

Avaliação da eficiência da estação pré-condicionadora do sistema de disposição oceânica dos esgotos de Santos/São Vicente(*)

Edmundo Garcia Agudo (1)

Renato Amaral (2)

Gilberto Barzin (3)

1 Introdução

A disposição oceânica de esgotos, por meio de emissários submarinos, é uma alternativa interessante em cidades litorâneas de médio e grande porte.

Uma das características desse sistema de disposição de esgotos, que contribui para torná-lo muito atraente, é a alta taxa de diluição que pode ser alcançada na descarga no mar e que permite taxas de redução na concentração de poluentes equivalentes e até superiores a qualquer tratamento convencional.

Nem todos os componentes do esgoto, entretanto, conseguem atingir essas elevadas taxas de diluição. Existem alguns para os quais não se aplicam as leis da difusão turbulenta e que tendem a se agrupar na superfície, sendo seu deslocamento altamente influenciado pela ação dos ventos. Estes materiais são basicamente os denominados flutuantes.

Os materiais flutuantes podem ser classificados em três tipos diferentes. O primeiro tipo é formado por detritos sólidos, com densidade aparente menor que a água do mar. Alguns deles são verdadeiros flutuantes, como plásticos, madeira, cortiça etc. Outros, entretanto, podem mudar sua flutuabilidade em função de seu estado de agregação. Quando desagregados esses materiais tendem a afundar.

O segundo tipo de flutuantes é constituído pelos óleos e graxas, com densidade inferior à da água e não miscíveis com ela. Eles tendem a flutuar, a menos que estejam aderidos a partículas decantáveis. Esses materiais tendem a se agregar na superfície do mar, formando manchas.

O terceiro tipo é constituído por materiais floculantes, com densidade praticamente igual à da água doce e que se tornam flutuantes quando liberados em água do mar.

(*) Trabalho apresentado no Seminário de Disposição Oceânica de Efluentes — Abes — Iawprc — Rio de Janeiro — Ago/86.

(1) Superintendente de Qualidade Ambiental — Cetesb

(2) Ex-gerente de Qualidade das Águas — Cetesb

(3) Eng. Chefe da Divisão de Controle Sanitário da Baixada Santista — Sabesp

Os materiais flutuantes podem ser levados pelos ventos em direção à costa, onde acabam se acumulando, conferindo aspecto desagradável às praias e outras áreas de recreação que se deseja preservar. Por esse motivo, todo projeto de emissário submarino de esgoto deveria possuir um sistema que removesse esse tipo de materiais. Isso pode ser conseguido por meio de uma estação de tratamento primário do esgoto, ou por outros dispositivos mais simples.

Vêm sendo utilizadas com sucesso para essa finalidade instalações com milipeneiras rotativas que separam as flutáveis e materiais grosseiros presentes no esgoto, antes de seu lançamento no mar. Existem poucas informações disponíveis sobre a sua eficiência de separação e seus problemas operacionais. (1, 2, 3, 4).

O sistema de disposição oceânica de esgotos dos municípios de Santos e São Vicente, no Estado de São Paulo, Brasil, em operação desde 1978, é constituído por um emissário submarino com 3.800 m de comprimento, acrescido de 200 m de difusores. Descarrega a uma profundidade de 10 m, dentro da baía de Santos. Esse sistema possui uma Estação Pré-Condicionadora de Esgotos, com peneiras rotativas de 1,5 mm de abertura, uma cai-

xa de areia e um sistema de oxigenação e cloração.

Não foi possível obter informações na bibliografia sobre a eficiência real desse tipo de peneiras. O próprio fabricante forneceu apenas estimativas grosseiras para a remoção de sólidos em suspensão e de DBO insolúvel. Assim sendo, em virtude da falta de informações mais específicas, foi desenvolvido um estudo para obter experimentalmente os parâmetros desejados, para as peneiras com 1,5 mm de abertura.

