

Tratamento dos despejos líquidos das indústrias cítricas

ENG. PAULO EDUARDO ALVES DE SOUZA (*)

1. INTRODUÇÃO

1.1. INFORMAÇÕES GERAIS

O Brasil alcançou, na safra relativa a 1979/80, uma produção de 195.600.000 (1) de caixas (2) de laranja, sendo que o Estado de São Paulo respondeu por 80% da produção nacional, com 150.700.000 (1) caixas. Uma parte dessa produção foi consumida "in natura" no mercado interno, e o restante foi exportado, nas formas de suco concentrado e fruta propriamente dita.

As indústrias de transformação operam em regime sazonal paralelamente ao período de colheita, e produziram, na safra de 1979/80, cerca de 314.868.687 (1) kg de suco concentrado de laranja, dos quais 90% foram exportados.

Os benefícios fiscais concedidos pela Receita Federal a essas indústrias para fins de exportação têm incentivado o contínuo aumento de produção, com conseqüente agravamento do problema de poluição por efluentes líquidos.

1.2. LOCALIZAÇÃO

Numa cidade do interior do Estado de São Paulo, denominada Bebedouro,

situa-se um dos mais importantes centros produtores de laranja e suco concentrado do Brasil.

Na safra de 1979/80, foram ali produzidos 25% da produção paulista de suco concentrado de laranja, em um total de 74.354.698 kg (1). Nessa cidade e região localizam-se as maiores indústrias de manufatura dos produtos de origem cítrica (predominantemente laranja), gerando efluentes líquidos bem peculiares e semelhantes entre si.

1.3. HISTÓRICO

A CARGILL Industrial é uma das unidades processadoras de frutas cítricas, tendo iniciado suas atividades no mercado em 1977, a partir da compra de uma pequena companhia do ramo, localizada na cidade de Bebedouro.

A antiga empresa processava, em média, 15.000 caixas de laranjas diariamente (612 t), e dispunha de um sistema para depuração de seus despejos, que não atendia completamente os requisitos da legislação estadual de controle de poluição.

Após a compra daquela unidade pelo grupo CARGILL, foram realiza-

das sucessivas ampliações na fábrica, que elevaram o processamento diário inicial de 15.000 para 150.000 caixas de laranjas, isto é, multiplicando-se em 10 vezes a capacidade anterior.

Esse aumento de produção acarretou uma alteração no despejo líquido da empresa, de caráter predominantemente volumétrico, sobrecarregando de tal forma o sistema existente (o qual já era insuficiente então) que não se obteve uma eficiência maior do que 20% na redução da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) (3).

Com o objetivo de solucionar os problemas de poluição gerados pelos despejos líquidos, a CARGILL Industrial contratou os serviços de assessoria da AMBITEC, em meados de Maio de 1979.

- (1) Dados fornecidos pela Casa da Lavoura, em Bebedouro, da Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, e representam informação ainda não oficialmente divulgada.
- (2) A quantidade de laranjas é medida pelo produtor por unidade representada por "caixa". Cada caixa de laranja equivale a 40,80 kg.
- (3) DBO₅ — Determinação segundo procedimentos do Standart Methods da WPCF — Water Pollution Control Federation, e AWWA — American Water Works Association.

(*) Ambitec Planejamento e Consultoria Ltda

1.4. OBJETIVO

Essa consultoria técnica se estendeu durante toda a safra de laranja de 1979/80. Os principais tópicos abordados pelos trabalhos de consultoria, e que contribuíram decisivamente para a seleção dos processos e operações unitárias, resultando no emprego de filtros biológicos, constituem o objetivo deste trabalho.

Os principais fatores que determinaram a seleção do processo biológico a ser empregado foram:

- Operação com efluentes de alta temperatura.
- Capacidade do sistema de absorver as variações de carga decorrentes das oscilações do processo industrial.
- Baixo consumo de energia.
- Dispensa de mão-de-obra especializada para a operação.
- O sistema não demanda grandes áreas.
- Material de construção facilmente obtido no mercado local.
- Equipamento de baixa complexidade quanto a manutenção e reparos.
- Recuperação dos sólidos gerados pelo tratamento.

2. CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO INDUSTRIAL E DO DESPEJO

2.1. PROCESSO INDUSTRIAL

Sumarizando, pode-se dizer que o

processo de fabricação de concentrados de laranja (4) consiste, basicamente, em extrair o suco natural das frutas previamente selecionadas e lavadas, em máquinas especiais.

Este suco recebe um tratamento de polimento para remoção da polpa, sendo posteriormente enviado aos evaporadores para concentração do seu teor de sólidos solúveis. Esta operação consiste em retirar, por meio do processo de evaporação, uma parcela da água contida no suco natural e depois resfriá-lo, dando origem ao produto concentrado.

Os sólidos gerados pelas operações de manufatura anteriores tais como bagaços, polpa, caroços e folhas são prensados (desidratação mecânica) e depois introduzidos em um secador (desidratação térmica) para redução do teor de umidade. Esse material é peletizado, dando origem à ração (5).

- Existem outros sub-produtos obtidos da laranja, além do suco concentrado e dos pelets cítricos, como por exemplo o óleo essencial e o terpeno, etc., porém sempre em quantidades bem inferiores às daqueles dois sub-produtos.
- A recuperação dos sólidos para a produção de ração depende muito do porte da indústria e dos investimentos efetuados para tal fim. Nem todo empresário tem condições de fazê-lo rapidamente, e isso influi muito na qualidade do despejo, como veremos mais adiante.

Nos processos de produção de suco concentrado e desidratação dos sólidos para a ração, resumidamente descritos acima, parte da água removida por evaporação é condensada e reutilizada na própria fábrica, principalmente nas operações de limpeza, dando origem aos efluentes líquidos. (Vide Figura 2.1.).

2.2. CARACTERÍSTICAS DOS EFLUENTES

2.2.1. Origem

No setor de indústrias cítricas, quatro grupos de efluentes líquidos devem ser citados a saber:

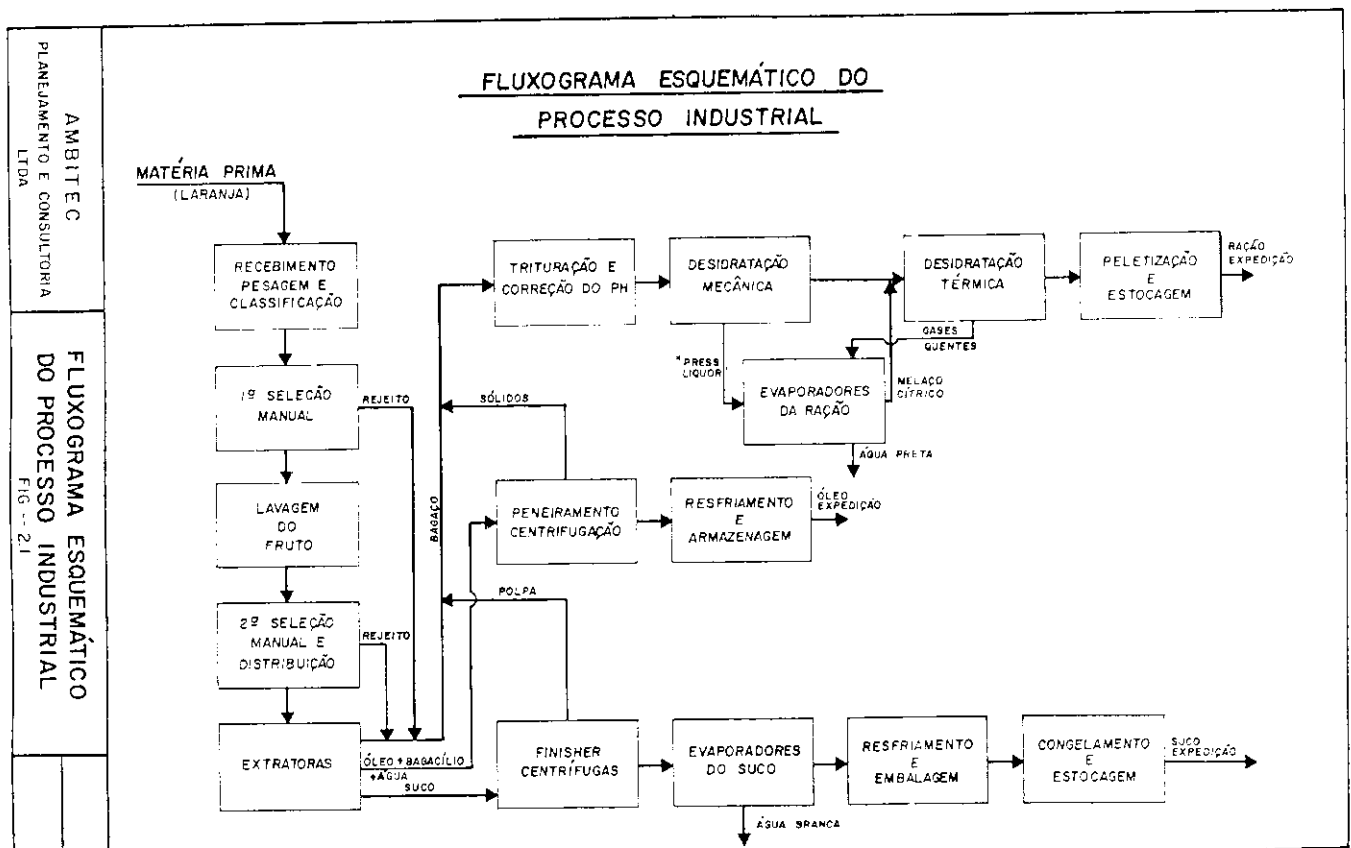
- Água de Fábrica;
- Água Preta;
- Esgotos Sanitários;
- Água de Utilidade.

