

# Oxidação Total (\*)

JOSÉ MARIA COSTA RODRIGUES

Engenheiro Civil

Na última década, pesquisadores Americanos (1) e Europeus (2) desenvolveram paralelamente um novo processo para o tratamento biológico de esgotos sanitários e resíduos industriais.

O pronunciado desenvolvimento suburbano, que se verificou nos Estados Unidos da América do Norte, caracterizado pela formação dos chamados bairros satélites das grandes metrópoles, cada qual constituindo uma unidade independente, do ponto de vista dos serviços de esgotamento, criou uma necessidade considerável por uma solução prática para o problema da disposição dos resíduos esgotados, de pequena capacidade ou vazão.

A solução para este problema parece ter sido encontrada, com o aparecimento de novo tipo de processo de tratamento, sob denominações tais como: "Total oxidation", "Extended Aeration", "Aerobic Digestion", etc. ...

Na Europa surgiram os chamados "valos de oxidação", cujos primeiros resultados foram divulgados por PASVEER em 1957, e referiam-se às instalações de VOORSCHOTEN com 1.500 habitantes e NOORDWIJK com 2.500.

Na mesma época, McKINNEY (3) e TAPHESHAY (4) divulgavam resultados obtidos em instalações de oxidação total de resíduos de laticínios e esgotos sanitários.

Entretanto, pela própria natureza deste tipo de instalação, mais adequado ao tratamento de pequenas vazões, nem sempre tem sido economicamente justificável o emprêgo de um engenheiro consultor para a elaboração do projeto, acompanhamento da construção e do início de operação.

Em sua maioria, estas instalações têm sido estudadas e projetadas pelos órgãos técnicos das empresas comerciais

e/ou industriais especializadas em tratamento de esgotos, e a experiência recolhida pelas mesmas é via de regra incorporada ao "know-how" patrimonial de cada uma delas.

As divulgações feitas por estas empresas possuem caráter mais promocional (5) do que propriamente científico.

Por outro lado, por serem estas instalações, de pequena capacidade, e não exigirem uma operação controlada, por operadores de nível mais elevado, são muito poucas as referências a dados de operação.

Seja pelas razões apontadas ou por alguma outra desconhecida, o fato é que o material publicado sobre este tipo de instalação não está em proporção com o grande número de unidades já em funcionamento, principalmente nos USA., onde existem cerca de mil instalações, conforme um levantamento recentemente realizado pelo Robert Taft Public Health Center.

Não é, pois, ainda possível a adoção de normas ou critérios para projeto deste processo, porém dada a grande simplificação que o mesmo introduz no tratamento dos esgotos, é de todo recomendável que as autoridades sanitárias obtenham seus próprios dados e informações, montando e operando instalações deste tipo, em escala reduzida, como por exemplo o está realizando a SURSAN no Rio de Janeiro.

Este novo processo é basicamente uma modificação do sistema convencional de tratamento com lodos ativados.

As principais diferenças em relação a este, são as seguintes:

(\*) Palestra pronunciada na Associação Interamericana de Engenharia Sanitária — AIDIS — Seção do Estado do Rio Grande do Sul em 31 de Outubro de 1962.

