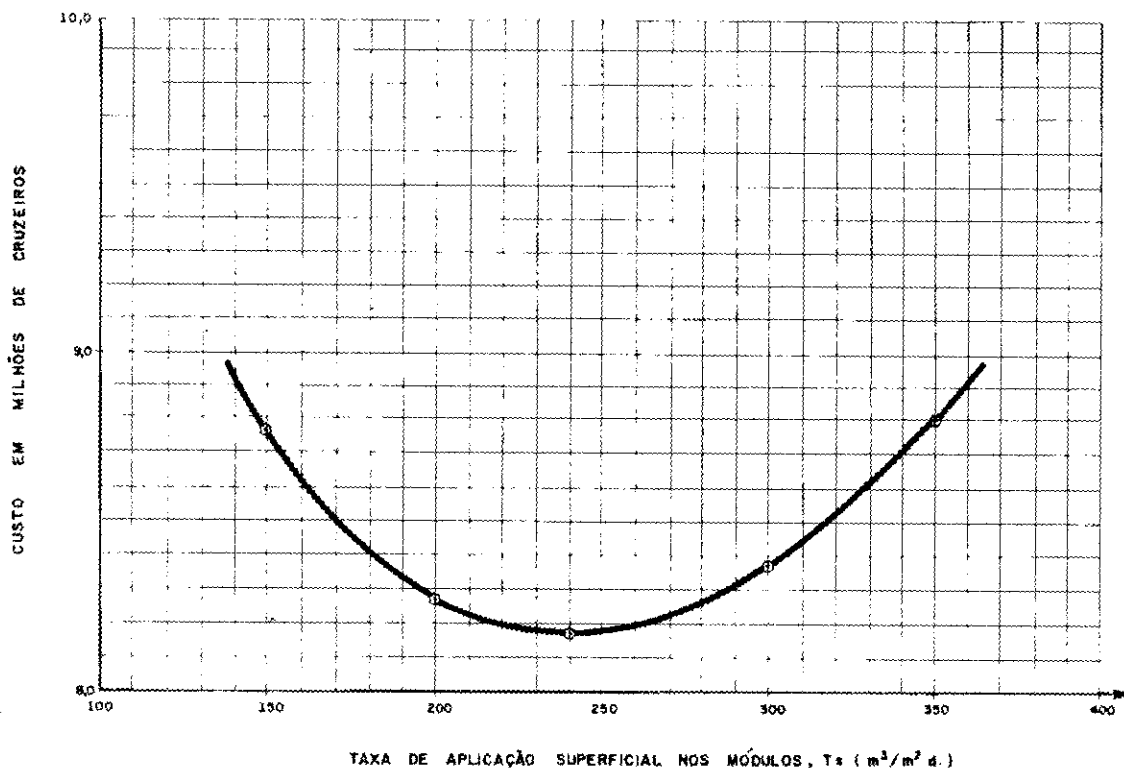


FIGURA - 5

CURVA DE CUSTOS PARA AS TAXAS DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL NOS MÓDULOS

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO RIO GRANDE - TRG

e — Finalmente, o custo total para aquela taxa de aplicação superficial será a soma do custo determinado no ponto (c) e o custo calculado no ponto (d). Fica, desta maneira, determinado um ponto da curva de custos.

Na Fig. 5 mostra-se a curva de custos que resultou no estudo feito para a Estação de Tratamento Rio Grande. Evidentemente, a taxa adotada encontra-se na faixa em que os custos são mínimos e que cumpra com os limites normalmente aceitos para decantação acelerada no que diz respeito à velocidade nos tubos e número de Reynolds.

IV — CONCLUSÕES

Tal como foi dito, neste trabalho se expõe um método racional para a determinação da área de decantação acelerada e, tanto o custo das instalações de ensaios quanto o tempo gasto para efetuar os mesmos, justifica-se quando se trata de Estações de Tratamento de mediano a grande porte onde o custo das obras envolvidas chega a cifras importantes.

A idéia aqui exposta não deve ser levada ao extremo de envolver, na comparação, taxas de aplicação extremamente elevadas, porquanto tal implicaria em lançar aos filtros água de turbidez excessiva, procedimento que favoreceria a eventual produção de água filtrada de má qualidade, com as óbvias conseqüências sanitárias indesejáveis.