Os efluentes dos grupos 3 e 4 não serão focalizados neste trabalho, pelo fato de serem suficientemente conhecidos e comuns a várias outras indústrias.

Os dois primeiros são os mais importantes e peculiares a essa modalidade de processamento industrial.

2.2.1.1. Água de Fábrica

Entende-se por "água de fábrica" os despejos líquidos provenientes das operações de lavagem de fruta, limpe-



za de pisos e máquinas, etc., formados a partir da utilização do condensado dos evaporadores de suco e da própria água potável aduzida para este fim. Esses despejos apresentam cor amarelada e contêm grande quantidade de sólidos como: sementes, polpa, bagaço, frutas descartadas, tudo o que cai nos pisos das máquinas e dos tanques. Recebem esse nome pelo fato de serem provenientes do setor mais importante da indústria.

2.2.1.2. Água Preta

Dá-se o nome de "água preta" aos despejos originários do setor da ração da fábrica. Sua formação é bem interessante e decorre principalmente da recuperação da energia térmica contida nos gases e vapores emanados do secador de bagaço. A operação de secagem é feita através do calor produzido pela queima de óleo BPF (6) em maçaricos dentro do secador. Os gases provenientes da combustão, acrescidos dos vapores extraídos dos sólidos durante a secagem, são removidos simultaneamente do equipamento.

Para aproveitamento energético, esses gases quentes permutam calor com outros equipamentos, onde uma parte dessa emissão gasosa se condensa, dando origem a um efluente de coloração negra, pela presença de partículas de carbono, enxofre e sólidos finos queimados na operação de secagem. Esse efluente escuro constitui a chamada água preta.

2.2.2. Características Físico-Químicas dos Despejos

A primeira característica dos despejos está na própria maneira como os efluentes são produzidos. A condensação dos vapores gerados na produção de suco concentrado e na secagem de sólidos para a ração resulta, conseqüentemente, em um líquido de alta temperatura.

Para a água da fábrica, a quantidade de calor é mantida, visto que água será posteriormente utilizada nas operações de lavagem das frutas, pisos e máquinas, onde a temperatura é fator importante na eficiência da limpeza.

Já para a água preta, o custo de sistemas para o resfriamento de uma água que será descartada sem utiliza-

ção, não é economicamente viável do ponto de vista de produção, embora conveniente a nível de proteção ambiental.

A segunda característica dos despejos é o teor de oxigênio dissolvido, sendo oriunda também da forma de produção dos efluentes. A concentração de O_2 é zero, não só pela influência da temperatura elevada, mas também pela própria demanda natural do suco.

Essas duas características são comuns aos dois despejos; entretanto, existem outras que são peculiares e tipicamente específicas a cada um deles, conforme exposto a seguir:

2.2.2.1. Características Típicas da Água de Fábrica

É o efluente mais importante das indústrias cítricas, onde os sólidos e sucos removidos nas operações de limpeza transferem ao mesmo uma carga orgânica solúvel e baixo pH (presença de ácido cítrico).

Na eventualidade de derramentos acidentais de suco, causados por vazamentos em tubulações ou tanques, a agressividade do efluente ao meio ambiente é acentuada.

Esta situação se agrava, tornando-se mesmo alarmante, quando algumas fábricas não dispõem de apropriados sistemas para a recuperação total da polpa (sólidos retirados dos sucos antes dos evaporadores), descarregando-a junto com o efluente. Esta mistura provoca um aumento considerável no teor de sólidos e DBO do despejo, elevando a mesma a valores de 5 a 10 vezes maiores do que o usual.

Uma outra característica agravante desse despejo, além da alta temperatura, do baixo pH, e dos elevados teores de sólidos e DBO_5 é a ausência quase completa de nutrientes (N e P), o que dificulta a realização de um tratamento biológico simplificado.

2.2.2.2. Características Típicas da Água Preta

Como já mencionado anteriormente, esse efluente é originário das operações de secagem dos sólidos gerados pelo processo industrial. Algumas fábricas de pequeno porte não possuem instalações para essa finalidade, dado o montante de investimentos que elas apresentariam.

A ausência de tais equipamentos leva, por conseguinte, à inexistência desse despejo e ao aumento de poluição, determinada pelos excessivos teores de sólidos e DBO_5 no despejo anterior, (água de fábrica).

As temperaturas são mais elevadas na água preta do que no primeiro despejo, já que não há, neste caso, o reaproveitamento dos condensados (as operações de lavagem permitem uma troca de calor com o ambiente).

O pH é mais baixo do que no primeiro despejo, em virtude da presença de ácido sulfúrico formado pelo enxofre do óleo B.P.F.

Da mesma forma que para o despejo anterior, existe aqui a possibilidade de eventuais acidentes que alterem bruscamente a qualidade do despejo. Eles ocorrem devido aos vazamentos nos tanques e tubulações do líquido proveniente da desidratação mecânica dos bagaços antes do secador, ("press liquor").

Comparativamente, a água de fábrica possui um teor de DBO ligeiramente superior ao da água preta, porém a temperatura e pH conferem ao segundo um grau de agressividade aparente maior do que o do despejo anterior (maior poder de corrosão).

2.2.2.3. Qualidade da Mistura Final

As fábricas geralmente separam a água preta dos demais efluentes para evitar a construção de tubulações mais caras, devido ao maior poder de corrosão dessa água, a qual apresenta pH mais baixo e temperatura mais elevada. Entretanto, terminam por juntar todos os despejos inclusive os de origem sanitária antes do lançamento nos corpos hídricos.

A fim de demonstrar a qualidade (7) de um efluente geral de todas as atividades ligadas ao processamento industrial de cítricos, o quadro ao lado indica os principais parâmetros.

O quadro acima e a experiência têm comprovado que o teor de DBO solúvel é sempre superior a 80% da DBO total. Essa faixa é sempre mantida, desde que não ocorram vazamentos acidentais de polpa no despejo. Quando tal fato acontece a DBO total do efluente se eleva a valores próximos de 17.000 mg/l, tendo sido por nós

(6) O óleo pesado de Baixo Ponto de Fulgor (B.P.F.) é também conhecido como Fuel Oil nº 6.

(7) Essa qualidade variável, em função do processo industrial.

Características Físico-Químicas Finais			
Parâmetros	Teores		
	mínimo	médio	máximo
Temperatura	36.0	38.5	42.5 °C
pH	4.0	4.7	6.5
Sólidos sedimentáveis	13	75	180 ml/l
Sólidos filtráveis	630	1.020	1.210 mg/l
Sólidos não-filtráveis	940	1.160	1.508 mg/l
Sólidos totais	1.573	2.180	2.718 mg/l
DBO ₅	1.480	2.850	4.050 mg/l
DBO ₅ (filtrada)	1.290	2.340	3.640 mg/l
DQO(9)	3.320	5.120	7.677 mg/l
DQO (filtrada)	2.890	4.330	6.310 mg/l
DQO/DBO	1.40	1.85	2.24
Óleos e graxas	18.60	78.50	164.00 mg/l
P total	0.60	1.70	2.70 mg/l
NH ₃	2.25	7.10	21.20 mg/l
NO ₂	0.01	0.15	0.24 mg/l
NO ₃	4.50	27.60	38.00 mg/l
N total	21.00	28.30	44.00 mg/l

TABELA 2-1 (8)

registrado um teor recorde de 20.000 mg/l.

Nesse último caso, o teor da DBO solúvel — apesar de ter sido maior que a máxima registrada em condições normais — representou apenas 30% da DBO total do despejo, ficando o valor restante pela demanda dos sólidos em excesso.

O teor de óleos e graxas do despejo é o único parâmetro que não causa preocupações, pelo valor da sua concentração (10). Foi registrado durante todo o trabalho desenvolvido, apenas uma única marca acima de 100.00 mg/l (no caso, 164.00 mg/l). Esse teor poderia, a princípio, indicar a possibilidade da inexistência de material flutuante na superfície do líquido. Na verdade, observa-se a formação de uma densa espuma, cuja quantidade é sempre proporcional à agitação transmitida à massa d'água.