SIMPLIFICAÇÕES INTRODUZIDAS PELO PROCESSO DE OXIDAÇÃO TOTAL NO PROJETO CONVENCIONAL

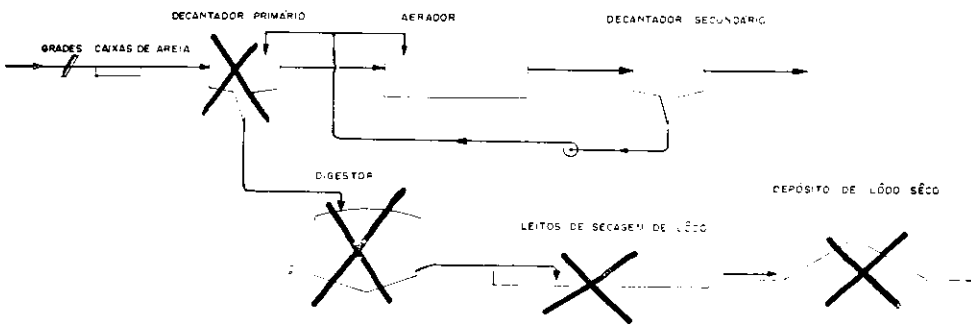


Fig. 1

- 1) Como indica a **figura n.º 1**, as unidades de decantação primária, digestão de lodos e leitos de secagem são dispensadas.
- 2) Não há excesso de lodo, operando o sistema no ponto de equilíbrio no qual a quota de crescimento da população biológica é compensada pela cota de degradação por auto-oxidação desta mesma população.
- 3) E, como este é o único ponto de equilíbrio estável natural que um sistema biológico pode trabalhar, (supondo-se evidentemente constantes as características do esgoto afluente), é o mesmo atingido naturalmente em alguns dias, apresentando o sistema apreciável característica de auto-regulação e não exigindo a atenção de um operador especializado, para o controle de índices de lodo ou outros fatores como ocorre no processo convencional de lodos ativados.
- 4) Em virtude de não haver necessidade de um descarte diário de lodo, e como nem toda a matéria orgânica pode ser oxidada, havendo sempre um resíduo ou humus de difícil oxidação, e considerando-se também a matéria mineral que não é assimilada num processo biológico, sendo porém a parte sedimentável incorporada à massa de lodos na decantação final, conclui-se que a quantidade de lodo no sistema deva aumentar forçosamente.  
Porém como os volumes dos tanques de aeração são muito gran-

des, sendo o tempo de retenção nos mesmos, da ordem de vinte a trinta horas, e como a concentração de sólidos em suspensão no aerador pode atingir a níveis elevados sem alterar a eficiência do processo, pois sendo um lodo mais mineralizado, é mais pesado que o lodo ativado convencional, e possui características de decantabilidade bastante superiores, a experiência tem indicado que em geral pode decorrer considerável período de tempo, da ordem de meses, antes que seja necessária alguma providência no sentido a reduzir esta crescente concentração de sólidos.

Nos casos então, em que é permitido um efluente com alguma turbidez, carreando sólidos mineralizados em suspensão na ordem de 50 a 100 PPM, aquele intervalo de tempo, entre descargas de lodo do aerador pode atingir a um ano ou mais.

- 5) A necessidade de oxigênio no processo de oxidação total é bem superior àquela referente ao processo convencional de lodos ativados. Enquanto neste último as estimativas de suprimento de oxigênio são feitas com bases no valor do BOD de cinco dias, e conta-se com uma redução de pelo menos 30% neste valor por efeito da decantação primária, no processo de oxidação total, o consumo de oxigênio é calculado com base no BOD de vinte dias e não há redução por efeito de decantação primária.

Portanto, o consumo de oxigênio neste caso é cerca de duas vezes maior que no processo convencional de lodos ativados.

São estas pois as principais diferenças entre este novo processo denominado "oxidação total" e o processo convencional de "lodos ativados".

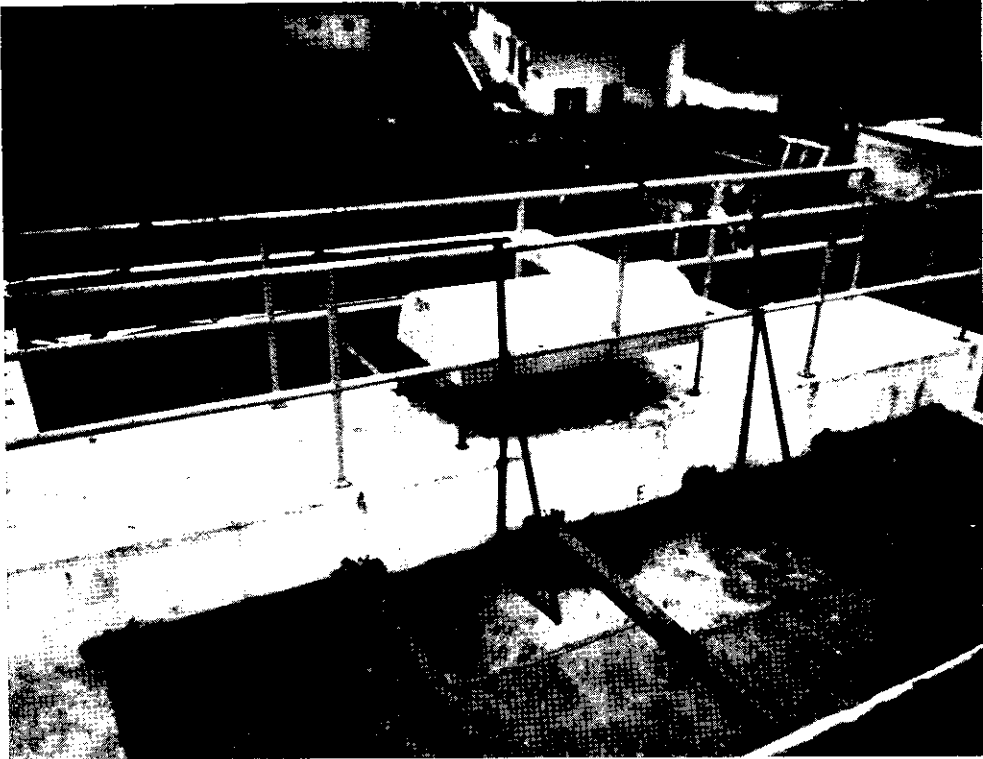


FIG. 1

Instalação de oxidação total na fábrica da OSRAN do Brasil (Osasco — S. Paulo).

