

# Estações de tratamento padronizadas para comunidades de pequeno porte

NANCY NEPOMUCENO TEIXEIRA (1)  
JULIO NAKAI (1)  
JOSÉ CARLOS TORREZAN (2)

## 1. INTRODUÇÃO

A deterioração sempre crescente da qualidade da água natural e o aumento do conhecimento científico, levam à criação de leis cada vez mais exigentes no que se refere ao abastecimento de água para o consumo humano.

No Estado de São Paulo, salvo raras exceções, o atendimento a essas leis implica no tratamento da água de superfície em ciclo completo, isto é, coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e correção do pH.

Para as pequenas comunidades, esse tratamento a ciclo completo, representa um ônus elevado tornando muito pequena a relação benefício/custo. Para atender a essas comunidades integrantes do Programa de Abastecimento de Água das Comunidades de Pequeno Porte (CPP), a SABESP — Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, desenvolveu e padronizou ETAs que pudessem atender a várias faixas de população, ao invés de uma unidade diferente para cada caso, reduzindo assim o custo de implan-

tação. Essas ETAs, foram projetadas utilizando técnicas que melhor se adequam à nossa realidade de construção, operação e manutenção, como também de recursos materiais e humanos.

Com o número de ETAs hoje em operação (17) em diversas micro-regiões, é possível analisar os aspectos de projeto, construção e operação, obtendo assim uma visão da validade do empreendimento.

## 2. DESCRIÇÃO DA ETA PADRÃO

A ETA padronizada é composta essencialmente de três unidades independentes: casa de química, unidade de processamento e câmara de controle de nível.

Têm sido utilizados 3 tipos de casa de química: A, A.1 e B. O tipo A tem sido o mais utilizado. O Tipo B difere do A apenas por uma sala de bombas. E a Tipo A.1 ocupa uma área maior que as outras duas e é utilizada para vazões de 40 l/s ou mais.

As unidades de processamento foram padronizadas para vazões de 12, 16, 20 e 25 l/s, podendo haver uma sobrecarga de até 20%, sem prejuízo da qualidade final da água.

As caixas de controle de nível variam com a capacidade das unidades de processamento.

Uma ampliação da capacidade do tratamento consistirá apenas de uma duplicação da unidade de processamento, mantendo as duas outras unidades integrais.

Os quadros 1 e 2, mostram as dimensões das 3 unidades independentes. As figuras 1 e 2 dão a noção esquemática de uma unidade de processamento de 25 l/s e câmara de controle de nível, e a figura 3, de uma casa de química tipo A.

A seguir serão comentadas detalhadamente as 3 unidades.

## 3. CASA DE QUÍMICA

Foram elaborados inicialmente (em 1977) dois projetos padronizados de casa de química, denominados A e B. O Tipo B se diferencia do A apenas pela existência de uma sala de bombas para pressurização do ejetor da sala de cloração e abastecimento do pequeno reservatório que atende aos gastos da edificação.

Na medida do possível, procurou-se sempre local as ETAs junto às captações, para maximizar a centralização do sistema.

Essa concepção permite que se disponha de água tratada sob pressão adequada para utilização na casa de química.

Quando essa solução não pode ser adotada, utiliza-se então a casa de química tipo B. Vale ressaltar que a incidência de utilização foi da ordem de 10% dos casos.

Recentemente (1979) foi elaborado um outro projeto denominado do A.1, semelhante ao tipo A, destinado a vazões de tratamento de 40 l/s ou mais.

(1) Engenheiros do Grupo de Estudos e Projetos da Superintendência de Obras Especiais — Diretoria de Operação do Interior, SABESP.

(2) Engenheiro Coordenador do Grupo de Estudos e Projetos da Superintendência de Obras Especiais — Diretoria de Operação do Interior — SABESP.

QUADRO 1 - DIMENSÕES DA UNIDADE DE PROCESSAMENTO

Capacidade (l/s)	FLOCULADOR			DECANTADORES				FILTROS		CAIXA CONT. NÍVEL			ÁREA DA ETA (m <sup>2</sup> )
	Larg. (m)	Comp. (m)	Vol. (m <sup>3</sup> )	Larg. (m)	Comp. (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Larg. (m)	Comp. (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Larg. (m)	Comp. (m)	Área (m <sup>2</sup> )	
12	4,45	1,20	21,63	2,15	2,20	4,73	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	24,74
16	5,25	1,40	29,40	2,55	2,60	6,63	1,20	1,10	1,32	1,00	1,00	1,00	32,77
20	5,65	1,60	36,16	2,75	2,80	7,70	1,30	1,30	1,69	1,00	1,00	1,00	38,72
25	6,45	1,70	44,96	3,15	3,25	10,24	1,50	1,40	2,10	1,40	1,10	1,54	48,29

QUADRO 2 - DIMENSÕES DAS CASAS DE QUÍMICA

Tipo	ÁREA (M <sup>2</sup> )										Dimensões Externas (M)
	Laborat.	Sl. Prep. P. Quim.	Depósito P. Quim.	Cloração	Depósito Cloro	Bomba Dosadora	Sala Fluoret.	Sanitário	Circulação	Sl. Bomba pressuriz.	
A	11,67	10,80	9,12	1,32	2,28	1,90	1,82	3,88	10,44	-	11,60 x 5,65
A <sub>1</sub>	12,48	12,72	11,28	1,56	3,00	2,70	2,10	4,94	10,62	-	13,20 x 5,65
B	11,17	11,04	9,12	1,32	2,28	1,90	1,82	3,88	12,60	3,38	12,60 x 5,65