Essa espuma que aparece sobre o despejo advém da água preta (responsável por 65% da carga total de óleos e graxas), onde sólidos de baixo peso específico (cinzas) são os maiores responsáveis por tal formação.

(8) Os valores médios contidos na Tabela 2-1 foram calculados a partir da média aritmética das determinações realizadas.

(9) Demanda Química de Oxigênio (D.Q.O.).

(10) Segundo os padrões fixados pela Legislação Estadual de controle de poluição do Estado de São Paulo — Decreto 8468/76.

2.2.3. Características Volumétricas

Com base nas informações anteriores referentes ao processo industrial, pode-se concluir que o volume gerado pelas indústrias de suco de laranja (independente do volume de água potável aduzida das fontes de abastecimento) está diretamente ligado à quantidade de laranja beneficiada, ou seja, quanto mais laranja, mais despejo.

Para se ter idéia do volume diário de descarte líquido, é possível fazer-se um cálculo da quantidade de água gerada, a partir do consumo de laranja. Esse cálculo é assim representado:

Volume referente aos evaporadores = 0.48 (nº de caixas de laranja x peso/cx).

Volume referente aos secadores = 0.17 (nº de caixas de laranja x peso/cx).

Vazão Diária = Volume referente aos evaporadores + Volume referente aos secadores + Volume de água advindo das fontes de abastecimento.

Vazão Diária = 0.65 (nº de caixas de laranja x peso/cx) + Volume de água potável aduzida.

A expressão acima permite o cálculo do volume máximo de despejo que se possa ter. Entretanto, visto que ocorrem perdas, fugas, etc, deve-se aplicar aqui um coeficiente de correção relativo ao retorno.

Esse coeficiente pode ser estimado com base no balanço hídrico da

Figura 2.2, onde os volumes diários de descartes estão representados em termos percentuais do volume total de efluentes líquidos gerados por uma indústria cítrica.

3. DEFINIÇÃO DOS PROCESSOS E OPERAÇÕES UNITÁRIAS

O tratamento dos efluentes líquidos das indústrias cítricas deve ser realizado sempre em duas etapas: a primeira, um tratamento físico-químico, destinado a garantir uma determinada qualidade ao despejo, para a realização da segunda etapa: o tratamento biológico.

A complexidade e número dos processos e operações unitárias envolvidos depende muito do porte da indústria e do grau de industrialização da matéria-prima e subprodutos por ela empregados.

Destacaremos aqui os pontos mais importantes a serem observados na seleção das operações e processos unitários, a serem desenvolvidos em cada uma das etapas da depuração:

3.1. TRATAMENTO FÍSICO QUÍMICO

3.1.1. Medição de Vazão

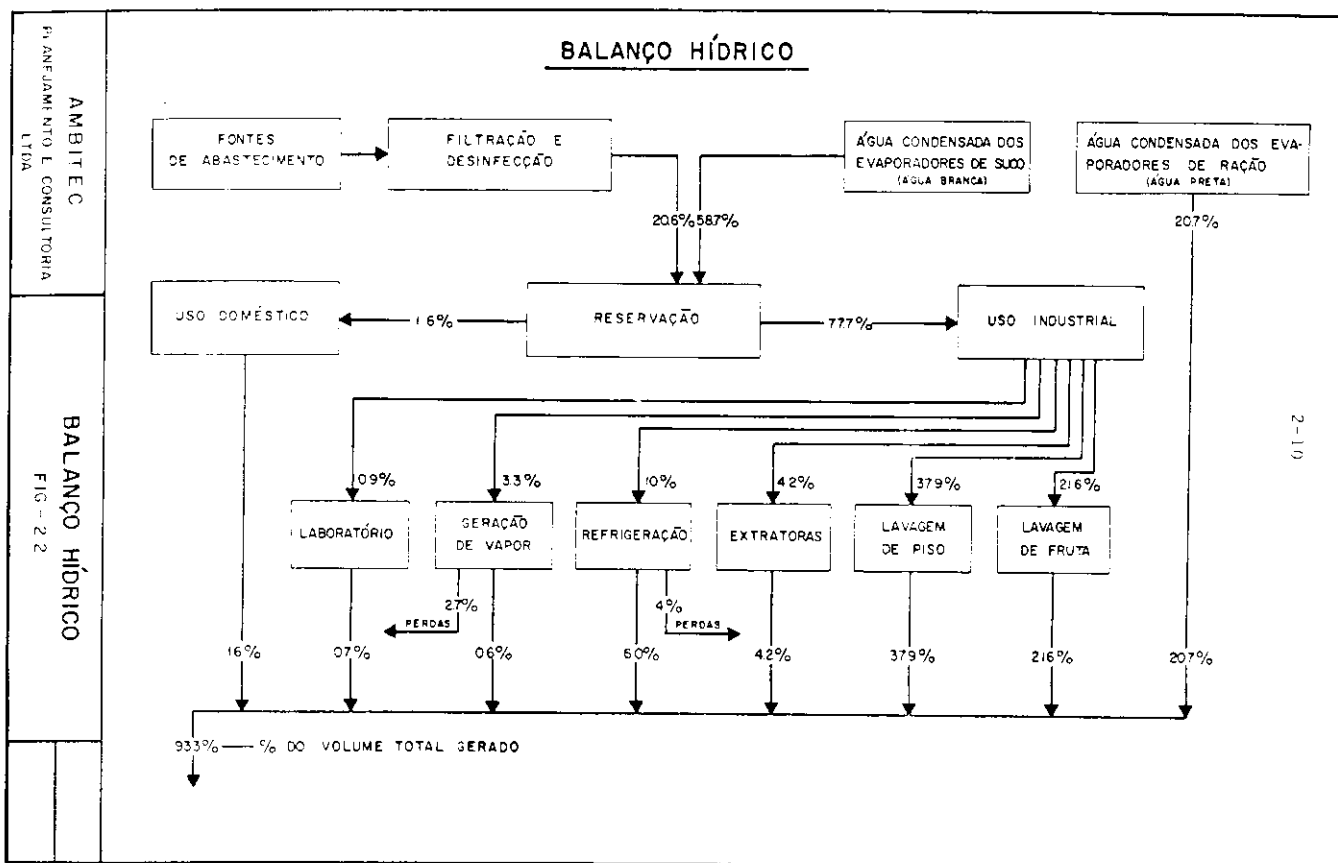
Para se avaliar o volume de descartes das indústrias cítricas, é conveniente utilizar-se sempre medidores de vazão do tipo Parshall, a fim de evitar a formação de ondas de remanso a montante do aparelho e, consequentemente, a deposição de sólidos. Eventualmente a calha PARSHALL poderá vir a ser precedido de uma grade grosseira, para se evitar o acúmulo de bagaço e fruta junto ao equipamento.

3.1.2. Correção do pH

O pH do despejo, que varia de 4.00 a 5.00, deverá ser corrigido, através da dosagem de soluções alcalinas, para valores próximos a 10.00. Essa elevação acima do pH neutro destina-se a prevenir a redução posterior, causada pelo efeito de tamponamento do ácido cítrico e da dosagem das soluções de nutrientes de natureza ácida.

3.1.3. Peneiramento Fino

Para remoção das sementes e bagaços que acidentalmente caem dos pisos, e principalmente para absorção de eventuais derramamentos de polpa carregada pelo despejo, é aconselhável a utilização de peneiras. Esse peneiramento pode ser considerado uma extensão do processo industrial, como otimização da recuperação de subpro-



duto. A abertura da malha entre 2.5 mm a 1.00 mm é aconselhável, visto que o tamanho médio da polpa é de 5.00 mm.

Aberturas menores do que 1.00 mm se obstruem facilmente pela colmatação causada pela fuligem presente na água preta e pela pectina da laranja, sendo necessárias limpezas rigorosas.

Os resíduos removidos pela peneira devem ser adicionados à ração.

3.1.4. Uso de Coagulantes

Os ensaios do tipo "jar-test" efetuados em laboratório demonstraram resultados insatisfatórios na utilização de coagulantes químicos tais como sulfato de alumínio, polieletrólitos (catiônicos, aniônicos e não-iônicos), etc., pela ineficiência da remoção da DBO e sólidos. Por essa razão, é aconselhável a utilização de Ca(OH)_2 como neutralizante da operação posterior, que além de corrigir o pH, atua como coagulante químico (na faixa de pH 10), removendo parcialmente a cor escura do efluente ocasionado pela água preta. Como consequência, ter-se-á um efluente mais límpido; por outro lado, ocorrerá também o aumento do teor de sólidos pela adição do produto, sem entretanto alterar a DBO.

3.1.5. Sedimentação

Poder-se-ia, a princípio, imaginar que o uso de peneiras com malhas de aberturas de 1.00 mm pudessem substituir unidades de sedimentação primária, semelhante aos resultados obtidos para os esgotos sanitários. Mas para os despejos de origem cítrica isto não ocorre (11), além disso haveria ainda os sólidos gerados pela correção do pH. Assim sendo, para despejos cítricos, é sempre aconselhável que se disponha de unidades de sedimentação primária para remoção dos resíduos, e evitar uma sobrecarga no sistema biológico.