A denominação oxidação total é a nosso ver um pouco infeliz. Melhor seria talvez "oxidação biológica intensa" ou "digestão aeróbica".

A eficiência do processo, é a equivalente a um tratamento biológico: superior a 80% de remoção de BOD.

A remoção de sólidos em suspensão, não é tão efetiva pois o sistema não apresenta as mesmas características de floculação que se observa no processo convencional de lodos ativados, e se verifica sempre um escape de sólidos no efluente, o qual não é transparente e cristalino, porém apresenta certa turbidez. Estes sólidos entretanto são bastante mineralizados, e não representam demanda de oxigênio.

Na instalação de Noordwijk, segundo Pasveer, com um período de aeração de 31 horas para a vazão média, obteve-se 98% de remoção do BOD, e 90% do oxigênio consumido (método do bicromato).

As companhias especializadas que oferecem equipamentos e desenhos para este tipo de instalação garantem remoções de BOD superiores a 80%, com períodos de aeração da ordem de 24 horas, para esgotos com BOD de cinco dias da ordem de 200 mg/litro, e demais características semelhantes às dos esgotos sanitários.

O dimensionamento da instalação deve satisfazer condições biológicas, imposições biológicas, limitações decorrentes dos tipos e modelos de equipamentos de aeração disponíveis, e obviamente as necessidades estruturais ditadas pela prática de boa engenharia.

Durante muito tempo, o projeto de instalação de lodos ativados, obedeceu a critérios empíricos obtidos a partir da experiência com instalações existentes. Os fatores biológicos não eram considerados então, como o são modernamente, como os predominantes no funcionamento do processo.

Entre estes fatores, a importância da relação alimento-microorganismo, relação A:M ou carga específica, desponta hoje em dia entre as demais.

Enquanto nos processos convencionais de lodos ativados, esta relação é da ordem de 0,3 a 0,4 kg de BOD — dia por kg de sólidos voláteis em suspensão no sistema, e nos processos modificados, chamados de "alta velocidade" pode

atingir a 2 ou 3 kg de BOD-dia/kg de sólidos voláteis em suspensão no sistema, no processo de oxidação total é mantida em valores inferiores a 0,1 kg BOD-dia/kg SVSS.

A população biológica, é pois mantida num estado de subalimentação, de exaustão, praticamente no limite mínimo de alimentação que impeça o seu desaparecimento gradual.

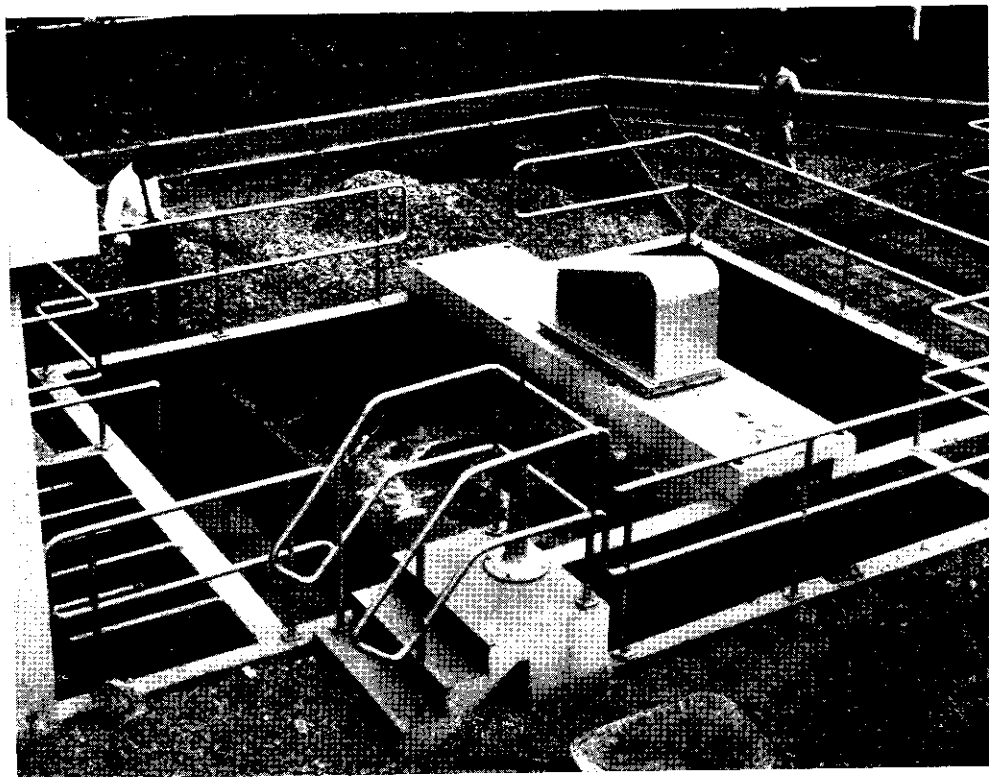


FIG. 2

Instalação de oxidação total na fábrica da SKF do Brasil (Guarulhos — S. Paulo).