Além da fixação da área a cobrir com módulos tubulares (solução adotada para a reabilitação dos decantadores da Estação do Rio Grande), determinou-se a curva de eficiência (Fig. 2) para a faixa de taxas de aplicação superficial que vá de 180 a 360 m³/m².dia para a área efetivamente coberta.

Para complementar esta última informação deve-se mencionar que as determinações feitas são válidas para as condições em que foram realizadas, ou seja, água bruta de baixa turbidez e colorida, pré-tratamento ruim etc., uma vez que a eficiência na decantação acelerada varia com a quantidade e qualidade de floc na água afluyente. A este respeito, na Fig. 6 mostra-se a variação da eficiência com a turbidez do afluyente na Estação do Rio Grande.

Como complemento ao método descrito, e uma vez determinadas a taxa de aplicação mais econômica, pode-se relacionar esta à velocidade crítica de sedimentação, através da expressão de Yao

$$V_{sc} = \frac{S_c V_o}{\text{sen } \varnothing + L \cos \varnothing}$$

na qual,

$$V_o = \frac{T_s}{\text{sen } \varnothing}$$

e utilizar o valor de V_{sc} , em conjunção com "jar-tests", para determinações referentes aos parâmetros da floculação e ao eventual uso de auxiliares de floculação.

A propósito, cabe mencionar que o estudo acima mostrou não ser adequada a recomenda-

ção de Yao no que diz respeito ao valor a adotar para L, o que é exposto no Apêndice.

V — OBSERVAÇÃO

O presente trabalho baseou-se nos relatórios dos estudos idealizados, pelo Eng.º Marcial Gil Latou, e realizados pelo mesmo com a colaboração do autor.

BIBLIOGRAFIA

1. YAO, K.M. — *Theoretical study of high-rate sedimentation*. Journal WPCF, 42 (2) pt. 1:218-228, Feb. 1970.
2. YAO, K.M. — *High-rate settlers*. Simposio sobre Nuevos Metodos de Tratamiento, Paraguay, 1972.
3. SAEZ CARRIZO, C.E. & GIL LATOU, M. — *Ensaio de módulos tubulares — relatórios n.ºs 3200-006 — R1 e 3200-066 — R3*. São Paulo, SABESP, s.d.

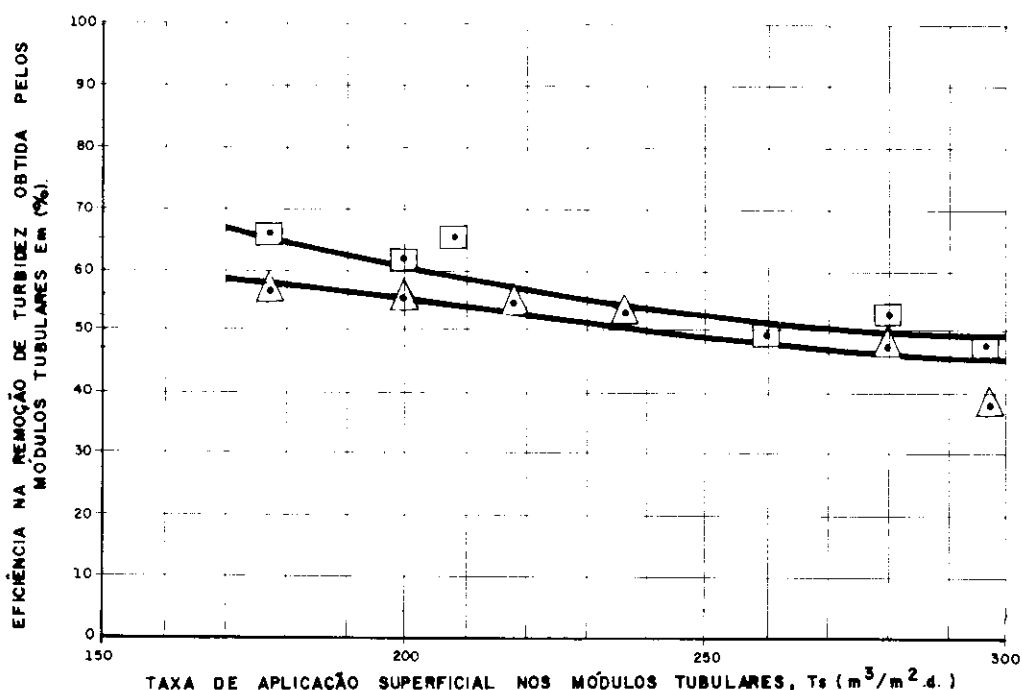


FIGURA - 6

EFICIÊNCIA DA DECANTAÇÃO ACELERADA EM FUNÇÃO DA TURBIDEZ AFLUENTE

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO RIO GRANDE - TR6

LEGENDA:

- TURBIDEZ AFLUENTE : 4 (FTU)
- ▲— TURBIDEZ AFLUENTE : 1 (FTU)

APÊNDICE

Considerações sobre as expressões de Yao para decantação acelerada

K. M. Yao, em "Theoretical study of high-rate sedimentation (Journal, WPCF, Fev. 1970), deduz a expressão.

$$V_{sc} = K \frac{V_o}{L} \quad (1)$$

na qual,

$$K = S_c \frac{L}{\text{sen } \varnothing + L \cos \varnothing} \quad (2)$$

logo,

$$V_{sc} = \frac{S_c V_o}{\text{sen } \varnothing + L \cos \varnothing} \quad (3)$$

Nesta expressão,

V_{sc} = velocidade crítica de sedimentação, isto é, velocidade de sedimentação da mais leve das partículas a remover.

S_c = fator de forma, igual a 1,375 para regime laminar em tubos de seção quadrada e igual a 1 para regime uniforme.

V_o = velocidade média de escoamento no interior dos tubos.

L = comprimento efetivo dos tubos, medido em termos de d , distância entre as paredes inclinadas dos mesmos.

\varnothing — ângulo de inclinação dos tubos.

Para L , comprimento **efetivo** dos tubos, Yao indica que se deve tomar a diferença entre o comprimento total do tubo (L_t) e o comprimento necessário para que se estabeleça o escoamento laminar, que é:

$$L' = 0,058 \frac{V_o d}{\gamma} \quad (4)$$

sendo γ a viscosidade cinemática do líquido.

Esta recomendação, referente a L , é aqui contestada, com base nos resultados dos estudos experimentais realizados. Com efeito, calculando-se a expressão (4) com os valores:

$V_o = 4 \times 10^{-3}$ m/seg., correspondente a $T_s = 300$ m³/m².dia

$d = 0,05$ m, correspondente aos módulos usados nos estudos, e

$\gamma = 10^{-6}$ m²/seg., correspondente à água a 20°C, tem-se:

$L' = 11,6$

Na expressão (3) ter-se-ia, portanto,

$S_c = 1,375$ correspondente a escoamento laminar em tubos de seção quadrada

$V_o = 4 \times 10^{-3}$ m/seg., como já visto,

$L_t = 12$ correspondente a tubos de 60 cm de comprimento com $d = 5$ cm, usados nos estudos.

$L = 12 - 11,6 = 0,4$

$\varnothing = 60^\circ$

Resultaria:

$$V_{sc} = \frac{1,375 \times 4 \times 10^{-3}}{0,866 + 0,2} = 5,16 \times 10^{-3} = 31 \text{ cm/min}$$

Este valor é elevadíssimo e, se fosse verdadeiro, a eficiência dos módulos seria praticamente nula o que, de forma alguma, se revelou nos ensaios; na realidade, obteve-se uma eficiência da ordem de 45% para $T_s = 300$ m³/m².dia.

Ora, não é correto tomar $L = L_t - L'$; o trecho de comprimento L' é a zona de transição entre o escoamento turbulento uniforme da zona de aproximação aos módulos e o escoamento laminar plenamente estabelecido; no trecho L' não só ocorre sedimentação como esta se dá em condições mais favoráveis do que no de escoamento laminar, o que se traduz analiticamente pelos respectivos coeficientes de forma: 1,375 para escoamento laminar e 1 para escoamento uniforme. O fator de forma médio variaria entre 1,375 e 1 conforme L' variasse entre 0 e L .

Sugere-se, em alternativa, usar a expressão (3) fazendo-se $L = L_t$ e tomando $S_c = 1,375$; a primeira desta sugestões traduz o fato de ocorrer sedimentação em toda a extensão dos tubos; a segunda, constitui uma segurança porquanto S_c será sempre inferior a 1,375.

Aplicando-se este procedimento, com os valores já vistos, obtém-se:

$$V_{sc} = \frac{1,375 \times 4 \times 10^{-3}}{6,866} = 8 \times 10^{-4} \text{ m/s} = 4,8 \text{ cm/min}$$

Valor perfeitamente coerente com os resultados obtidos.