Os lodos gerados pela operação acima, depois de desidratados, poderão ser adicionados à ração, sem maiores problemas.

3.1.6. Nutrientes

Os teores de Nitrogênio e Fósforo dos despejos cítricos são praticamente nulos. Os valores indicados na Tabela 2-1 representam a contribuição relativa aos esgotos sanitários

(11) Os teores de sólidos sedimentáveis indicados na Tabela 2.1, provam esta afirmação, uma vez que foram obtidos para despejos cítricos peneirados.

no efluente geral da indústria. Contudo, esses teores ainda assim estão muito longe de satisfazer a relação DBO: N:P próxima à faixa ideal de 100:5:1.

A concentração de Fósforo representa cerca de 0.06% do valor da DBO, quando deveria ser de 1%. Já o teor de Nitrogênio disponível é superior em relação ao Fósforo, com cerca de 1% da carga da DBO, porém longe de atender os 5% mínimos necessários.

Um eficiente sistema de tratamento biológico só será possível se forem corrigidos os teores dos elementos N e P. Atenção especial deve ser dada ao pH final do despejo, resultante da adição das soluções fornecedoras de Nitrogênio e Fósforo. Esses compostos químicos normalmente têm caráter ácido e podem fazer baixar demais o pH do efluente, dificultando a realização da depuração biológica.

Por isso é interessante frisar-se mais uma vez que a correção do pH deve ser efetuada no início do processo, de 4.0 para próximo ou superior a 10.0. Dessa forma o valor do pH que entra no sistema biológico será de aproximadamente 7.5 a 6.8.

3.2. PROCESSO BIOLÓGICO

A etapa relativa ao tratamento biológico, representa um investi-

mento de mais de 70% do custo total de implantação para os sistemas de depuração de despejos de origem cítrica.

A escolha do processo biológico mais adequado depende de outras considerações (além do investimento inicial) relativas às características peculiares a este tipo de efluente, que só pelo volume diário de descarte, e por sua carga orgânica de baixa tratabilidade (como veremos mais adiante), eliminam (de primeira mão) uma série de processos conhecidos.

Alguns dos fatores intervenientes e que foram decisivos na escolha de filtros biológicos, como etapa final do sistema de depuração, são os seguintes:

3.2.1. Temperatura

Os efluentes líquidos das indústrias cítricas, possuem elevada temperatura (vide item 2.2.2) que limita o emprego direto de processos biológicos por lodos ativados e suas variantes mais simplificadas; devido à sensibilidade dos microorganismos a temperaturas superiores a 30°C.

A aplicabilidade desses processos a esse tipo de efluente, só é possível com a colocação de um sistema de resfriamento entre o tratamento primário e a depuração biológica.

Outro aspecto a ser considerado, é o de que um sistema de aeração que opera a temperaturas mais elevadas, requer mais potência, para a mesma transferência de oxigênio, do que um similar a 20°C, devido à diferença das concentrações de saturação do oxigênio. Este fato pode ser observado na curva 3.2.a sobre os acréscimos de potência em função da temperatura.

Os filtros biológicos podem ser operados com temperaturas mais altas que os sistemas anteriores, uma vez que atuam também como torre de resfriamento. O oxigênio para o sistema é fornecido naturalmente, não exigindo equipamentos para tal fim. Consequentemente, ocorrerão simultaneamente reduções na temperatura e na D.B.O. (Vide curva 3.2b sobre a redução de temperatura em um tipo de filtro biológico).

Esta característica, confere aos filtros biológicos maior viabilidade técnico-econômica sobre os demais, pelo fato de não exigir a instalação de unidades de resfriamento e permitir ainda, por suas características, associação em série (unidades antecessoras) com os processos biológicos por lodos ativados, lagoas aeradas e com o próprio filtro biológico operando em um segundo estágio.

3.2.2. Carga Aplicada

As variações que ocorrem periodi-

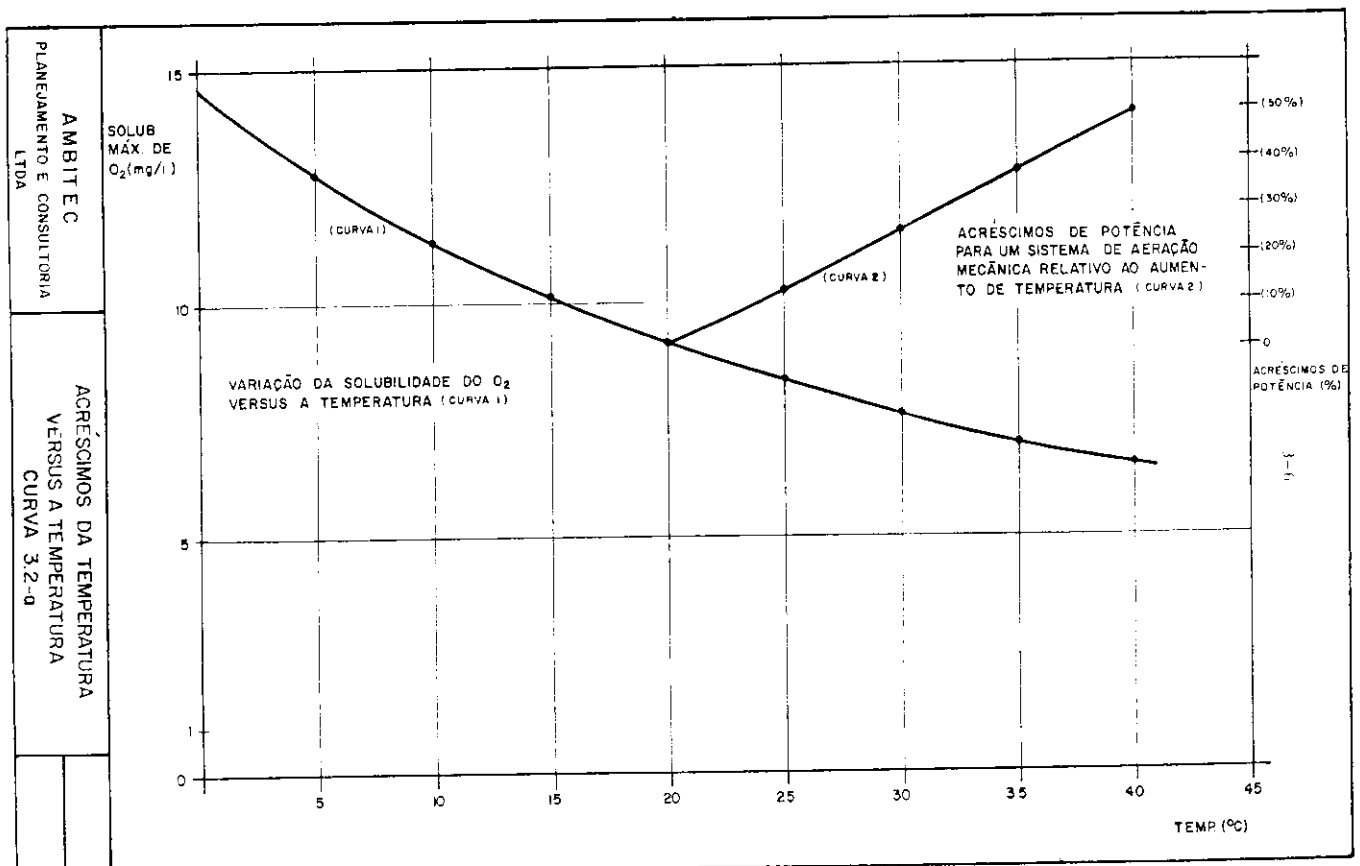
camente no processo industrial, repercutem no despejo, fazendo oscilar sua carga orgânica. Este fato apresenta um outro aspecto de grande importância na seleção do processo biológico. Neste particular, os filtros biológicos apresentam significativa vantagem sobre os demais processos, pela razão de ser mais resistente às variações volumétricas e de carga; podendo, em caso de paralisação parcial da fábrica ou nos períodos de entre-safra, ou ainda nos casos em que apenas esgotos sanitários se fazem presentes, operar apenas algumas unidades em série, ou só com o primeiro estágio (quando for o caso), sem prejuízo da qualidade final.