O valor desta relação, A:M, para o processo de oxidação total, pode ser obtido a partir de dados de laboratório com bastante precisão.

É relativamente simples a operação em escala de laboratório, de sistemas de lodos ativados, mantidos sob diferentes condições de carga, isto é, diferentes relações A:M, de um mesmo esgoto ou resíduo industrial. É possível então medir as taxas de crescimento de lodo, correspondentes às diferentes relações A:M e correlacionar os dados obtidos.

Eckenfelder (6) obteve a seguinte correlação para o esgoto sanitário

$$\Delta S = 0.49 y - 0.035 S_a$$

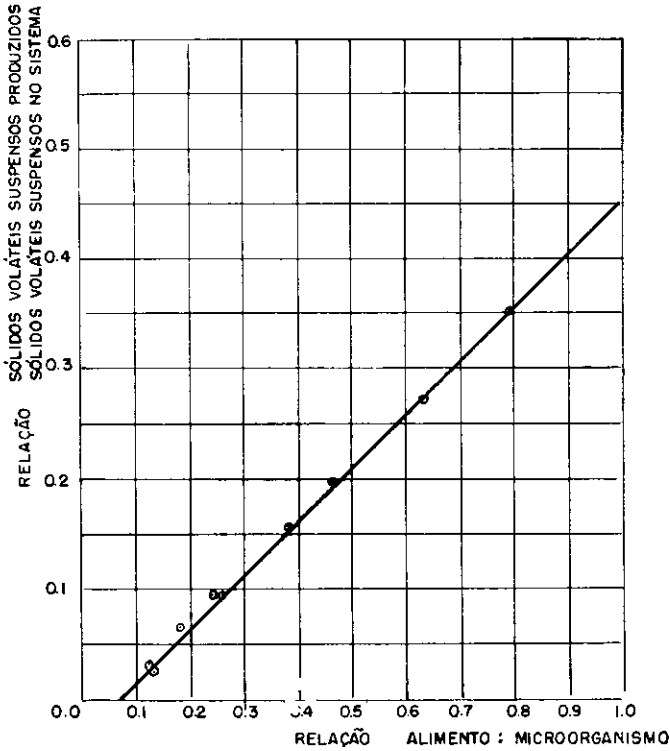
onde

$\Delta S$  = crescimento de sólidos voláteis no aerador lb/dia

$y$  = BOD removido (lb/dia)

$S_a$  = peso de sólidos voláteis (médio) no aerador lb/dia

O fator 0.49 representa a parcela do BOD removido que é transformado em material celular dos microorganismos: síntese. O fator 0,035 é a taxa de auto-oxidação do lodo, comumente representada pela constante  $K_d$  (dias<sup>-1</sup>).



RELAÇÃO ENTRE A REMOÇÃO DO BOD E A ACUMULAÇÃO DE LODO NO SISTEMA, NA OXIDAÇÃO DO ESGOTO DOMÉSTICO.

SEGUNDO W.W. ECKENFELDER

Fig. 2

Transformando a relação acima para unidades do sistema métrico obtemos:

$$\Delta S \times 10^3 = 5,3 C_R Q - 0,016 C_s Q T$$

$$C_R = \text{BOD removido} - (\text{p pm})$$

$$Q = \text{vazão} - (\text{m}^3/\text{hr})$$

$$C_s = \text{concentração de sólidos no aerador} - (\text{p pm})$$

$$T = \text{tempo teórico de retenção no aerador} - (\text{horas})$$

$$T = \text{tempo teórico de retenção no ae-}$$

Para o ponto de equilíbrio em que não há crescimento do lodo ( $\Delta S = 0$ ) deve ser satisfeita a relação:

$$C_s \cdot T \cong 330 C_R$$

a qual seria então a equação caracte-

ristica do processo biológico de oxidação total.

Exemplifiquemos a sua aplicação, considerando um esgoto com 300 ppm BOD, o qual desejamos remover na proporção de 80%.