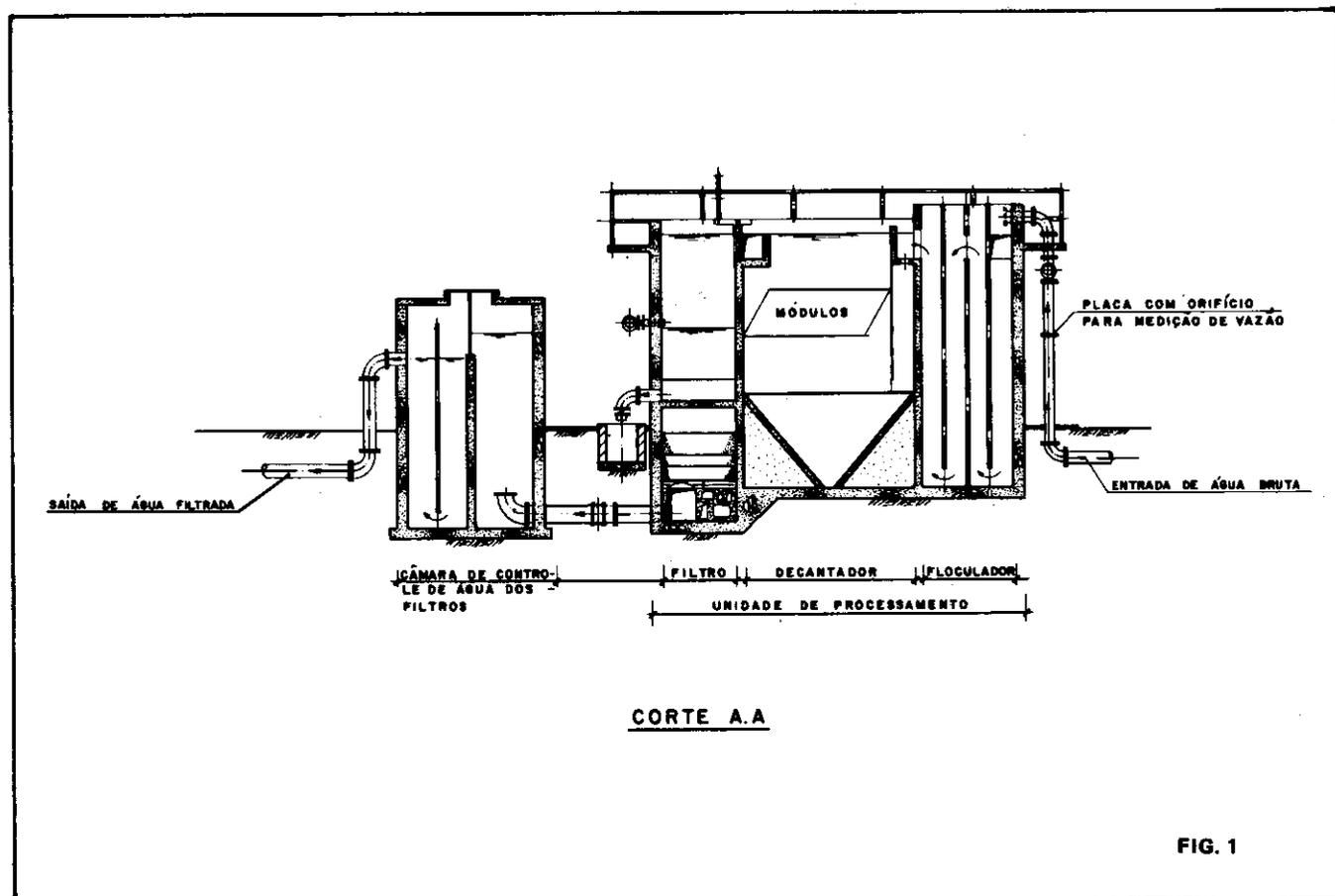


FIG. 1

A casa de química padronizada (vide fig. 3) consta de uma edificação térrea que contém:

- laboratório
- sala de preparação de sulfato e cal
- depósito de produtos químicos
- sala de cloração
- sala de cilindros de cloro
- sala de fluoretacão

- sala de bombas dosadoras
- sala de bombas pressurizadoras (exclusiva do tipo B)
- sanitário