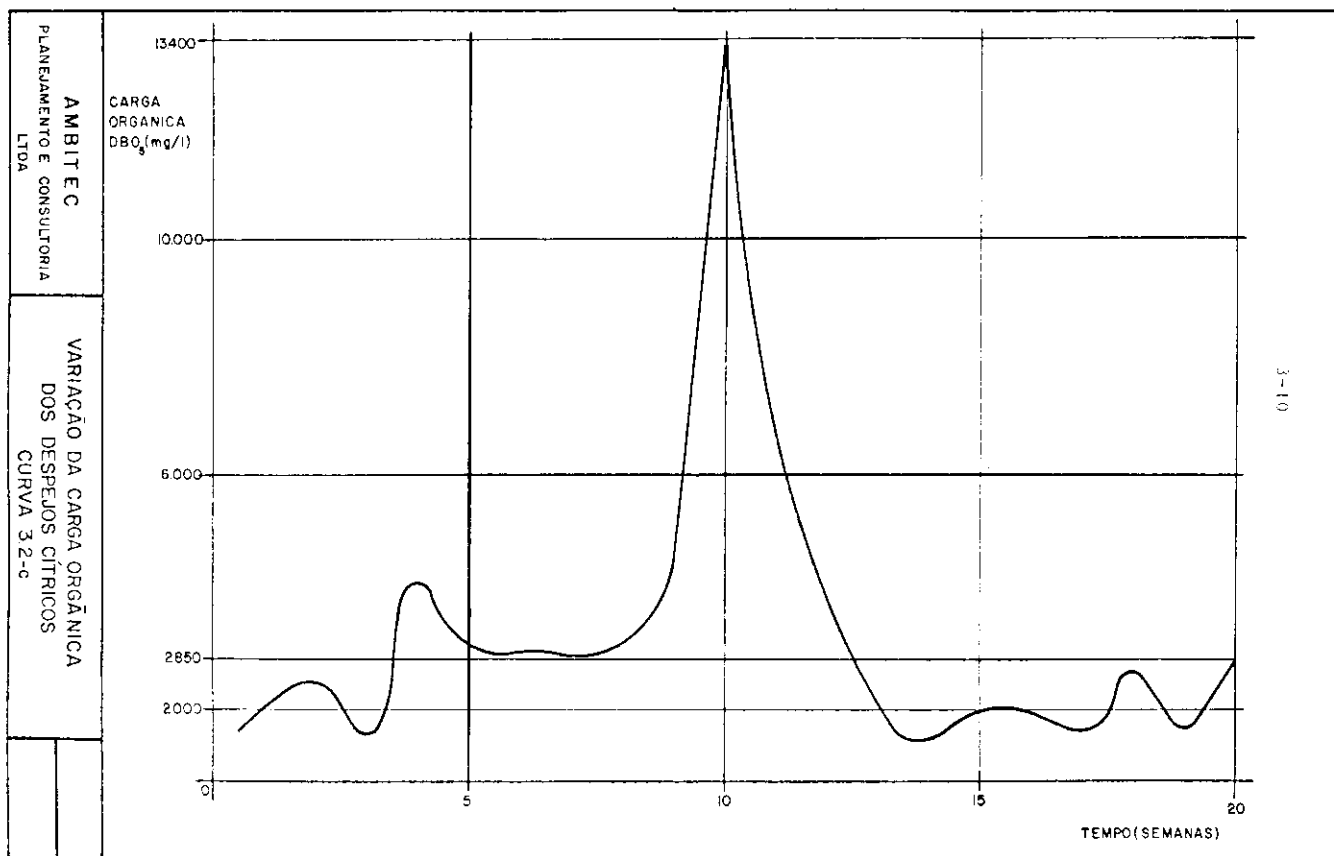
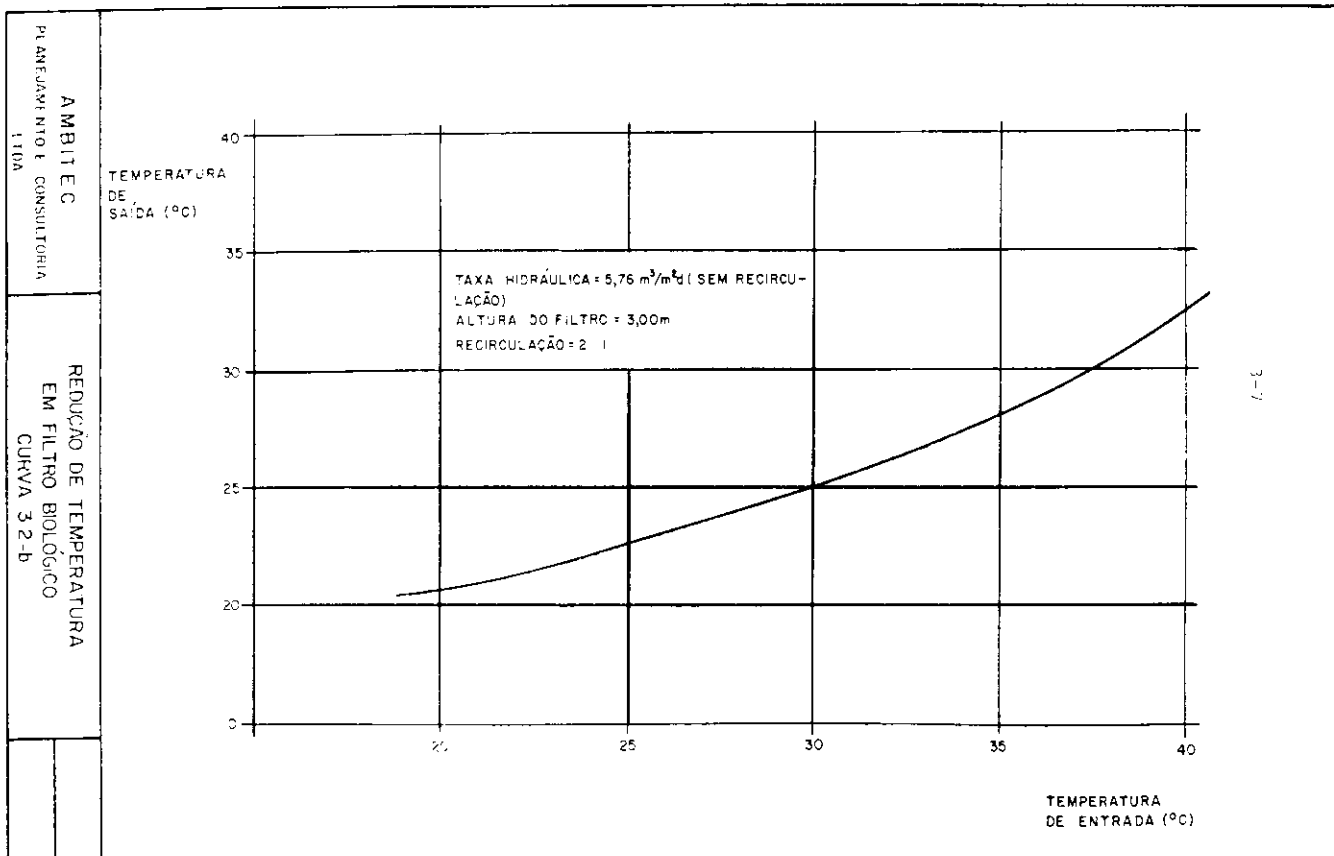
A eficiência do sistema por lodos ativados, depende muito da uniformidade do efluente, quer sob o ponto de vista volumétrico, quer sob o da concentração de matéria orgânica. Requerem um tanque de equalização a montante, para uniformização do fluxo e minimização da carga orgânica de pico decorrente das variações do processo industrial.

A curva 3.2.c representa uma variação típica da concentração da DBO do efluente em função do tempo.

3.2.3. Consumo de Energia, Operação e Manutenção

Com relação aos equipamentos envolvidos, os filtros biológicos levam





ainda mais vantagens sobre os demais processos, pelo fato de que os distribuidores de despejo sobre o meio de suporte, operam somente por cargas hidrostáticas (abaixo de 1.50 m), não reque-

rendo nenhum outro sistema para seu acionamento (motor, redutor, etc). O consumo de energia se resume no funcionamento das bombas de recirculação (de baixa pressão), que é muito

inferior a demanda requerida pelos aeradores ou outro sistema de aeração empregado.

A simplicidade operacional do processo de tratamento por filtros, é tal

que não exige pessoal especializado, além do disponível na própria fábrica. Parte dos equipamentos envolvidos são bem familiares aos operários pelo uso dos mesmos na área industrial (tubos e bombas).

A manutenção e reparos dos distribuidores podem ser fácil e rapidamente efetuadas pela própria oficina da indústria, evitando assim demoras no fornecimento de novas peças ou na manutenção de equipamentos de reservas em estoque.

3.2.4. Área Necessária

Outro aspecto de importância, está na disponibilidade de área para implantação de cada uma das possíveis soluções para o tratamento biológico, independentemente do tipo e custo dos equipamentos instalados.

Um sistema de depuração por lodos ativados, demandaria menor espaço que o exigido, pelos filtros biológicos. Mas, normalmente a proximidade da indústria cítrica junto às zonas rurais de produção de laranja faz com que haja disponibilidade de áreas, (o custo do terreno fica minimizado), tornando-se bastante viável a utilização do sistema por filtros biológicos, embora nem sempre seja possível a aplicação de lagoas.

3.2.5. Material de Construção

O meio de suporte dos filtros biológicos, que pode ser constituído por pedras britadas, além de outros materiais de construção que são facilmente encontrados em áreas distantes de grandes aglomerados urbanos fornecedores de tecnologia e mão de obra mais especializada para construções e montagens mais complexas, favorecendo assim, a aplicabilidade dos filtros biológicos nas indústrias cítricas.