2 Descrição do sistema

Os esgotos gerados nas cidades de Santos e São Vicente são fundamentalmente de origem doméstica, com contribuição mínima de indústrias. Estas cidades apresentam características pouco favoráveis para a implantação de redes de esgoto, por serem planas e com lençol freático muito próximo à superfície do solo. Foi necessário implantar 11 estações elevatórias de esgoto em Santos e duas em São Vicente para compensar a falta de declividade (Figura 1). Atualmente o sistema recebe o esgoto de 400 mil habitantes, com vazão média de 1.400 l/s, aproximadamente. A vazão de pro-

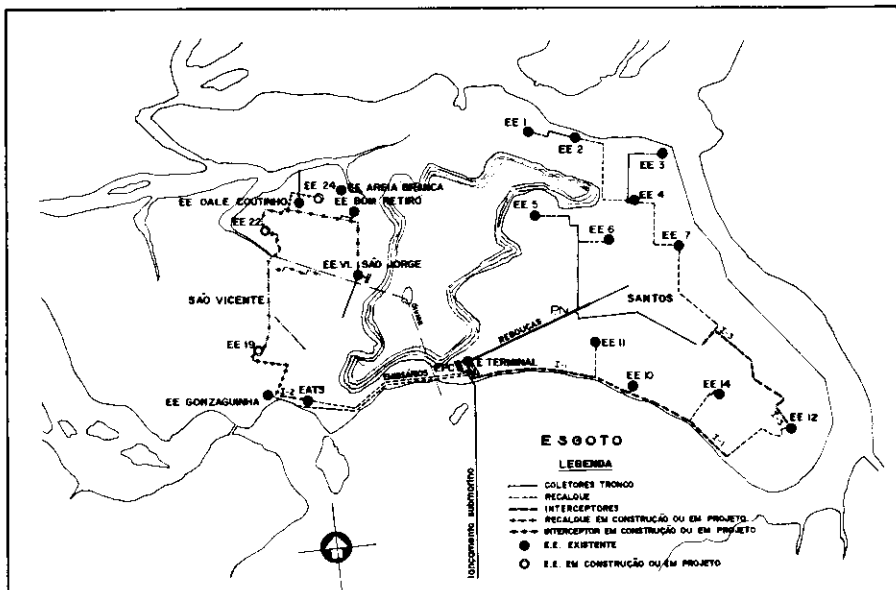


Figura 1

jeto, para o ano 2000 é de 7.000 l/s. A máxima capacidade da EPC atual é de 3.500 l/s.

O emissário submarino tem um comprimento total de 4.000 m, com tubo de aço de 1,75 m de diâmetro interno. Descarrega a 10 m de profundidade, através de 40 tubos difusores, de 30 cm de diâmetro, em posição vertical, espaçados 5 m entre si. Atualmente, encontram-se em operação 20 bocais. Os outros serão abertos à medida que a vazão de esgoto venha a aumentar. O sistema está em operação desde julho de 1978.

Em virtude de não existirem áreas disponíveis para a construção de estações de tratamento de esgoto convencionais, após estudar diversas al-

ternativas, decidiu-se construir uma Estação de Pré-Condicionamento de Esgoto, operando com milipeneiras rotativas que retêm sólidos com diâmetro superior a 1,5 mm. O custo dessas peneiras resultou 1/6 do necessário para implantar um tratamento primário completo.

A Estação de Pré-Condicionamento (figura 2) é formada por:

- Uma Elevatória Principal, com vazão máxima de 7 m³/s, com sistema separado de gradeamento grosseiro, de espaçamento 10 cm e grades eletromecânicas, com 4 cm de espaçamento;
- Uma Elevatória Terminal (já existente no local antes da construção da Estação), com vazão máxima de 1.600 l/s;

- Uma Unidade de Aplicação de Produtos Químicos (Cloração e Oxigênio);
- Uma Unidade com dez peneiras rotativas em duas linhas com cinco peneiras cada;
- Uma Unidade de Caixas de Areia (Air Lift);
- Uma Unidade de Transporte de Sólidos, com esteiras transportadoras, caçambas e veículos apropriados.

A Unidade de Peneiras Rotativas é constituída por: uma Caixa de Chegada, que recebe os recalques das elevatórias e possui um dispositivo que evita o retorno dos esgotos para as elevatórias, em caso de parada; o canal das peneiras, que distribui o esgoto para as peneiras, através de duas comportas para cada peneira (este Canal possui um sistema de aeração para evitar a deposição de sólidos no Canal); e as peneiras rotativas.

As peneiras rotativas têm capacidade para processar 350 l/s de esgoto cada uma. São construídas em aço inoxidável 304, com abertura de 1,5 mm. Seu diâmetro é de 914,4 mm e o comprimento de 2.984,5 mm.

A Unidade de Caixas de Areia visa à remoção de material arenoso, com dimensões entre 0,2 e 1,5 mm. Utiliza sopradores injetando ar difuso ao longo de um de seus lados. Tem seção retangular com soleira arredondada, fazendo com que a água torne movimento helicoidal. Foi dimensionada para manter 0,3 m/s de velocidade periférica, a fim de evitar a deposição de matéria orgânica. Um sistema de Air-Lift succiona a areia depositada no fundo. A quantidade de areia retida é de 67 l/dia, em média.