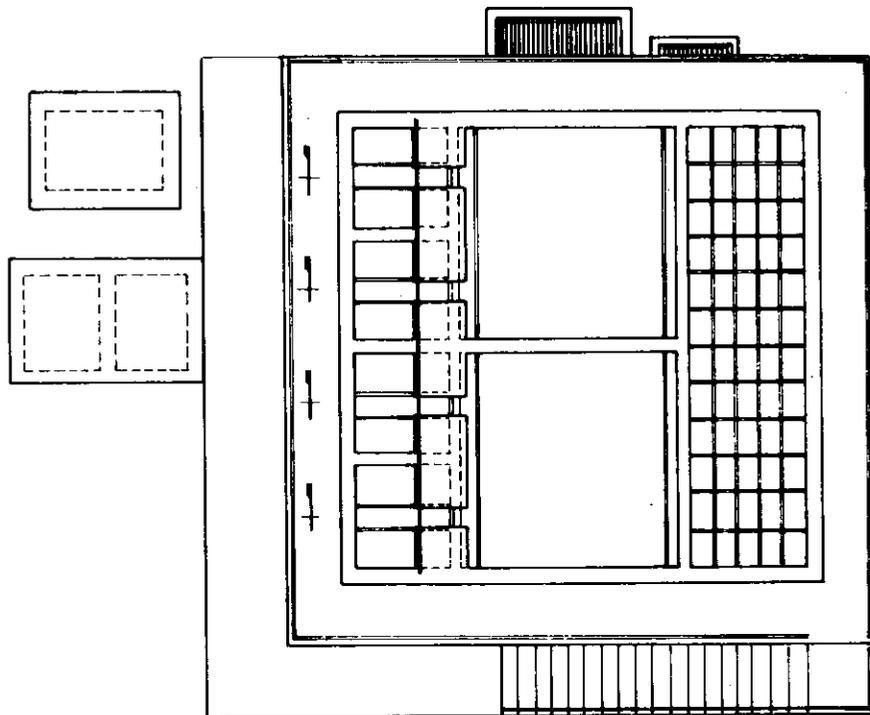
O laboratório está equipado com a instrumentação mínima necessária aos exames físico-químicos rotineiros, tais como:

- cor
- turbidez

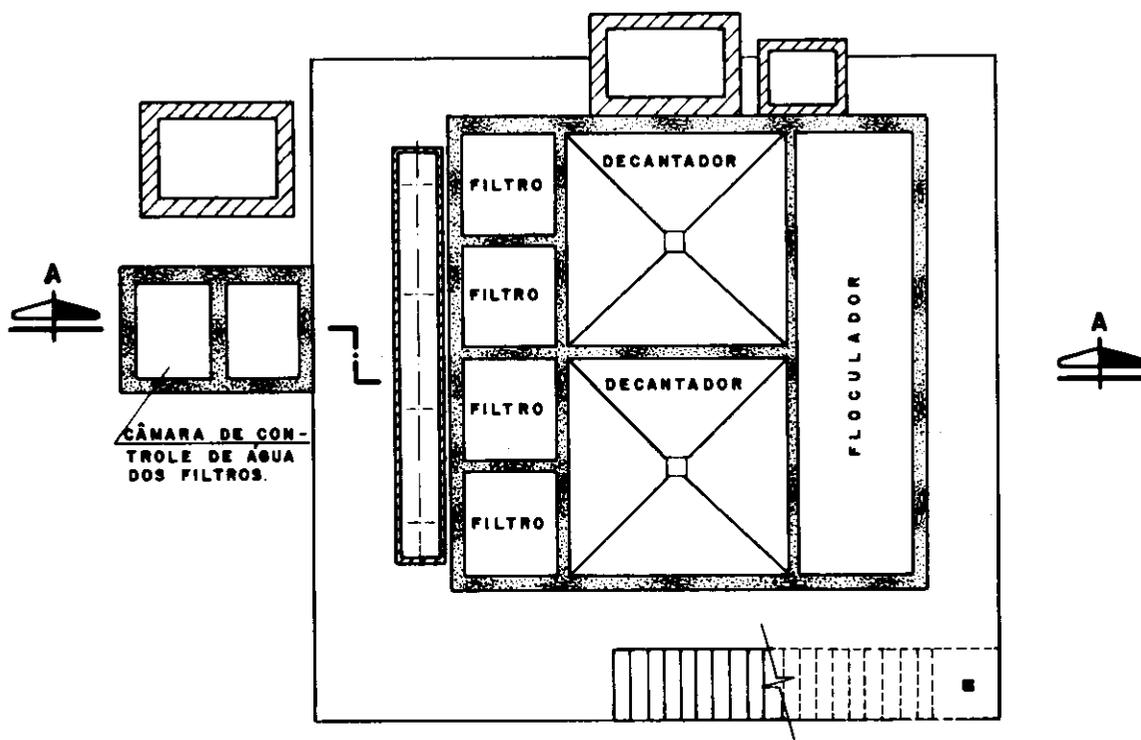
- cloro residual
- pH
- ensaio de coagulação
- alcalinidade

A aparelhagem foi escolhida em função de algumas pequenas ETAs já existentes e de informações fornecidas por profissionais da própria Companhia.