3.2.6. Considerações Econômicas

O estudo de comparação econômica realizado entre a aplicação de filtros biológicos e lodos ativados para tratamento biológico, demonstrou que a grande diferença entre esses mesmos está basicamente no custo operacional. Este fator é muito importante para os industriais, e preponderará sobre o investimento de implantação, uma vez que incide diretamente no custo do produto manufaturado diminuindo sua competitividade no mercado pelo aumento das despesas indiretas.

Mas apesar de serem os custos operacionais dos filtros biológicos inferiores ao do processo por lodos ativados, ambas as alternativas apontaram a ne-

cessidade de se minimizar de alguma forma, os encargos referentes ao controle da poluição, em face ao montante requerido.

Entre várias hipóteses estudadas, a melhor solução encontrada foi a de adicionar aos "pellets cítricos" (sub-produto industrial) os sólidos secos gerados pelo sistema de tratamento.

O incremento de peso da ração em cerca de 2.0% a 2.30% proporcionará uma nova fonte de recursos, que minimizarão os custos operacionais da E.T.E., sem contudo alterar a qualidade final do sub-produto da indústria, face ao teor adicionado.

Como os filtros biológicos apresentam um custo operacional menor do que o processo por lodos ativados, os benefícios auferidos pela mistura dos lodos à ração, gera um excedente (12) que permite amortizar o investimento efetuado na implantação do sistema de tratamento. Os custos aqui referidos, estão discriminados na Tabela 3.1 e na curva 3.2.d., e nos permite estabelecer as relações abaixo, para efeito de uma rápida avaliação dos recursos destinados ao controle de poluição por efluentes líquidos das indústrias cítricas, com base no volume diário de descarte.

CUSTO DE IMPLANTAÇÃO: US\$ 200.00 a US\$ 250.00 m ³ /dia
BENEFÍCIO OBTIDO PELO LODO: US\$ 0.05 m ³ /dia

(12) Calculado com base no período médio de operação das indústrias cítricas, a 25 dias/mês e 9 meses/safra.

4. FILTRO-PILOTO

4.1. CARACTERÍSTICAS DO PROTÓTIPO

O detalhe mais característico da execução desta unidade piloto, foi o uso de telas e perfis metálicos como estrutura de contenção das britas. Isto resultou em uma área livre de contacto direto entre as pedras e o meio ambiente, facilitando assim, a troca de calor (para operar como torre de resfriamento).

Na parte superior do filtro, foram construídos os medidores de vazão (para controlar os fluxos do despejo bruto, recirculação e esgoto sanitário), distribuidor fixo (tipo de árvore de sprays), para aplicação do despejo sobre o meio de suporte, e ainda foram instaladas as bombonas para dosagem de nutrientes (ácido fosfórico e sulfato de amônia).

Inicialmente, o filtro entrou em operação somente com esgotos sanitários, para a formação das colônias de microorganismos.

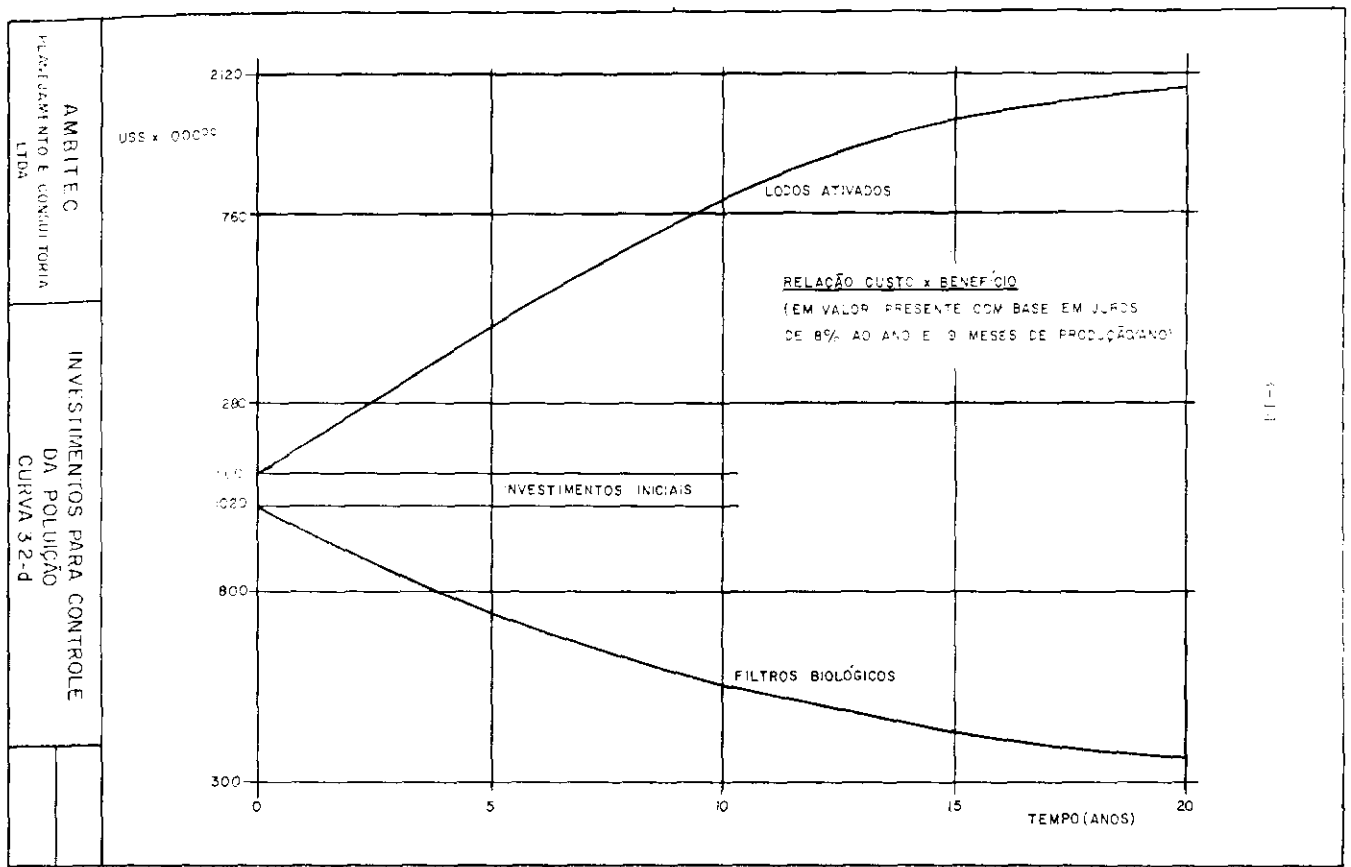
Após 15 dias de operação ininterrupta, reduziu-se a carga hidráulica dos esgotos sanitários, pela diminuição da vazão aplicada, que passou de 100% para 50% do valor inicial, mantendo-se a recirculação.

A parcela de vazão subtraída (50%) foi trocada em igual valor pelo despejo bruto industrial, iniciando-se a dosagem de nutrientes.

(13) Resultado da somatória dos custos operacionais (negativos) com os lucros obtidos pela recuperação dos lodos (positivos).

CUSTOS EM US\$		PROCESSOS	
		Lodos Ativados	Filtros Biológicos
Implantação		1.100.000.00	1.020.000.00
Operacional	Tratamento Primário (Físico-Químico)	940.00/d	940.00/d
	Tratamento Biológico	836.00/d	120.00/d
Lucro pela Recuperação de sólidos	Tratamento Primário	740.00/d	740.00/d
	Tratamento Biológico	590.00/d	570.00/d
CUSTO OPERACIONAL FINAL (13)		- 446.00/d	+ 250.00/d

TABELA 3.1



Dessa forma, diluiu-se a carga orgânica do efluente industrial e possibilitou a aclimação dos microorganismos. Posteriormente, de modo gradativo, foi-se aumentando a parcela relativa ao despejo industrial consequentemente diminuindo-se o de origem sanitária, até a completa operação com apenas o efluente da indústria.

A partir desta data, foram realizadas amostragens compostas referentes ao despejo bruto e tratado até o término da safra.