O objetivo da aplicação de produtos químicos (oxigênio no poço de sucção das bombas e cloro na entradas das peneiras) é o de eliminar odores e particularmente H₂S. O tempo de concentração do esgoto em toda a rede da cidade é bastante elevado, em virtude da baixa declividade das tubulações. Isso faz com que o esgoto, que chega à Estação de Pré-Condicionamento, já seja um esgoto de certa idade, com teores elevados de gás sulfídrico. A dosagem de cloro é de 15 ppm.

A área total da Estação é de 9.800 m², com 1.100 m² construídos, dos quais a unidade das peneiras ocupa 158 m².

O material sólido retido pelas grades e pelas peneiras é despejado em caçambas especiais, de volume conhecido e transportado diariamente para um aterro sanitário.

Os custos operacionais mensais da Estação são os seguintes:

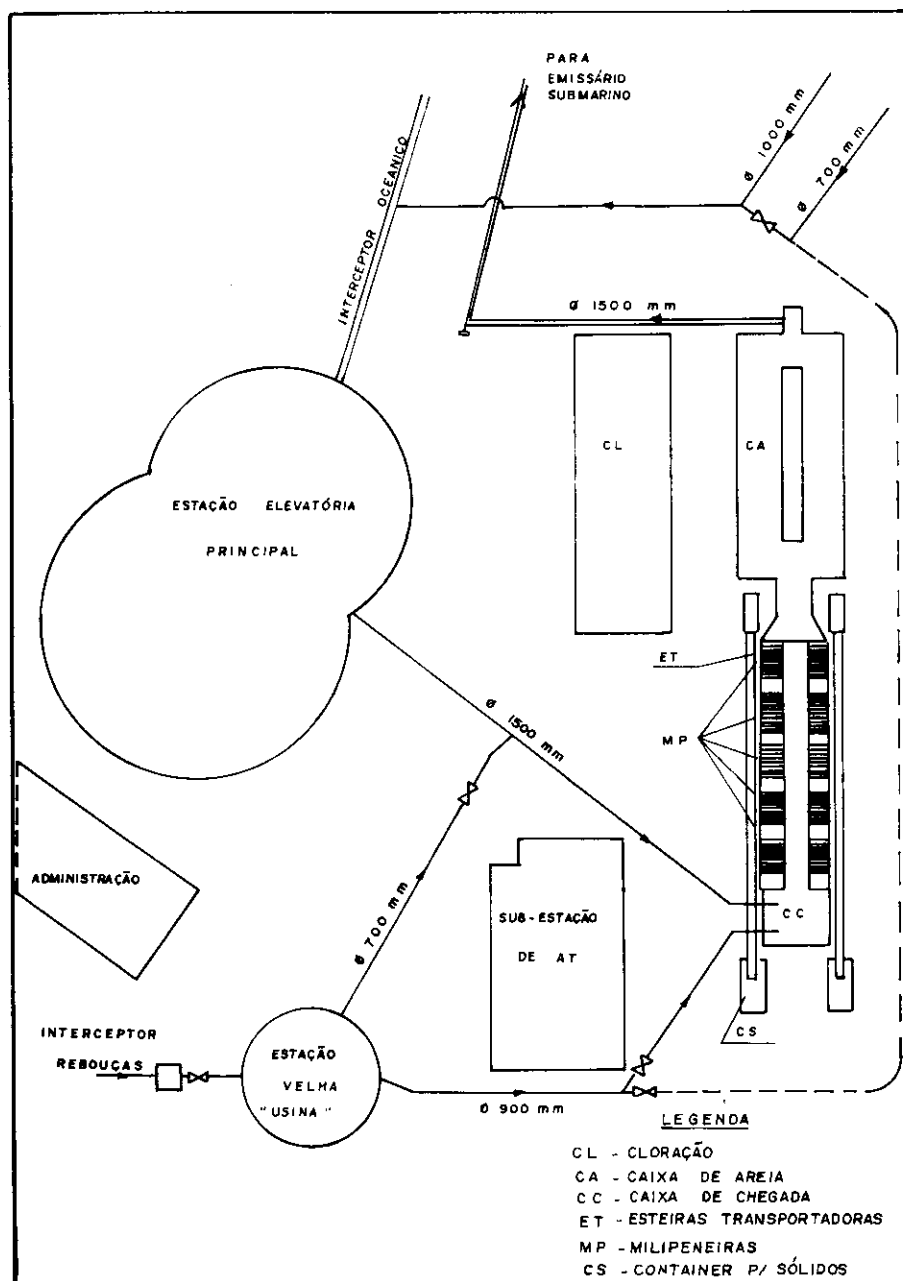


Figura 2 — Esquema da estação de pré-condicionamento de Santos x S.V.