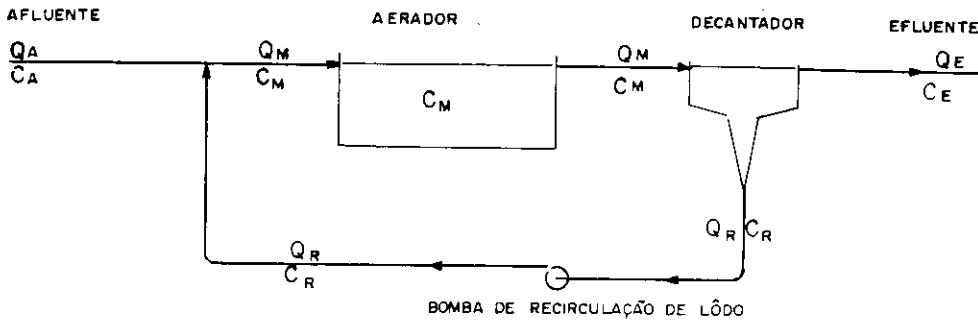
$$C_s T \cong 330 \times 240 \cong 79.200$$

Supondo por exemplo que se pretenda oxidar este esgoto em uma única bacia, que funciona alternativamente como aerador e decantador, (caso dos valos ou lagôas de oxidação), onde não é possível a concentração dos sólidos, e se deva contar com valores não superiores a 1.000 ppm de sólidos voláteis em suspensão, é necessário prever um volume capaz de permitir retenções da ordem de 80 horas ou mais.

Caso, porém, seja possível a instalação de dois tanques, ou dois compartimen-

tos separados de um mesmo tanque, sendo um deles o aerador e o outro o decantador, é possível a recirculação de um lodo concentrado, e mediante di-

mentionamento adequado do decantador e da bomba de recirculação, poderemos obter concentração no aerador, da ordem de até 10.000 p pm.



BALANÇO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO NO SISTEMA DE OXIDAÇÃO TOTAL

FIG. 3

Um balanço do material que entra e sai do aerador indicado na figura n.º 3 mostra que as concentrações de sólidos do afluente  $C_A$ , da mistura no aerador  $C_M$  e da descarga de lodo do decantador  $C_R$  estão relacionadas às vazões respectivas, pelas relações seguintes:  
Concentração na mistura:

$$C_M = \frac{Q_A C_A + Q_R C_R}{Q_A + Q_R}$$

Porcentagem de circulação

$$\frac{Q_R}{Q_A} \times 100 = \frac{C_M - C_A}{C_R - C_M} \times 100$$

Supondo por exemplo que a descarga de fundo do decantador seja um lodo com 99% de umidade e portanto  $C_R = 10.000$  p pm, e supondo ainda  $C_A = 300$  e  $Q_R = 60\%$  de  $Q_A$ , resulta

$$C_M = 4.000 \text{ p pm.}$$

Com esta concentração na mistura, a equação característica do processo biológico de oxidação total, indica ser necessário um período de aeração de

$$T = \frac{79.200}{4.000} = 19,8 \text{ horas}$$

sempre considerando um esgoto bruto com 300 p pm de BOD e válida a correlação obtida por Eckenfelder.

Há ainda possibilidade de reduzir-se este tempo de aeração e consequentemente o volume do tanque.

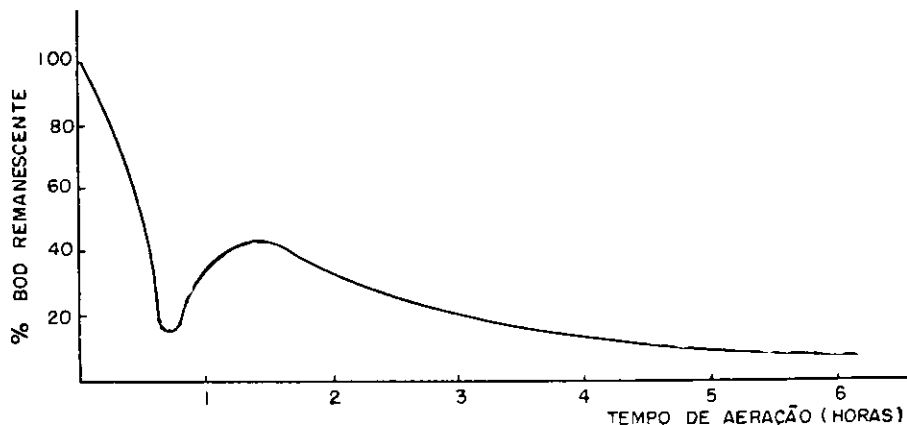
Efetivamente, para vazões já de certo vulto, um tanque para 20 ou 30 horas de retenção representa um custo inicial elevado.