4.2. DADOS DO SISTEMA PILOTO

DADOS DA ETA-PILOTO

- vazão – 4 l/min
- recirculação – 2:1

DIMENSÕES

- diâmetro – 1.13 m
- altura – 3.00 m
- área superior – 1.00 m²
- área lateral – 10.64 m²
- volume – 3.00 m³
- taxa volumétrica (s/recirc.) – 5.76 m³/m²/dia
- carga aplicada – 3.86 kgDBO₅/m³ dia

RESULTADOS OBTIDOS: (média aritmética dos valores encontrados)

- DBO₅ (bruto) – 2.012 mg/l

- DBO₅ (filtrado) bruto – 1.715 mg/l
- % não solúvel – 16.4%
- DBO₅ tratado – 1.139 mg/l
- DBO₅ (filtrado) tratado – 917 mg/l
- % não solúvel – 19.5%
- DBO₅ (tratado)/DBO₅ (bruto) – 45% (% removida)
- DBO₅ (tratado solúvel)/DBO₅ (bruto) – 56.4% (% removida)
- DBO₅ (tratado solúvel)/DBO₅ (bruto solúvel) 46.5% (% removida)
- Temperatura do efluente bruto – 38°C
- Temperatura do efluente tratado (1 estágio) – 30°C
- pH do despejo bruto – 9.00
- pH do despejo tratado – 6.50
- sólidos sedimentáveis (bruto) – 75.00 ml/l
- sólidos sedimentáveis (tratado) – 26.00 ml/l

(vide histograma sobre as determinações da DBO₅ na Fig. 4.1)

Obs₁: Nos cálculos acima, foram desprezadas as determinações de números 1, 5 e 9 do histograma, por representarem respectivamente as seguintes características:

- (1) O valor das DBO₅ do efluente bruto está muito acima dos

valores médios encontrados, com uma concentração de 17.000 mg/l. O percentual da DBO₅ solúvel desta amostra, está bem abaixo da média. Mas a remoção ainda foi muito boa, da ordem de 70%.

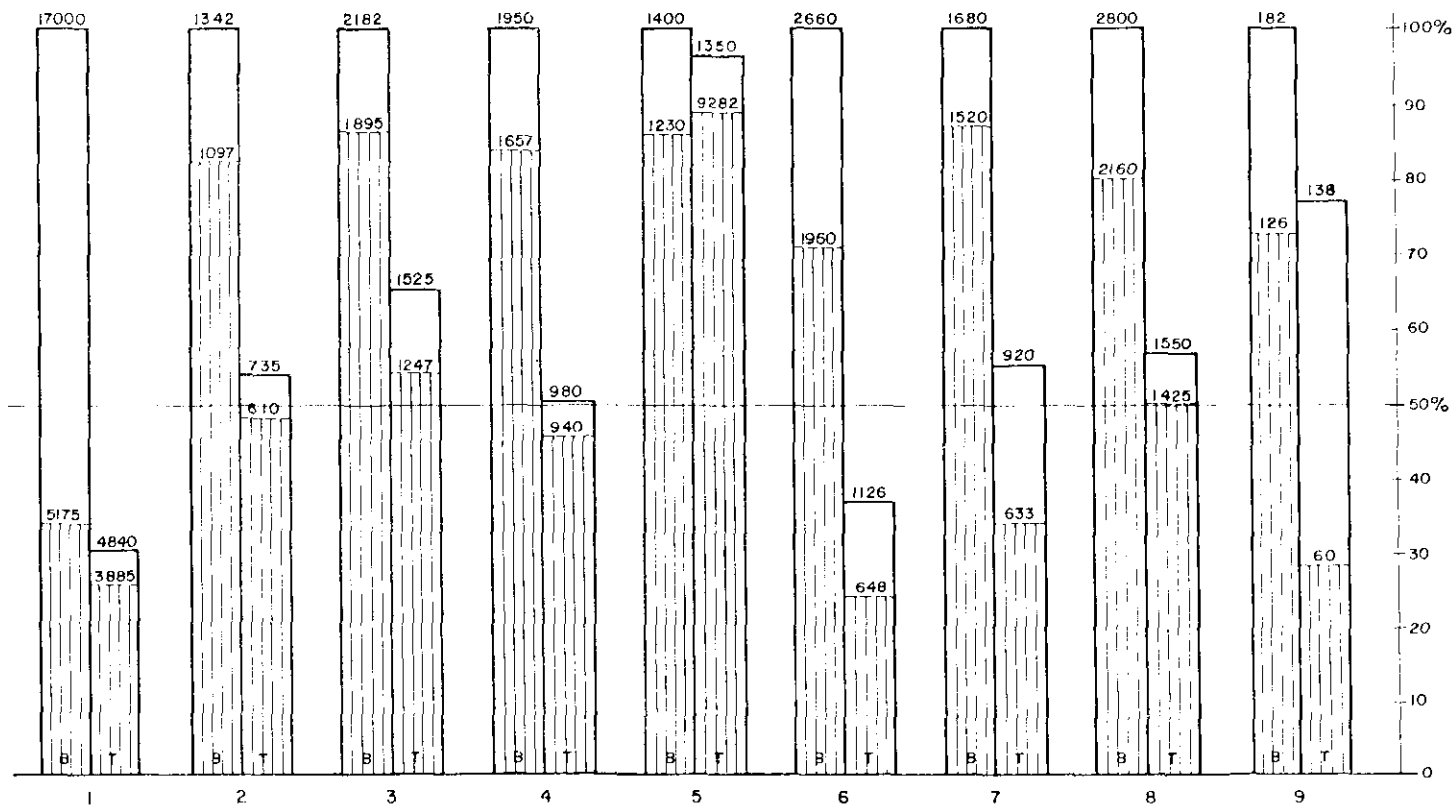
(5) A diferença entre a DBO₅ do despejo bruto, e do efluente tratado é tão pequena que devem ter ocorrido interferências na análise de laboratório. Outro fato está na DBO solúvel do afluente ser menor do que a do efluente tratado.

(9) Com a parada da fábrica pelo término da safra, os testes de n.º 8 e 9 foram executados com o efluente retido nas lagoas de decantação existentes, mas a ocorrência de muita chuva entre os dois períodos de coleta, levou a uma diluição do efluente ali retido, e por conseguinte uma redução da DBO. A partir desta data foram encerrados os testes piloto.

Obs₂: Os valores das determinações referenciais acima, (apesar de não terem sido utilizadas nos cálculos da eficiência) serviram para indicar o comporta-

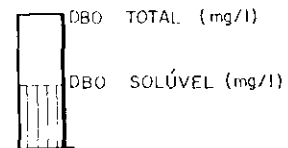
E.T.E. - PILOTO

RESULTADOS DOS TESTES PARA "DBO"



LEGENDA

B - DESPEJO BRUTO
T - DESPEJO TRATADO



<p>AMBITEC PLANEJAMENTO E CONSULTORIA LTDA</p>	<p>HISTOGRAMA</p>
---	-------------------

mento do filtro biológico quando sujeito a tais situações. (Alta e Baixa DBO).

Obs₃: Os valores encontrados para a DBO₅ do efluente bruto, durante as realizações dos testes piloto, foram em média menores do que os valores determinados para o mesmo, na fase de caracterização dos despejos líquidos.

4.3. PARÂMETROS OBTIDOS

Com os dados do sistema piloto foi possível determinar as variáveis da equação de Eckenfelder, utilizada no dimensionamento do sistema real, e permitiu a elaboração da curva 4.1.a, que relaciona carga aplicada por metro cúbico de filtro (kgDBO/m³ d) versus eficiência por estágio de depuração.

Equação de Eckenfelder:

$$\frac{L_e}{L_a} = - \exp \left[\frac{KD^{(1-m)}}{(Q/A)^n} \right]$$

e

$$L_a = \frac{L_1 + RLe}{1 + R}$$

onde:

- L₁ = concentração da DBO influente s/recirculação (mg/l).
- L_a = concentração da DBO influente c/recirculação (mg/l).
- L_e = concentração da DBO efluente (mg/l).
- R = razão de recirculação
- m = coeficiente de distribuição dos microorganismos com a altura dos filtros
- n = expoente característico do meio filtrante
- Q = carga hidráulica (gpm)
- A = área superficial (sqft)
- D = altura ou profundidade do filtro (ft)
- K = constante de tratabilidade

O valor da constante de tratabilidade de "K" obtido, foi de 0.022.