	Estação completa	Peneiras e caixas de areia
● Eletricidade (420 kW/h) (basicamente elevatórias. O consumo das peneiras é mínimo)	US\$ 10.000	—
● Mão-de-Obra	US\$ 18.000	US\$ 8.500
● Cloro (40 t/mês, aprox.)	US\$ 7.000	US\$ 7.000
● Oxigênio (55.000 m ³ /mês)	US\$ 10.000	—
Total	US\$ 45.000	US\$ 15.500

Uma representação esquemática da estação de pré-condicionamento é mostrada nas figuras 3 e 4.

O funcionamento das peneiras rotativas é mostrado na figura 5.

permitted obter os parâmetros que constam na tabela 1 (5).

Alguns testes preliminares realizados no sistema mostraram que as características do esgoto afluente à Es-

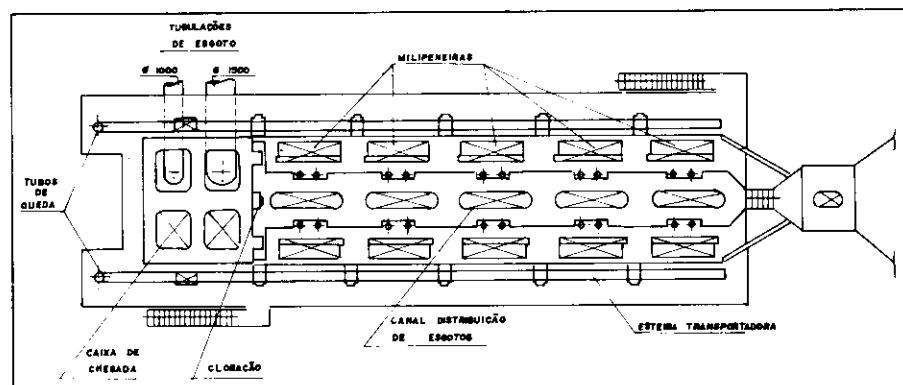


Figura 3 — Planta da unidade de peneiras rotativas da EPC de Santos

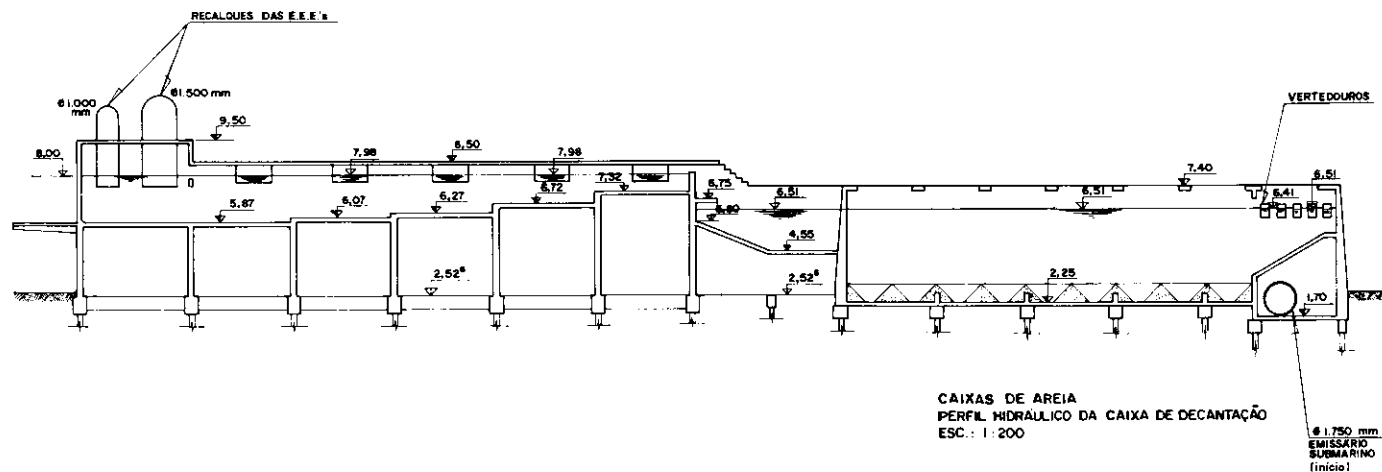


Figura 4 — Peneiras rotativas. Perfil hidráulico do canal central

3 Ensaios de eficiência

O esgoto dos municípios de Santos e São Vicente foi exaustivamente analisado por ocasião do projeto e construção da Estação de Pré-Condicionamento. Foram realizadas mais de 60 análises de amostras cobrindo diferentes horas do dia e da noite.