Afora os equipamentos específi-



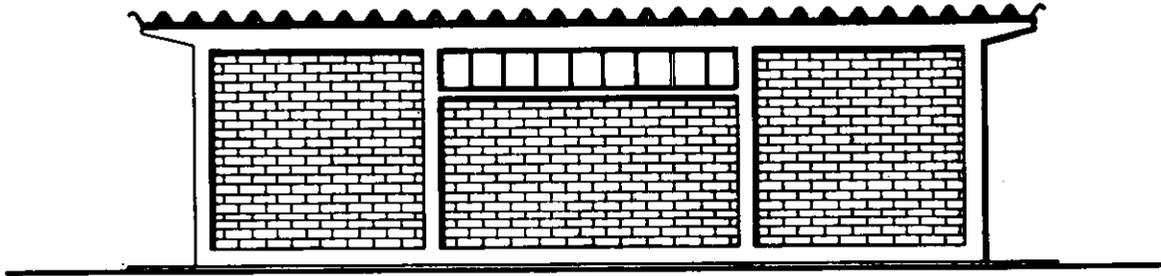
PLANTA SUPERIOR



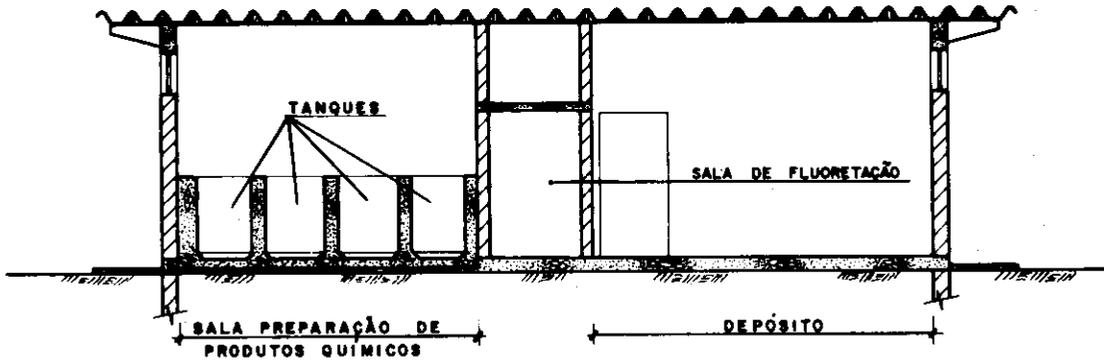
PLANTA INFERIOR

FIG. 2

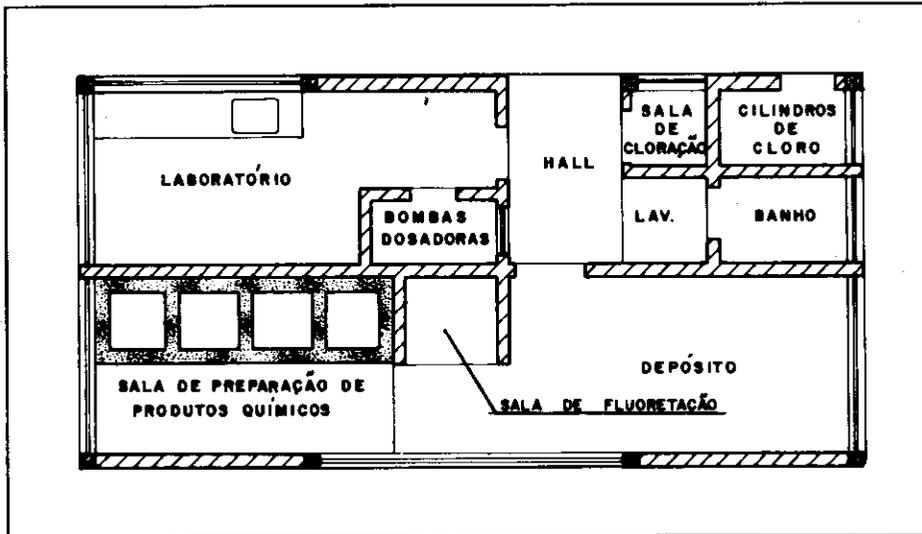
SABESP: VISTO E ACEITO		companhia de saneamento básico do estado de são paulo					Nº	
ANALISADO	/ /	ETA Q = 25 l/s					R.	FL. 1/2
ACEITO	/ /	AREA PROJ.				Nº CONTRATADA		
VISTO	/ /	SUB-AREA PROJ.				ESCALA 8/830		
EXECUTADO POR <b>DI-SOE-GEP</b>		DES. LVT	06/05/81	APROVADO POR				
		PROJ.	/ /	ASS.	CREA	/ /		



**FACHADA**



**CORTE A.A**



**PLANTA**

**FIG. 3**

SABESP: VISTO E ACEITO		companhia de saneamento básico de estado de são paulo					Nº	
ANALISADO	/ /	CASA DE QUÍMICA-TIPO "A"					R.	FL.
ACEITO	/ /	AREA PROJ.					Nº CONTRATADA	
VISTO	/ /	SUB-AREA PROJ.					ESCALA	
EXECUTADO POR		DES. L.V.T.	06/05/81	APROVADO POR		S/ESC.		
<b>DI-SOE-GEP</b>		PROJ.	/ /	ASS.	CREA	/ /		

cos para determinação daqueles exames, foram previstos ainda um banho-maria, dois termômetros para ar e um termômetro comum a mercúrio, além de uma certa quantidade de reagentes químicos para o funcionamento inicial e da vidraria necessária.

Para facilitar a retirada das amostras nas diversas fases do processamento da água, foram instaladas tubulações que vêm ter ao laboratório.

Na sala de preparação de cal e sulfato de alumínio, há quatro tanques de concreto, revestidos com epóxi e equipados com agitadores de eixo vertical, tipo hélice, de baixa rotação, para homogeneização das soluções.

O dimensionamento dos tanques foi feito de tal forma que as concentrações do sulfato de alumínio ficassem entre 2% (ETA 12 l/s) a 4% (ETA 25 l/s) e as de cal, entre 1 e 2%.

O depósito permite um armazenamento de produtos químicos para um período de 2 a 3 meses.

A área de cloração é compartimentada em duas salas: numa ficam os cilindros de cloro e uma balança, noutra, os dosadores.

A aplicação é feita sob a forma de água super-clorada e a capacidade mínima de dosagem dos equipamentos é de 4,5 Kg/24 horas.

Para a sala de fluoretação foram previstas duas bombas de precisão micrométrica para a aplicação do ácido. No entanto dados os preços atuais dessas bombas, estão sendo estudadas outras soluções tais como pinga-pinga, hidro-ejetor.