Nestes casos pode-se lançar mão do fenômeno denominado "biosorption", como já tem sido feito com grande sucesso, no processo convencional de lodos ativados.

Suponhamos que uma certa quantidade de lodo ativado seja misturada ao esgoto bruto, e esta mistura colocada em vários recipientes, todos submetidos à aeração sob condições idênticas. Esta aeração é em seguida interrompida após intervalos de tempos, distintos para cada recipiente. Após a interrupção da aeração as amostras são decantadas por uma ou duas horas e o BOD do sobrenadante medido.

Obtem-se uma curva<sup>(7)</sup> como a indicada na fig. n.º 4.

Logo após o contacto, e com apenas 10 a 20 minutos de aeração, verifica-se um ponto em que o BOD do sobrenadante é mínimo. Isto é devido a adsorção inicial da matéria orgânica coloidal e em solução, pela massa de lodos. É um fenômeno físico químico.



VARIAÇÃO DO BOD DO SOBRENADANTE DA MISTURA DE LÔDO ATIVADO E ESGÔTO BRUTO INDICANDO O EFEITO DA ADSORÇÃO INICIAL.

FIG. 4

Em seguida a população biológica existente na massa de lodos entra em crescimento exponencial ao iniciar a oxidação da matéria orgânica adsorvida.

Elevando-se o nível de alimentação, cresce o estado energético dos microorganismos que passam a resistir melhor às forças fisicoquímicas de floculação. Há então uma espécie de defloculação do sistema, aumentando consequentemente o BOD do sobrenadante.

Finalmente a medida que o alimento é consumido, diminui o nível energético dos microorganismos que deixam de resistir as forças de atração e o sistema torna-se novamente floculento, reduzindo-se definitivamente o BOD do sobrenadante.

Existem, pois, dois pontos nos quais se torna teoricamente possível a obtenção de um sobrenadante de baixo BOD: lo-

go após dez ou vinte minutos de contacto ou somente depois de algumas horas de aeração.

Podemos então, nas intalações de maior porte, lançar mão desta possibilidade, como indicia a fig. 5, utilizando um pequeno tanque de contacto com apenas 30 minutos de retenção, e um tanque de aeração do lodo, no qual poderemos ter 20 ou 30 horas de retenção, porém no qual a concentração de sólidos é 3 ou 4 vezes maior do que a do tanque de mistura, e consequentemente o volume 3 a 4 vezes menor.

O decantador secundário é dimensionado de forma análoga à usada no projeto de uma instalação convencional de lodos ativados.

Verifica-se, pois, que os fatores biológicos e hidráulicos estão bastante in-

ESQUEMA DE INSTALAÇÃO DE OXIDAÇÃO TOTAL PARA MAIORES VAZÕES

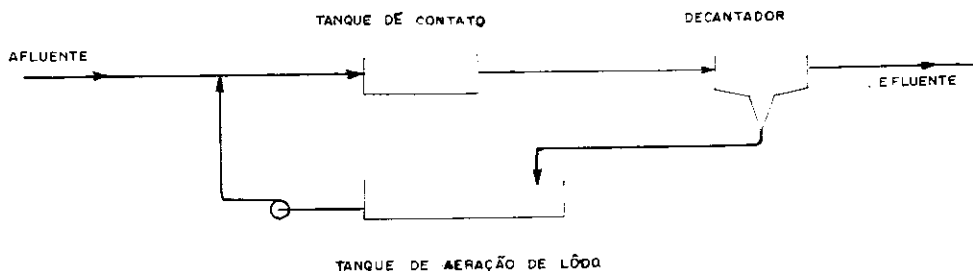


FIG. 5

terrelacionados no desenho de uma instalação deste tipo.

Com relação aos equipamentos para aeração, devemos indicar que os recentes progressos realizados no campo dos aeradores mecânicos superficiais, tornaram praticamente obsoletas as instalações de insuflamento de ar através de difusores.

Dois tipos de aeradores superficiais, são oferecidos pelos fabricantes especia-

lizados: a turbina de eixo vertical, e o rotor de eixo horizontal, tipo "escova de Kessener".

A turbina de eixo vertical, representada esquematicamente na figura n.º 6 consta de uma placa circular plana dotada de pás planas radiais, sendo colocada ligeiramente submersa (alguns centímetros) quando parada. Em movimento, a superfície do líquido adquire o perfil indicado em pontilhado na figura.