Os resultados, colocados em gráficos de frequência relativa acumulada,

tação mudam sensivelmente ao longo do tempo.

Uma tentativa de medição da eficiência do sistema, realizada por meio de amostragens discretas e esporádicas na entrada e na saída do sistema, apresentou resultados aleatórios, não sendo raros os casos em que a concentração na saída do sistema era superior à da entrada.

Por esse motivo, decidiu-se realizar amostragens cobrindo períodos de 24

horas e comparar os valores das médias ponderadas, em função da vazão. Os parâmetros analisados foram DBO, DQO, Óleos e Graxas, Sólidos em Suspensão, Sólidos Sedimentáveis e Material Flutuante.

Foram realizadas duas campanhas de medição de 24 horas cada uma, coletando amostras de esgoto antes e após as peneiras, por meio de amostradores automáticos Manning, modelo S-4040, que coletaram amostras de esgoto a cada 7,5 minutos. As oito amostras coletadas em cada hora foram reunidas em uma só, gerando, assim, 24 amostras em cada ponto de amostragem, para cada campanha.

A metodologia utilizada nas análises é a do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater — 15.a Edição. Os materiais flutuantes foram determinados com outra metodologia. O método sugerido no Standard Methods exige dispositivos especiais não disponíveis por ocasião da realização dos testes.

Uma modificação do método, proposta em 1972 (6) que, embora baseada no mesmo processo, utiliza materiais e dispositivos mais acessíveis, também foi descartada, basicamente porque o volume de esgoto utilizado em cada análise é pequeno, da ordem de 2 litros, e como as concentrações de flutuantes no esgoto são em geral inferiores a 10 mg/l, e as amostras não são homogêneas, a representatividade do resultado não seria apropriada para os objetivos do estudo.

A metodologia adotada consiste em retirar, a cada 30 minutos, alíquotas de esgoto, antes e após as peneiras, com volume proporcional à vazão instantânea. Estas alíquotas foram acumuladas em caixas de 1.000 l de capacidade, cobrindo um período de 24 horas. Dessa maneira, obtiveram-se duas amostras de esgoto de 24 horas, com volume de 900 l, aproximadamente, sendo uma antes e outra após as peneiras. Os flutuantes foram retirados para sua

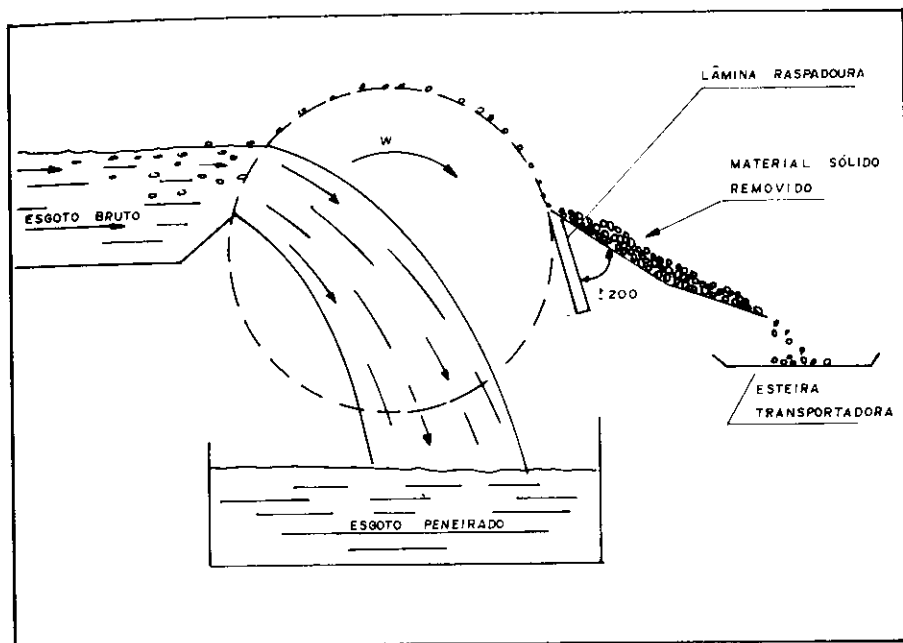


Figura 5 — Remoção de sólidos ($\phi > 1,5$ mm) pelas milipeneiras

quantificação, após deixar uma hora em repouso. No primeiro ensaio, devido a problemas operacionais, não puderam ser aproveitados os resultados de flotantes após as peneiras.