Na sala das bombas dosadoras são instaladas duas unidades, de diafragma, com três cabeças, para vazões de 0 a 110 l/h e pressão de trabalho de 0,5 a 1,0 kg/cm<sup>2</sup>. O ponto de trabalho utilizado tem sido aquele correspondente a 55 l/h.

Uma das cabeças da bomba dosa o sulfato de alumínio e as outras duas, a cal.

De um modo geral, as casas de química constam de mais de um pavimento, permitindo assim a dosagem das substâncias químicas por gravidade. No caso da casa de química térrea, a aplicação das substâncias é feita por bombas dosadoras.

Os problemas de obstrução que sempre ocorrem nas tubulações e nos equipamentos foram minimizados pela utilização de soluções com baixas concentrações (sulfato 2 a 4% e cal 1 a 2%).

Apesar das frequentes críticas a esse tipo de equipamento, acredita-se que somente a continuidade da utilização permitirá o seu domínio e a criação de exigências tais, que levarão os fabricantes ao seu aperfeiçoamento.

#### 4. UNIDADE DE PROCESSAMENTO

Os princípios básicos que regem o tratamento de água em ciclo completo são os mesmos tanto nesta unidade de processamento como numa ETA convencional. No entanto, os processos utilizados diferem um pouco, fazendo com que, em algumas etapas, os tradicionais fossem substituídos por outros que ofereciam um rendimento igual ou melhor, a baixo custo.

O projeto foi elaborado visando simplificar ao máximo os problemas de construção civil, instalação e operação da ETA, assim como reduzir ao mínimo o uso de tubulações.

##### 4.1. MEDIÇÃO DE VAZÃO

O tradicional medidor Parshall ou o vertedor triangular foi substituído

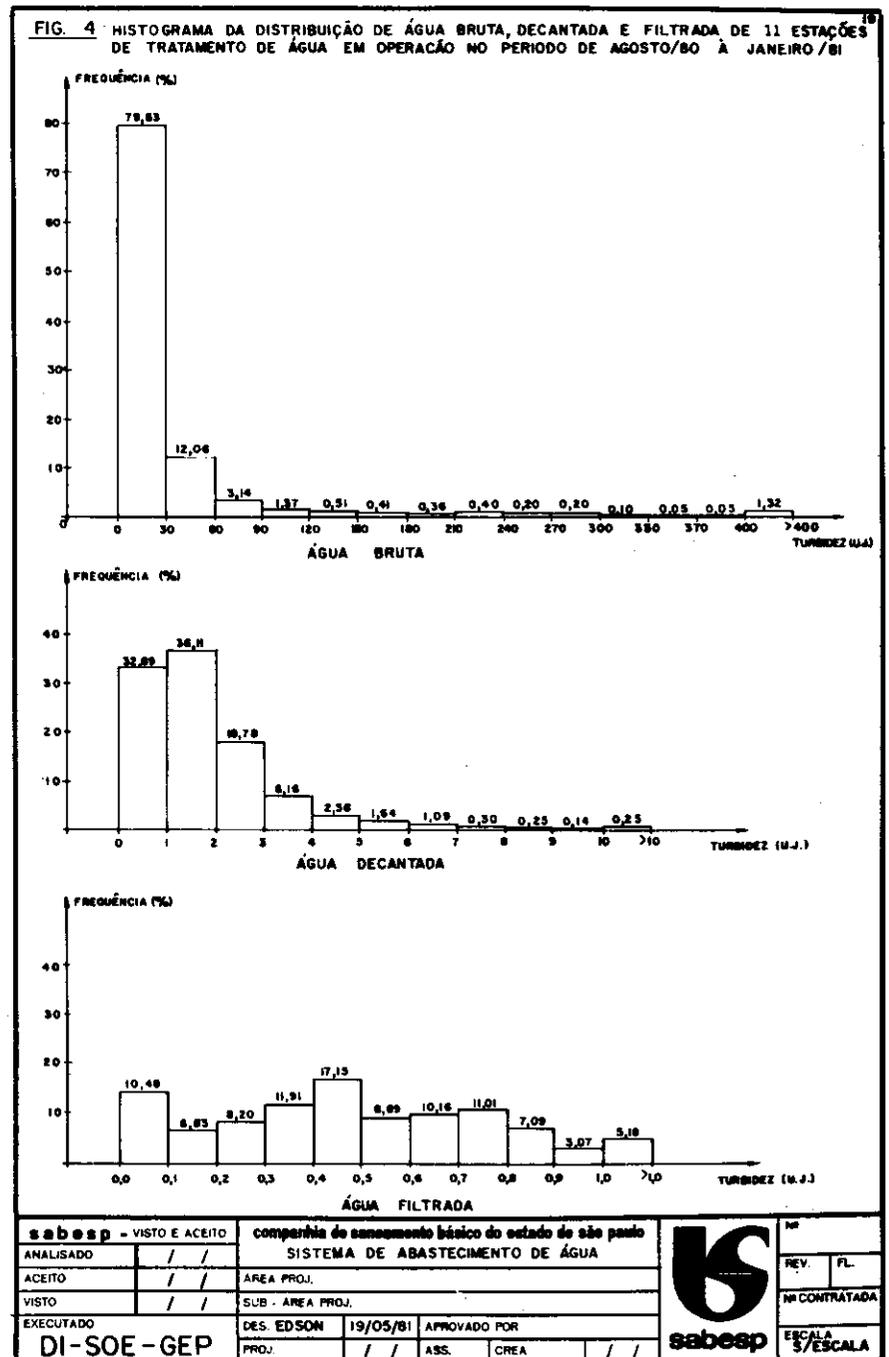
por uma placa de orifício, localizada no trecho ascendente da tubulação de água bruta, na chegada da ETA.