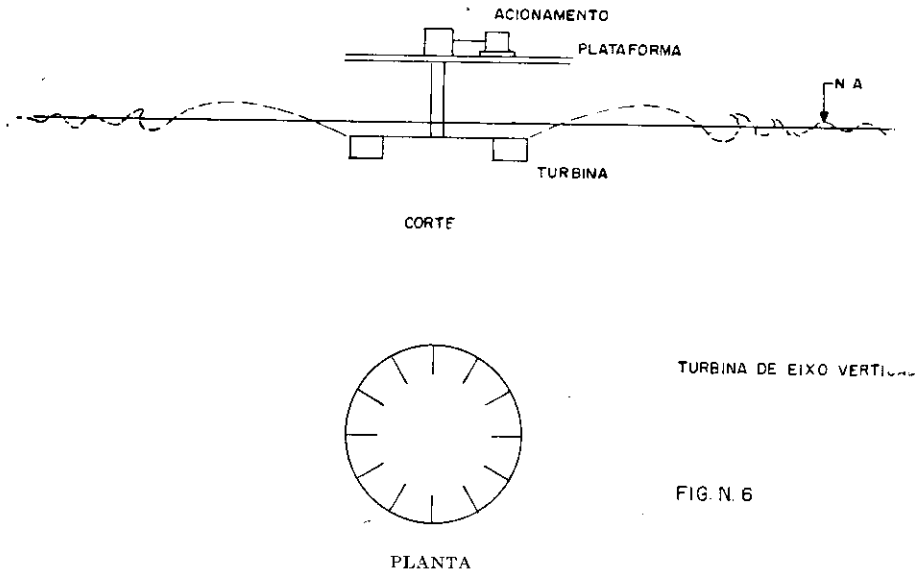


FIG. N. 6

A face superior da turbina fica livre de líquido e em contacto directo com a atmosfera.

Orifícios situados nesta placa e do lado posterior das pás (considerado o sentido de rotação), possibilitam a sucção do ar o qual é intimamente misturado ao líquido, antes mesmo de ser este, descarregado periféricamente pelo rotor.

Forma-se a seguir um espécie de resalto hidráulico de simetria cilíndrica, o qual promove também o "entranhamento" de considerável quantidade adicional de ar.

Finalmente, o próprio desenho do rotor é tal, que possui alta capacidade de revolvimento ou mistura do líquido, apresentando forte sucção até profundidades de 3 ou 4 metros e agitando intensamente a massa líquida a distâncias da ordem de cinco ou mais diâmetros, prestando-se portanto de forma

eficiente para ser empregado em tanques ou lagôas de grandes dimensões.

Estes rotores<sup>(8)</sup> são capazes de introduzir oxigênio na água em condições "standard" com eficiência da ordem de 0,3 KWH/kg O<sub>2</sub>, aproximadamente com com 1/3 da potência que é necessária no clássico sistema de difusores de ar comprimido.

Os rotores de eixo horizontal, tipo escova, também passaram por grandes aperfeiçoamentos podendo alcançar eficiências de oxigenação comparáveis a acima mencionada. Entretanto, não possuem a característica de induzirem turbulência a grandes distâncias, sendo portanto mais apropriados para instalação em tanques de pequenas dimensões.

Finalmente, com referências às necessidades estruturais das unidades que compõem o sistema desejamos ressaltar a possibilidade da construção de bacias



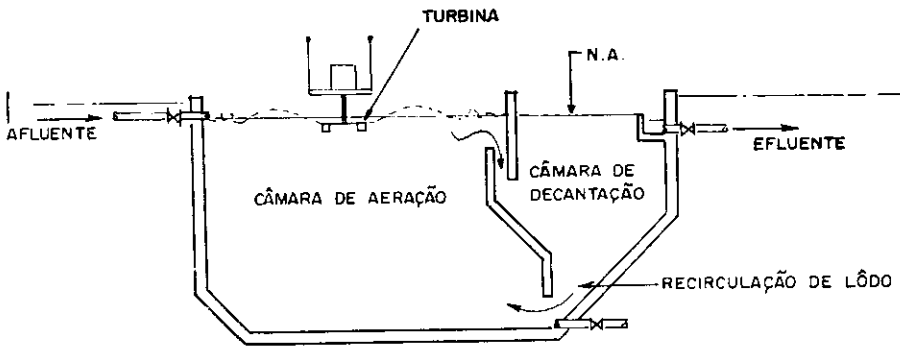
de aeração de grande volume por custos relativamente baixos, montando os aeradores em plataformas suportadas por colunas ou estacas ou mesmo flutuantes. Sempre que o terreno permitir taludes de 1:1 por exemplo, a estrutura de concreto pode ser dispensada e substituída por um simples revestimento do talude com pedras arranjadas a mão. O fundo da bacia poderá ser constituído pelo próprio solo natural, tendo-se apenas o cuidado de executar uma pequena laje sob os aeradores para evitar erosão por efeito da sucção.