Uma observação cuidadosa da natureza dos flotantes existentes nas calças de acumulação mostrou que no esgoto colhido, antes de passar pelas milipeneiras, existe um teor considerável de gorduras na superfície, na forma de espuma ou nata. Pelo contrário, o material obtido após as peneiras mostrou uma superfície livre de gorduras. Os sólidos presentes em ambos os casos eram basicamente resíduos vegetais, plásticos e material floco-ento, em tamanhos e quantidades variáveis.

Os materiais flotantes retirados antes e após as peneiras, uma vez quantificados, foram extraídos com Freon, para determinar o teor de gordura presente em cada amostra. Os resultados mostraram que 36,8% dos flotantes existentes antes das peneiras eram constituídos por gorduras. Na amostra obtida após as peneiras essa porcentagem caiu para 25,7%.

Os valores de material fluante obtidos são em geral baixos quando comparados com os da literatura. Uma explicação para essa característica particular é que a passagem do esgoto pelas bombas que alimentam a EPC disgrega parte dos sólidos flotantes típicos de esgoto, especialmente a matéria fecal e outros conglomerados. Amostras retiradas no coletor-tronco, antes da estação de bombeamento, mostraram quantidade maior de flotantes que as amostras obtidas na entrada das milipeneiras. Estes flotantes que desaparecem correspondem

à categoria de sólidos frágeis, esponjosos, que podem conter pequenas quantidades de ar em seu interior e que, quando disgregados, afundam.

A partir dos resultados analíticos das amostras horárias do esgoto, e com os dados de vazão, foi calculada a composição média do esgoto, ponderada em função da vazão média para cada hora.

Os resultados de composição média do esgoto para as duas campanhas realizadas encontram-se na tabela 2.

Os dados de DBO e DQO mostram, quando comparados com os da tabela 1, que o esgoto, nas duas campanhas de medição, era mais diluído que a média. O motivo dessa diferença é que a rede de esgotos das cidades de Santos/São Vicente sofre influência de chuvas, por existirem ligações clandestinas na rede e, também, por possível infiltração direta na rede, visto que o lençol freático é muito superficial na região. Nas duas ocasiões em que foram feitas medições, houve interferência de chuva, o que causou uma dilui-

Tabela 1 — Características do esgoto de Santos

PARÂMETRO	MÉDIA (*)	MÉDIA (**) 20-80%	MEDIANA
DQO (mg/l)	523	505	450
DBO (mg/l)	355	325	370
Sólidos em Suspensão (mg/l)	263	203	200
Material Flutuante (mg/l)	35	19	6
Sólidos Sedimentáveis (ml/l)	2,8	2,8	2,9
Óleos e Graxas (mg/l)	482	210	108

* - Média aritmética de todos os valores

** - Média aritmética dos valores com frequência acumulada entre 20 e 80%.

Tabela 2 — Composição média do esgoto nas duas campanhas de medição

PARÂMETRO	1ª CAMPANHA	2ª CAMPANHA
DBO (mg/l)	222	256
DQO (mg/l)	447	377
Óleos e Graxas (mg/l)	114	72
Sólidos em Suspensão (mg/l)	246	209
Sólidos Sedimentáveis (ml/l)	3,9	4,0
Flotantes	0,9	1,3

ção do esgoto em certas horas do dia.

Na tabela 3 constam os fatores de redução obtidos neste trabalho, com peneiras de abertura 1,5 mm, para diversos parâmetros, comparados com outros valores da bibliografia.

Os resultados de sólidos em suspensão obtidos nas amostras coletadas após as peneiras apresentam um erro sistemático a menos.

A profundidade no local de amostragem era superior a 2 metros e foi posteriormente verificado que existe um gradiente de concentração de material em suspensão, da superfície até o fundo, apesar da turbulência presente no local. Assim sendo, o valor de 10% de remoção é sobreestimado. O dado obtido por quantificação do material removido pelas peneiras (Item 4) é mais preciso.