A placa foi calculada em função da vazão nominal da ETA e provoca uma perda de carga da ordem de 0,30 m e uma perda de pressão de 0,50 m, para essa vazão.

Foi instalado um piezômetro, constituído por dois tubos plásticos ligados anterior e posteriormente à placa.

A cada diferença de pressão corresponde uma vazão que chega a ETA, a qual pode ser lida numa tabela que é formulada por ocasião do início da operação.

A utilização das placas de orifício permite redução de custo e espaço e uma maior precisão para as pequenas vazões.



## 4.2. APLICAÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS

Num ponto conveniente da adutora de água bruta e antes da aplicação de cal, é feita a pré-cloração.

Ainda no trecho horizontal da chegada da água bruta, mas bem próximo ao tubo vertical, é feita a aplicação de cal.

O sulfato de alumínio é injetado logo após a placa de orifícios, através de quatro pontos diametralmente opostos.

Depois do processamento da água, já na câmara de controle de nível, há aplicação de pós-cloração, através de uma tubulação perfurada, colocada transversalmente à caixa, logo após o vertedouro.

Na tubulação que sai da caixa de nível é feita a correção do pH.

## 4.3. FLOCULAÇÃO

A câmara de floculação é constituída por chicanas de madeira, com fluxo vertical e foi dimensionada para um único gradiente de velocidade ( $22 \text{ s}^{-1}$ ).

Esse gradiente de velocidade pode, no entanto, sofrer variações através de pequenos anteparos de madeira instalados em cada compartimento das chicanas. Tais anteparos podem ocupar desde a posição paralela até perpendicularmente ao fluxo.

A modificação da inclinação do dispositivo basculante é obtida por meio de fios de "nylon" agrupados em três subconjuntos. Cada subconjunto é ligado a um eixo que pode girar com o auxílio de um sarilho.

O tempo médio adotado para cálculo da câmara de floculação foi de 28 minutos e baseou-se na amostragem feita em águas de diversas regiões do Estado.

## 4.4. CANAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA FLOCULADA

Há apenas uma entrada de água floculada para o canal de distribuição, que é construído ou em madeira (ETA 12 l/s) ou em concreto (ETAs de 16, 20 e 25 l/s).

Para o seu dimensionamento foi admitida uma velocidade constante de 0,20 m/s.

## 4.5. DECANTADORES

Cada unidade de processamento possui duas unidades de decantação de alta taxa, onde são utilizados módulos de placas paralelas, de 1,00 m de comprimento, espaçadas de 0,5 m e inclinadas de  $60^\circ$ .

Os módulos são confeccionados pela própria Companhia, constando de armações de madeira envolvidas com lona plástica preta.

Um anteparo de madeira vai desde

o fundo de canal até a uma altura de 0,20 m acima do poço de lodo do decantador, provocando assim um fluxo ascendente que passa através das placas de decantação.

A taxa utilizada foi de  $180 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$  para a vazão nominal da ETA. Esse valor, aparentemente alto, tem dado resultados bastantes satisfatórios, conforme pode ser observado no Quadro 3.

Vale ressaltar ainda que o uso de um decantador comum, sem placas, levaria a uma área seis vezes maior que a projetada.

## 4.6. FILTROS

As águas provenientes dos dois decantadores são reunidas numa calha de distribuição de onde passam, através de vertedores triangulares, para os quatro filtros.

Não obstante as ETAs terem sido dimensionadas para pequenas comunidades, foram utilizados filtros de dupla camada que funcionam a uma taxa da ordem de  $260 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ . Dessa forma, a área filtrante ficou reduzida praticamente à metade da de um filtro de camada simples.

A existência de vertedor na entrada de cada filtro permite que eles trabalhem a taxa constante. Contudo, pela parte externa dos filtros, foi colocada uma tubulação, isolada por registros, que interliga os níveis de água, dando condições de funcionamento também a taxa declinante.

Quanto à lavagem, foi previsto que um dos filtros fosse lavado com o funcionamento dos outros três. Para isso são fechadas a interligação do filtro escolhido com os demais e a entrada de água decantada. Em seguida é aberta a válvula de descarga de água de lavagem, que está a um nível tal, em relação ao vertedor da caixa de controle de nível, que provoca um caminho preferencial para a água tratada nos demais filtros, fazendo-a passar através das camadas do filtro em lavagem.

Os filtros podem funcionar até que o nível de água atinja o vértice do vertedor triangular. Isso dá uma disponibilidade de carga para funcionamento de 1,45 m.

## 5. CAIXA DE CONTROLE DE NÍVEL

Toda a água filtrada vai ter à caixa de controle de nível através de uma tubulação que liga o canal de água filtrada ao fundo da caixa. Dividindo a caixa ao meio há um vertedouro e logo em seguida uma chicana.

A principal função dessa unidade é garantir a auto-lavagem dos filtros. O vertedouro é regulado na fase de pré-operação de tal forma que forneça uma carga hidráulica maior que

a resistência oferecida pela lavagem do leito filtrante.

As duas outras funções da caixa de controle de nível é evitar a pressão negativa na camada filtrante e permitir a aplicação da pós-cloração com um tempo de contato mínimo provocado pela chicana existente.