O esquema adotado para o sistema de depuração do despejo líquido do caso exemplo pode ser observado na figura 4.2, para efeito de ilustração final.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ressalta-se sempre que possível, a integração das instalações depuradoras de efluente com a linha de proces-

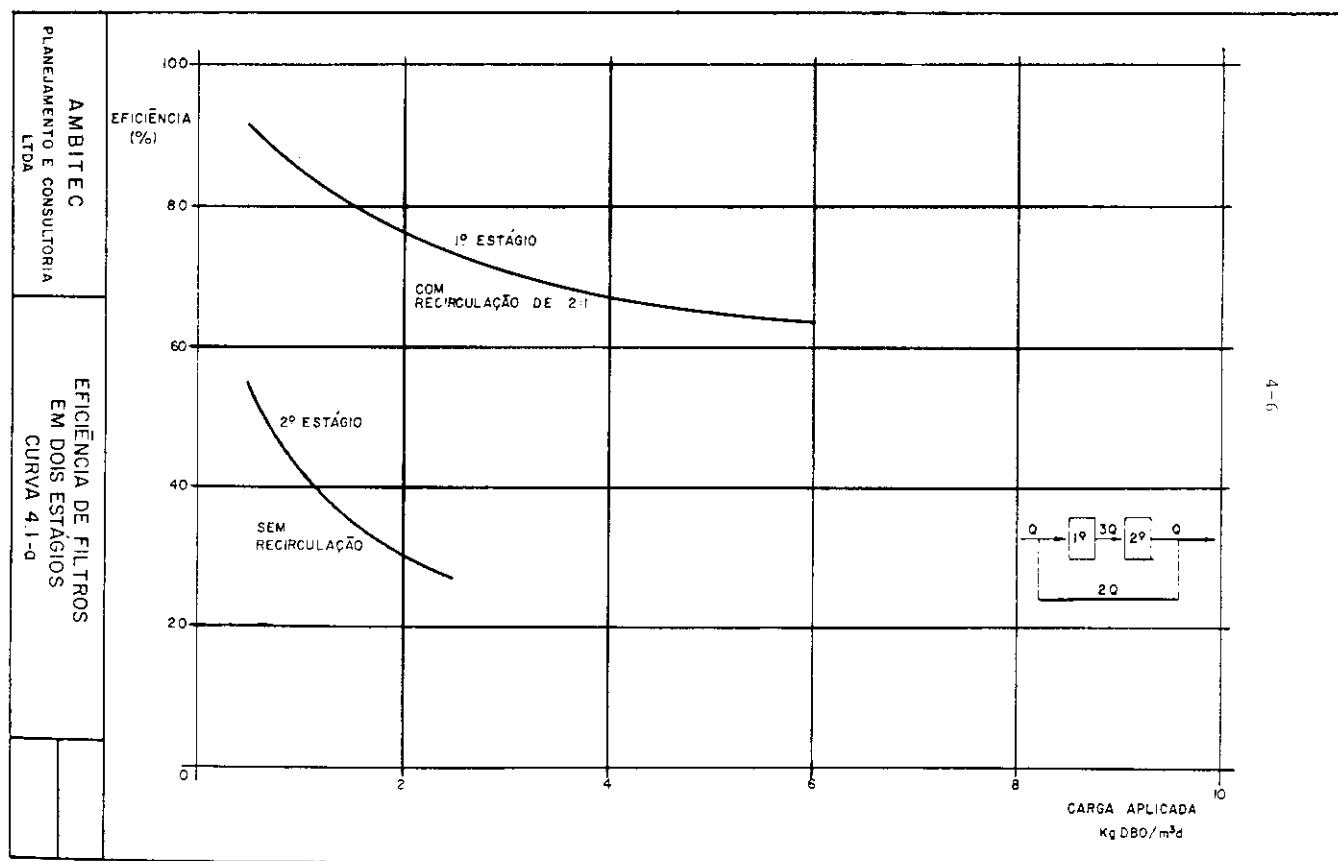
samento industrial, de tal forma que ela possa receber por parte das indústrias as mesmas atenções destinadas em termos de operação e manutenção aos demais processos de depuração.

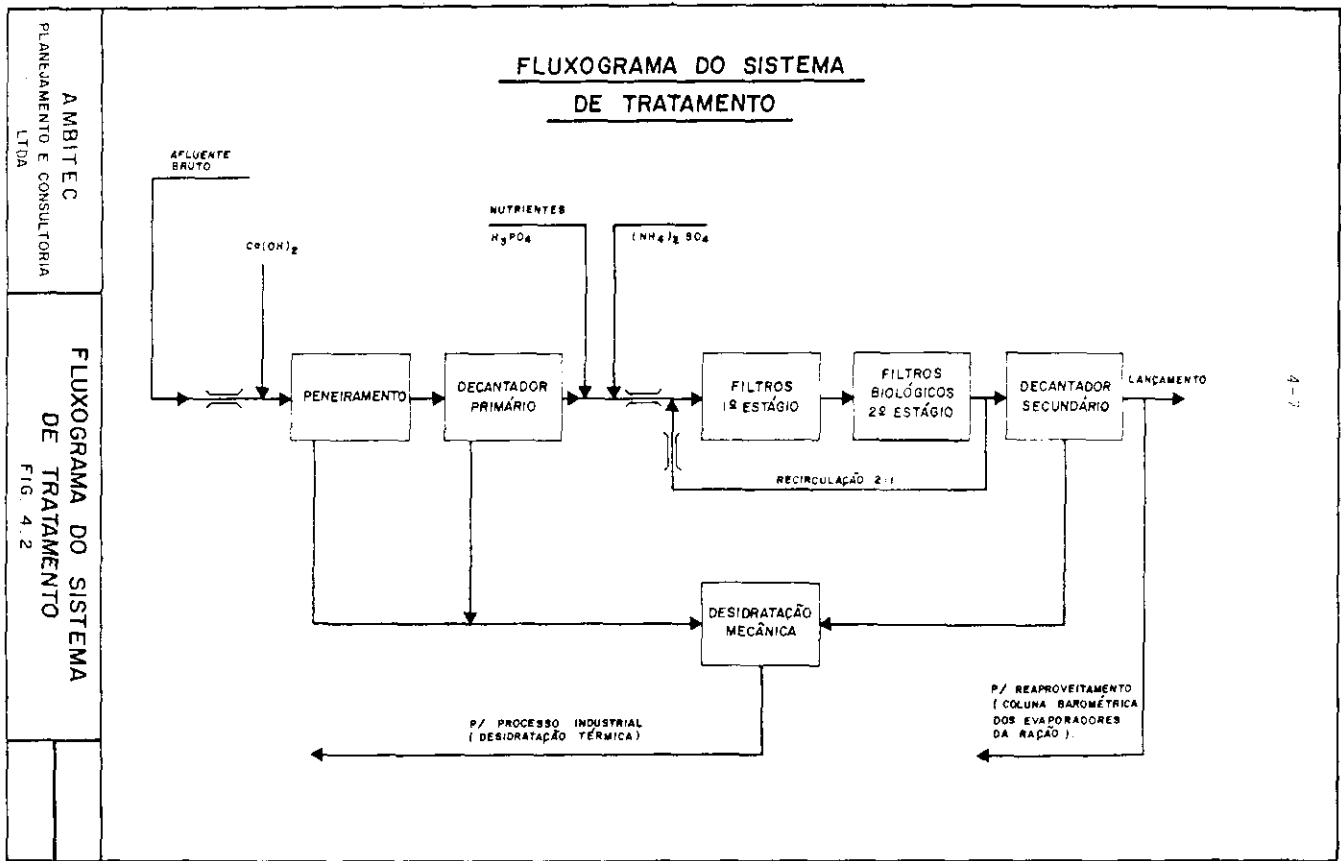
Para que esse objetivo seja atendido, é necessário que a projetista explore as possibilidades tecnológicas visando a recuperação e reciclagem, via tratamento das águas residuárias, de produtos e subprodutos que, em via de regra, são tomadas como economicamente desprezíveis além de apresentarem em alguns casos dificuldades de disposição final.

O objetivo da melhor tecnologia industrial deve ser aquela que atende os índices de qualidade e custo e que vem de encontro aos cuidados de preservação do meio ambiente.

6. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- 6.1. ABNT-PNB-570 (14) — ELABORAÇÃO DE PROJETOS HIDRÁULICO SANITÁRIOS DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS — Rio de Janeiro/1975
- 6.2. BRANCO, S.M. — HIDROBIOLOGIA APLICADA À ENGENHARIA SANITÁRIA, Vol. III — CETESB (15) — SP-BRASIL/1971
- 6.3. E.P.A. (16) — PROCESS DESIGN MANUAL FOR SLUDGE TREATMENT AND DISPOSAL — Cincinnati — Ohio-USA/1974
- 6.4. ———— FOR SUSPEND SOLID





- REMOVAL – Cincinatti – Ohio-USA/1975
- 6.5. _____ FOR UPGRADING EXISTING WASTEWATER TREATMENT PLANTS – Cincinatti-Ohio-USA/1974
- 6.6. LORCA, F. e MIRO, J. – TÉCNICAS DE DEFENSA DEL MEDIO AMBIENTE – Editorial Labor SA – Barcelona – Espanha/1978
- 6.7. HURWITZ, E. – THE USE OF ACTIVATED SLUDGE AS AN ADJUVANT TO ANIMAL FEEDS – The Metropolitan Sanitary District of Greater Chicago – Chicago – USA/1972
- 6.8. METCALF e EDDY, INC. – WASTEWATER ENGINEERING, Collection, Treatment and Disposal – McGraw – Hill Book Company New York – USA/1972
- 6.9. NEMEROW, N.L. LIQUID WASTE OF INDUSTRY. Theories, Practices and Treatment, Addison-Wesley Publishing Company – New York-USA/1971
- 6.10 WPCF – OPERATION OF WASTEWATER TREATMENT PLANTS – Manual of Practice – n.º 11 – USA/1977
- 6.11 WPCF – WASTEWATER TREATMENT PLANT DESIGN – Manual of Practice – n.º 8 – USA/1977
- (14) ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- (15) CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
- (16) E.P.A. – Environmental Protection Agency – Technology Transfer