4 Materiais removidos pelas peneiras

As milipeneiras rotativas removem os sólidos grosseiros de tamanho superior a 1,5 mm e os outros materiais que a eles ficam aderidos. Uma observação detalhada desses materiais mostra grande abundância de grãos de feijão, milho, fibras e sementes de laranja, plásticos diversos, restos de vegetais, filtros de cigarros, partículas gordurosas etc.

A quantidade média de material retirado, medido diariamente durante sete meses, resultou ser de 5,7 m³/dia. O teor de sólidos secos atinge 21%, em média. Isso corresponde a uma eliminação média de 7,8 mg/l do resíduo

não filtrável originalmente presente no esgoto bruto. Considerando uma concentração média de 239 mg/l no esgoto afluente à estação, pode-se concluir que as peneiras removem em média 3,3% dos sólidos em suspensão.

Este valor deve ser tomado como muito mais representativo que o obtido por comparação do conteúdo de sólidos em suspensão em amostras de esgoto coletadas antes e após passar pelas peneiras. Comprovou-se que a amostra obtida após as peneiras pode não ser representativa, visto que ela foi retirada próximo à superfície em local onde a profundidade era superior a 2 metros. Embora houvesse uma turbulência razoável, pode ter existido um gradiente de concentração de sólidos em suspensão da superfície para o fundo, fazendo com que os valores nas amostras retiradas fossem menores do que a média.

Testes de flutuabilidade dos resíduos sólidos retidos pelas peneiras mostraram que mais de 95% do material afunda em água. Isso significa que a maior parte desse material não afloraria à superfície do mar, se lançado através do emissário submarino.

Os materiais flutuantes retirados dos sólidos removidos pelas peneiras foram submetidos a testes de flotabilidade em função da pressão (7) dentro de um cilindro de acrílico com água de densidade igual à água do mar, aumentando gradativamente a pressão no cilindro por meio de uma bomba de mão. Com o aumento da pressão, parte dos sólidos flutuantes começou a afundar gradativamente.

O teste teve prosseguimento até alcançar uma pressão de 3,4 atmosferas, equivalente a uma profundidade de 34 m no mar. Aproximadamente a metade do material flutuante à pressão atmosférica tinha afundado ao alcançar esse nível de pressão. A maior parte dele afundou com pressões inferiores a 2,5 atmosferas. Entre 2,5 e 3,5 atmosferas não se observou aumento significativo na quantidade do material que afundou.

5 Considerações finais

Os estudos realizados na EPC de Santos permitem fazer as considerações seguintes:

1 — Grande parte dos sólidos flutuantes presentes no esgoto são diátricos e deixam de flutuar após passar pela estação de bombeamento.

2 — A maior parte do material removido pelas peneiras não é flutuante. Mais de 95% afundam na água.

3 — O esgoto das cidades de Santos e São Vicente apresenta baixos teores de flutuantes. A eficiência de remoção destas substâncias nas peneiras com abertura de 1,5 mm foi 70%, consideravelmente menor que a informada em outros trabalhos, para peneiras com abertura menor.

4 — O índice de remoção de óleos e graxas resultou ser de 26%.

5 — Para os outros parâmetros testados (DBO, DQO, Sólidos em Suspensão e Sólidos Sedimentáveis), os índices de remoção foram muito inferiores.

Tabela 3 — Fatores de redução, em porcentagem, obtidos para as peneiras rotativas

PARÂMETRO	REMOÇÃO EM %			
	Santos	Hutt Valley (2)		Israel (1)
	1,5 mm	1,0 mm	0,5 mm	0,75 mm
DBO	7	-	-	25
DQO	6	-	-	35
Óleos e Graxas	26	30,3	37,2	-
Sólidos em Suspensão	10 (a)	9,9	16,7	38
	3,2 (b)			
Sólidos Sedimentáveis	6	23,4	56,7	41
Flutuantes	70	93,2	98,4	-

(a) Obtido por diferença entre composição de esgoto antes e após passar pelas peneiras. Valor suspeito por problemas de representatividade da amostra.

(b) Obtido por quantificação do material removido pelas peneiras.