## 6. ASPECTOS OPERACIONAIS

A mais antiga ETA padrão em funcionamento data de novembro de 1978 e trata 20 l/s. Atualmente (maio/81) há 17 unidades em operação e 18 projetadas.

Para verificação do desempenho das unidades em operação, foram consideradas apenas aquelas que ofereciam um arquivo de dados representativo, isto é, análises diárias dentro de um mesmo período do ano.

Coincidentemente o período comum foi agosto/80 a janeiro/81, que representa, no Estado de São Paulo, o fim da estação seca (ago, set, out) e início da estação chuvosa (nov, dez, jan).

Nesse período, a água bruta atingiu valores de turbidez de 7,5 a 2012 UJ e de cor, de 100 a 1.000 UC (quadro nº 3). O histograma da figura nº 4 mostra, no entanto, que a turbidez da água bruta esteve na sua maior parte (92,43%), relativamente baixa ( $\geq 60$  UJ).

A água decantada já apresentou turbidez abaixo do valor máximo permitido para consumo (5 UJ) em 96,32% das observações. Com tais valores de turbidez na água decantada, a água filtrada teve então 54,57% das observações abaixo de 0,5 UJ e 94,82% abaixo de 1,0 UJ.

A ocorrência de 5,18% acima de 1,0 UJ decorre do fato de algumas ETAs terem ainda falhas de operação, conforme foi constatado pela comparação de diagramas de dosagem de coagulantes com a turbidez de água bruta.

O tempo médio de filtração é relativamente baixo (22 h) em virtude de a maioria dos operadores efetuarem a lavagem quase diária dos filtros, não deixando atingir o nível máximo de água, que corresponde a uma perda de carga máxima de 1,45m. Aquele tempo deveria ser da ordem de 45 horas.

Não obstante o bom desempenho da ETA, mostrado acima, vale ressaltar alguns problemas que parecem ser de ordem operacional:

a) Tem havido freqüentes obstruções da bomba dosadora, em virtude das impurezas contidas na cal. Foi sugerido então ao operador a lavagem diária do equipamento por simples bombeamento de água limpa.

b) A subida de flocos nos decantadores, por ocasião do aumento da temperatura ambiente, tem sido resolvido

QUADRO 03: DESEMPENHO DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM TERMOS DE TURBIDEZ E COR

COMUNIDADE	CAPACIDADE DA ETA (l/s)	Turbidez (U.U.)										TEMPO MÉDIO FUNCIONAMENTO (h/d)	TEMPO MÉDIO FILTRAÇÃO (h)	
		BRUTA			DECANTADA			FILTRADA						
		MÁXIMA *	MÍNIMA **	MÉDIA ***	MÁXIMA *	MÍNIMA **	MÉDIA ***	MÁXIMA *	MÍNIMA **	MÉDIA ***	MÁXIMA *			MÍNIMA **
PEDRO DE TOLEDO	12	48,00	2,90	12,10	2,40	0,78	1,00	1,00	1,00	1,00	0,35	0,65	16,00	32,00
SETE BARRAS	12	>1000	40	273	15	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	26,00	32,00
COHOMEL MACEDO	12	390,00	7,00	41,20	5,20	0,42	1,10	1,10	1,10	0,58	0,10	0,22	13,00	32,00
RIBEIRÃO BRANCO	12	>1000	26	126	7	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	13,00	32,00
GABRIOLA	12	217,00	4,40	74,10	3,32	0,73	1,57	1,57	1,57	1,50	0,20	0,44	7,37	7,17
RIVERSUL	20	51,70	5,60	10,52	2,00	1,40	1,70	1,70	1,70	1,60	0,60	0,80	10,25	45,00
BURI	25	115,00	3,60	14,51	10,00	1,00	3,48	3,48	3,48	3,00	0,10	0,73	8,32	20,42
ITABERA	25	160	32	64	60	<5	19	19	19	10	<5	<5	10,25	45,00
PARIQUERA-ACU	25	2012,00	19,30	319,10	11,00	1,04	4,16	4,16	4,16	4,63	0,03	0,97	9,42	9,23
HAZARÉ PAULISTA	12	>1000	51	383	27	<5	11	11	11	12	<5	<5	13,30	13,27
MONTE MOR	25	180,00	3,40	10,64	4,12	1,30	2,22	2,22	2,22	1,75	0,47	0,77	13,30	13,27
		>1000	30	78	17	5	9	9	9	<5	<5	<5	13,30	13,27
		943,00	14,00	47,66	5,00	1,25	2,40	2,40	2,40	0,88	0,35	0,45	13,20	12,98
		>1000	61	195	15	5	9	9	9	<5	<5	<5	13,20	12,98
		83,00	4,70	18,37	3,36	0,52	1,26	1,26	1,26	1,50	0,10	0,48	14,60	34,50
		587	25	86	52	<5	8	8	8	9	<5	<5	14,60	34,50
		7,50	4,80	5,50	4,00	0,40	0,63	0,63	0,63	0,8	0,20	0,42	10,00	32,00
		100	5	17	10	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	10,00	32,00
		77,00	0,70	6,00	2,80	0,05	0,52	0,52	0,52	0,60	0,05	0,32	17,36	17,00
		>1000	23	87	30	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	17,36	17,00