Os decantadores secundários deverão ser construídos da forma convencional,

entretanto, devendo ser dotados de cortinas retentoras de espuma e dispositivos para recirculação da mesma ao aerador.

A prolongada aeração, provoca uma nitrificação intensa do esgoto, e tem sido observado alguma flutuação e arrastamento de lodo por efeito do desprendimento de nitrogênio.

Para as instalações de menor tamanho, a aeração e a decantação podem ser realizadas num mesmo tanque como indica a figura n.º 7.



INSTALAÇÃO COMPACTA DE OXIDAÇÃO TOTAL

FIG. 7

Como conclusão queremos registrar que o campo de aplicação deste processo é muito vasto. Unidades padronizadas são oferecidas para pequenas vazões (até um máximo de 500 m<sup>3</sup> diários), de hotéis, aeroportos, hospitais, quartéis, restaurantes de rodovias, clubes de campo, penitenciária, indústrias até 5.000 operários, vilas até 2.500 habitantes.

Instalações de maior porte podem ser estudadas e poderão ser economicamente justificáveis, para populações da ordem até de 10 a 20 mil habitantes.

Uma outra possibilidade surge promissora, com a idéia de se utilizar o processo de oxidação total como modo de operação inicial, numa primeira fase, de uma instalação convencional de lódas ativadas.

Com efeito, o critério tradicional de classificar o tratamento físico do esgoto ou processos de sedimentação, como tratamento primário, justificava-se por-

que não se sabia de nenhum processo biológico (tratamento secundário) que pudesse ser executado sem ser **precedido** pelo tratamento primário.

Com a introdução do processo de oxidação total, entretanto, este critério ficou abalado, e havendo possibilidade de iniciar-se a operação de uma instalação diretamente com um processo biológico classificado até hoje como tratamento secundário, final ou completo, é razoável que se examine a viabilidade econômica do mesmo.

Ora, as instalações de maior vulto, são geralmente projetadas para serem construídas por etapas, acompanhando o crescimento demográfico da bacia a que atendem. As instalações de porte médio prevêm geralmente 2 a 3 etapas. Construídas que sejam inicialmente as instalações de aeração, correspondentes à capacidade final, haverá em relação à vazão inicial um tempo de aeração

compatível com a operação de um processo de oxidação total.

Com relação ao custo das obras civis, acreditamos que o acréscimo correspondente à construção dos tanques de aeração de duas etapas por exemplo, seja compensado pela economia feita pela eliminação dos digestores e leitos de secagem.

Haveria possivelmente um aumento no custo dos equipamentos, porém o rendimento da instalação seria bem maior e o preço do quilo de BOD removido talvez fosse ainda menor do que o do tratamento primário.

Por outro lado a operação da estação seria muito simplificada, principalmente pela eliminação dos problemas de digestão e disposição de lodos.

A medida do crescimento da população e do aumento da carga orgânica na instalação, seriam então construídas as unidades que hoje chamamos de primárias, decantadores primários e digestores, e a estação passaria a operar pelo processo convencional de lodos ativados como projetada inicialmente.

Acreditamos que o processo de oxidação total, venha influir sobre uma possível reformulação dos conceitos tradicionais de tratamento primário e secundário dos esgotos, além de no futuro vir a ocupar a posição que tem sido até hoje monopolizada pelo tradicional tanque Imhoff.

#### BIBLIOGRAFIA:

- 1 — N. PORGES, L. JASEWICZ, S. HOOVER. Principles of Biological Oxidation Conference on Biological Oxidation — Manhattan College — New York — 1955.
- 2 — A. A. PASVEER. New developments in the application of Kessener Brushes in the activated-sludge treatment of trade waste waters. Proceedings of the second symposium on the treatment of waste waters King's College, New Castle Upon Tyne — 1959.
- 3 — Mc KINNEY R. S., SYMONS J. M., SHIFRIN W. G., VEZINA M. Design and operation of a complete mixing activated sludge system. Jr. of Federation of Sewage and Ind. Wastes — vol. 30 n.º 3 — 1958.
- 4 — TAPLESHAY J. H. Total oxidation treatment of organic wastes Jr. of Federation of Sewage and Ind. Wastes vol. 30 n.º 5 — 1958.
- 5 — TELETZKE G. H. Packaged Sewage Disposal Plants Progressive Architecture July — 1960.
- 6 — ECKENFELDER Jr. W. W., O'CONNOR D. J. Biological Waste Treatment Manhattan College Pergamon Press — 1961.
- 7 — MC KINNEY R. E. Microbiology for Sanitary Engineers — pg. 230 — McGraw-Hill — 1962. Pg. 230.
- 8 — KALINSKE A. A. Recent Advances in Use of Activated Sludge Process for Sewage and Waste Treatment — 1.º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária — 1960.