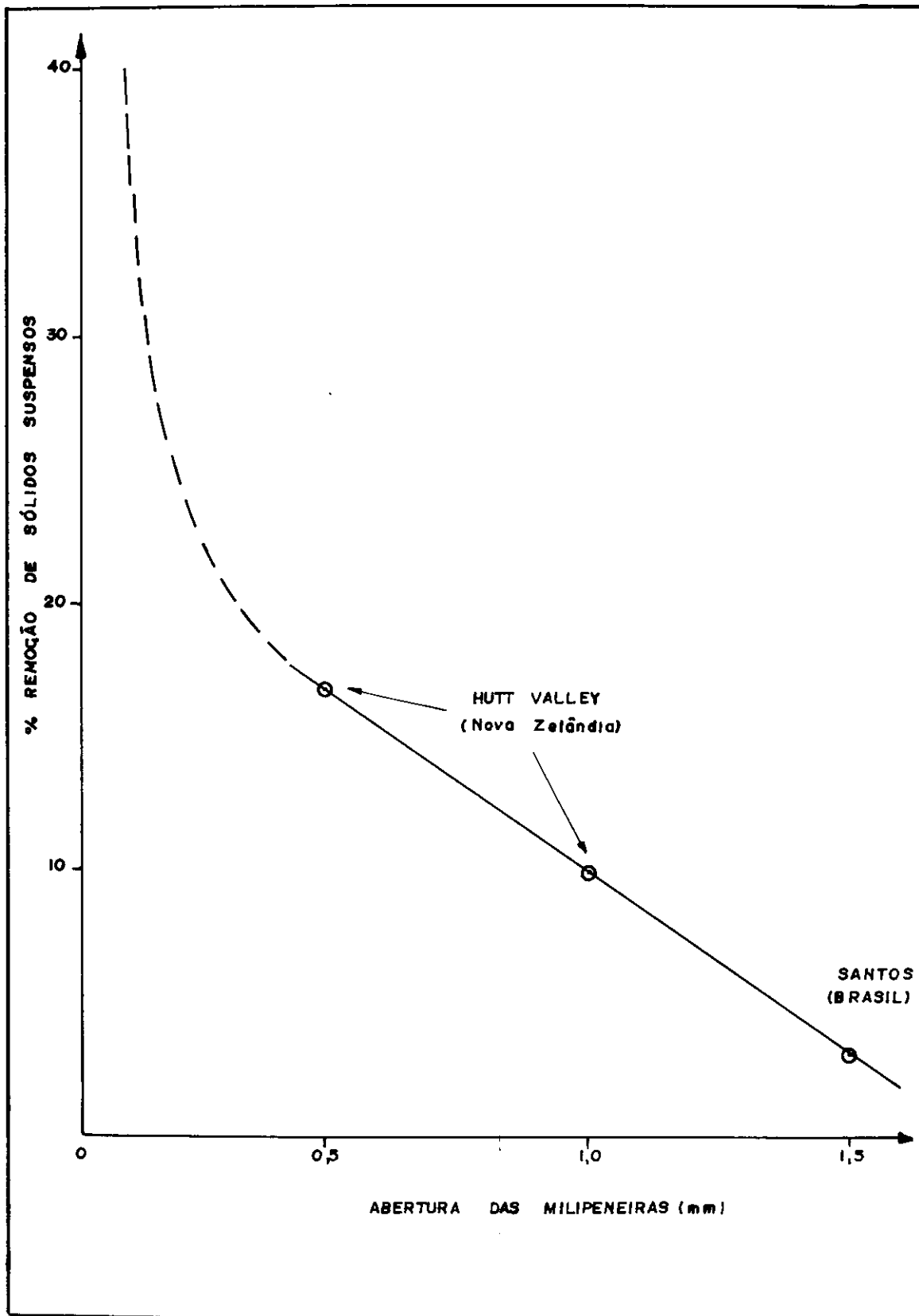


Figura 6 — Eficiência da remoção de sólidos suspensos em efluentes brutos para diferentes aberturas de milipeneiras

... aos informados por outros autores, para peneiras com abertura menor.

6 — A eficiência de remoção de sólidos em suspensão é de 3,2%. Junto com estes materiais é retirada uma fração considerável de graxas e gorduras flutuantes. Este resultado é condizente com os obtidos em Nova Ze-

lândia com peneiras de menor abertura, para esgoto com composição semelhante ao de Santos (figura 6).

7 — Diversas vistorias realizadas no mar, na região dos difusores, onde aflora o esgoto, lançado pelo emissário submarino, mostraram a ausência de sólidos flutuantes ou gordura na

superfície, o qual atesta que os objetivos da Estação de Pré-condicionamento de esgoto foram alcançados. Os materiais que se observam nas águas da baía de Santos (galhos, folhas, plásticos etc.) são provenientes das descargas de águas pluviais, através dos canais de drenagem da cidade e dos estuários de Santos e São Vicente.