obs. - DADOS REFERENTES AO PERÍODO DE AGOSTO/80 A JANEIRO/81

(\*) MÁXIMA MÉDIA DIÁRIA - (\*\*) MÍNIMA MÉDIA DIÁRIA - (\*\*\*) MÉDIA DO PERÍODO

ETA l/s	MATERIAIS HIDRÁULICOS		EQUIPAMENTOS		CONSTRUÇÃO CIVIL		TOTAL			UPC l/s
	Cr\$	%	Cr\$	%	Cr\$	%	Cr\$	%	UPC	
12	520.000	9,11	1.400.000	24,52	3.790.000	66,37	5.710.000	100	7.732	664,32
16	590.000	9,26	1.400.000	21,98	4.380.000	68,76	6.370.000	100	8.626	539,13
20	650.000	9,53	1.400.000	20,53	4.770.000	69,94	6.820.000	100	9.235	461,75
25	690.000	9,66	1.400.000	19,61	5.050.000	70,73	7.140.000	100	9.668	386,72

por pequenas descargas diárias do lodo do fundo do decantador.

### 7. CUSTOS

Dentro da sistemática de trabalho adotada pela SABESP, o custo total de uma ETA pode ser separado em três itens distintos: materiais hidráulicos (tubulações, conexões e peças especiais), equipamentos (agitadores, bombas dosadoras e materiais de laboratório) e construção civil.

Os dois primeiros itens são adquiridos de forma centralizada, o que garante o mesmo custo, independentemente da localização da comunidade; já a construção civil varia conforme a região do Estado.

Disso resultou então o quadro nº 4 que dá os custos absolutos para aquisição de materiais hidráulicos e equipamentos, enquanto a construção civil é dada por custos médios.

Pode-se observar ainda que, para uma ETA de 12 l/s, o custo por unidade de vazão é de 644,32 UPC, enquanto que, numa de 25 l/s, esse custo vai para 386,72 UPC (ver quadro nº 4).

Ainda no quadro nº 4 vê-se que o item materiais hidráulicos representa menos de 10% do custo total de implantação de uma ETA.

Numa verificação dos custos dos sistemas de 27 comunidades, a implantação da ETA padronizada representou 26,74% do investimento global.

Com relação ao custo per capita de implantação, a fig. 5 mostra uma variação que vai de 1,38 UPC (ETA 12 l/s) a 0,81 UPC (ETA 25 l/s). Pela forma descendente da curva, vê-se que o ponto de mínimo ainda não foi atingido. É válido portanto projetar ETAs maiores, dentro dos mesmos critérios, até identificar o tamanho que corresponda a esse custo per capita mínimo de implantação.

### CONCLUSÕES

1. Na ETA padronizada pela SABESP para pequenas comunidades foram adotadas técnicas simples mas de alto rendimento, tais como, a medição de vazão através de placa de orifícios e a utilização de câmaras de chicanas.

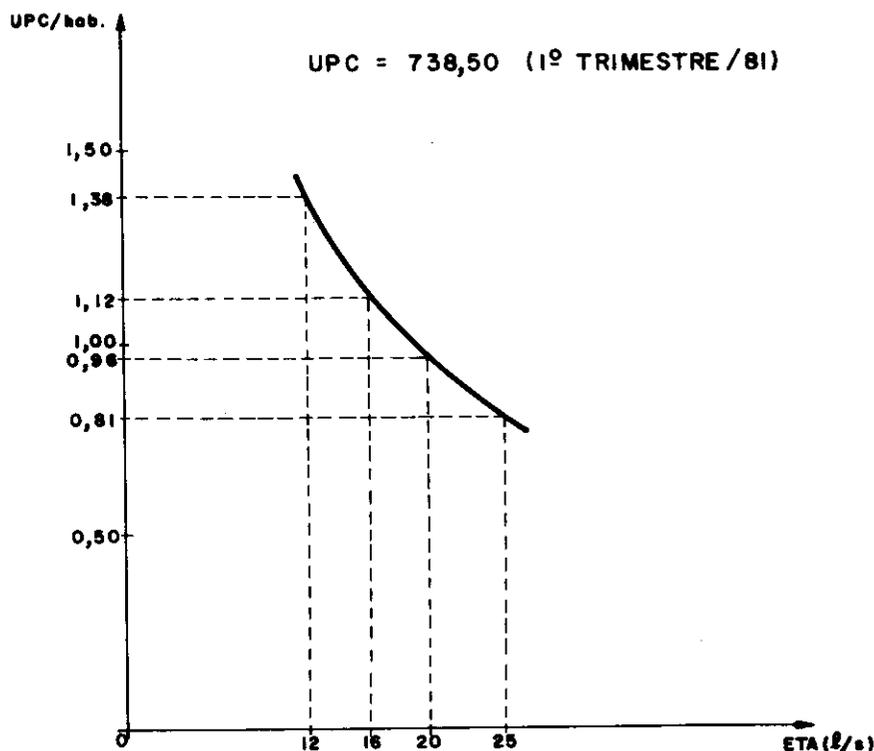


FIGURA 5 - Custo per capita de implantação da estação de tratamento de água.

2. Simultaneamente foram aplicadas técnicas modernas de tratamento, como é o caso dos decantadores de placas paralelas e do filtro de dupla camada com taxa declinante e auto-laváveis.
3. A qualidade da água tratada mostrou um alto rendimento (94,82% das amostras com até 1,0 UJT) a baixo custo de implantação - máximo de 1,38 UPC/hab).



FIGURA 6 - Vista geral da ETA de Sete Barras.