

Curso de Tratamento de Águas Residuárias

ENG. JOSÉ M. DE AZEVEDO NETTO

Professor Catedrático da Faculdade de Higiene e Saúde Pública da Universidade de São Paulo.

(continuação)

CAPÍTULO X

TRATAMENTO EM LAGOAS LAGOAS DE OXIDAÇÃO — LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

10.01 — Terminologia e classificação

O tratamento das águas residuárias em “lagoas artificiais de esgotos” difere, em princípio, dos processos já mencionados de irrigação e tratamento sobre o terreno.

Uma lagoa de tratamento é uma obra destinada à depuração de resíduos líquidos de natureza orgânica mediante processos físicos, químicos e principalmente biológicos:

Processos físicos: Decantação, mistura, dispersão e aeração.

Processos químicos: Precipitação de matéria coloidal e de algumas substâncias dissolvidas.

Processos biológicos: Decomposição da matéria orgânica pela ação de bactérias e microorganismos.

As lagoas geralmente são rasas e formadas por escavações e diques de terra.

Oswald sugere a classificação das lagoas de acordo com as condições biológicas de operação em:

- 1 — **Lagoas anaeróbicas:** Nas quais a matéria orgânica é decomposta por bactérias produtoras de metano. Em geral são mais profundas (1,30 — 3,00 m) e recebem maiores cargas de BOD (acima de 450 kg/hect. dia).
- 2 — **Lagoas facultativas:** Onde ocorrem simultaneamente os processos aeróbios (camadas superiores do líquido) e anaeróbios (junto ao fundo). A maioria das lagoas em operação enquadra-se nesta categoria, embora essas lagoas sejam comumente chamadas de aeróbias. A profundidade geralmente é inferior a 1,50 m e as cargas de BOD não ultrapassam 150 kg/hect. dia.
- 3 — **Lagoas aeróbias:** Neste caso a matéria orgânica é elaborada exclusivamente pela oxidação (condições aeróbias). Essas condições podem ser mantidas em lagoas **rasas** pela ação fotosintética, com grande produção de algas que são retiradas periodicamente (“colheita”) ou asseguradas por processos mecânicos de aeração, com retirada de lodo. Estas lagoas podem receber cargas de BOD superiores a 150 kg/hect. dia.

Parker e colaboradores desenvolveram na Austrália a técnica de tratamento com lagoas anaeróbias seguidas de lagoas aeróbias, conseguindo maior eficiência.

10.02 — Origem

O processo não pode ser considerado novo, mas vem sendo aplicado a problemas novos.

As lagoas anaeróbias vêm sendo investigadas na Austrália desde 1940, juntamente com as lagoas aeróbias de estabilização.

No sudoeste dos Estados Unidos as lagoas vêm sendo aplicadas como tratamento secundário ou tratamento terciário, desde 1920.

Durante a última guerra (1942-1944) foram construídas diversas lagoas para tratamento dos efluentes de acampamentos e instalações militares (tratamento secundário).

Logo após o término da guerra foram executadas muitas lagoas para receber efluentes de tratamentos primários em pequenas comunidades do Estado do Texas.

A primeira lagoa projetada para tratar esgotos brutos foi executada em 1948, na pequena cidade de Maddock, North Dakota.

Desde então foram construídas muitas lagoas para receber esgotos brutos e promover o tratamento completo, nas Dakotas.

Atualmente (1964), estima-se em mais de 1 000 o número de lagoas de estabilização em funcionamento nos Estados Unidos. No Estado da Califórnia 125 municipalidades pequenas e mais de 300 indústrias utilizam-se do processo.

10.03 — Aplicações

Para pequenas comunidades, com condições de clima e terreno favoráveis, as lagoas de estabilização constituem um método de tratamento simples, econômico e bastante eficiente.

Os resultados obtidos são comparáveis aos das instalações convencionais de tratamento completo.

Elas podem ser aplicadas:

- a) Para tratamento completo (recebendo águas residuárias brutas);
- b) Para tratamento secundário (recebendo efluentes do tratamento primário);
- c) Para tratamento terciário (recebendo efluentes do tratamento secundário).

O terceiro caso apresenta-se quando se torna necessária maior depuração ou quando se deseja aproveitar os efluentes para irrigação ou outras finalidades.

Das lagoas construídas na bacia do Missouri, 63% recebem esgotos brutos.

O processo aplica-se às pequenas comunidades, sempre que:

- i. O clima permitir o desenvolvimento de algas durante todo o ano: Regiões quentes de grande radiação solar e de clima árido;
- ii. Onde houver terrenos baixos, pouco acidentados, suficientemente afastados das zonas residenciais, com área adequada e de custo baixo.

A segunda condição geralmente afasta o processo das grandes cidades. Embora na grande maioria dos casos as lagoas de estabilização tenham sido empregadas em comunidades com menos de 15 000 habitantes, há alguns casos em que elas foram consideradas para populações muito maiores.

As lagoas de estabilização têm sido adotadas com sucesso no tratamento de resíduos industriais de natureza orgânica tais como: indústrias de conservas, indústrias alimentícias, indústria de açúcar, matadouros e frigoríficos, laticínios etc.

10.04 — Vantagens do processo

O tratamento em lagoas prescinde de equipamentos e de energia elétrica. Apresenta alta eficiência, custo inicial baixo, despesas de operação e manutenção baixas, grande flexibilidade, possibilidade de receber sobrecargas e sobretudo simplicidade de operação.

10.05 — Mecanismo do processo nas lagoas aeróbias

As ações que se realizam numa lagoa de estabilização são semelhantes às que têm lugar em rios e lagos naturais.

A matéria orgânica contida nos líquidos residuários é elaborada por bactérias aeróbias transformando-se em CO_2 amônia e outras substâncias nutritivas para algas. Estas substâncias, o líquido e a luz solar constituem o meio adequado para o desenvolvimento de algas, as quais consomem o CO_2 e pela fotossíntese produzem o oxigênio necessário à manutenção das condições aeróbias e desenvolvimento das bactérias.

Com o desenvolvimento de bactérias, novas quantidades de matéria orgânica se tornam necessárias (alimento), sendo supridas pelo esgoto influente.

Nas lagoas processa-se também a mistura, a dispersão e a decantação de matérias contidas nos esgotos. Os sólidos orgânicos que se depositam entram em decomposição em condições aeróbias ou eventualmente anaeróbias, pelo menos em parte, dependendo da sua posição em relação ao meio circundante.

A dispersão se faz por meio de correntes internas e pela agitação provocada pelos ventos.

O teor de oxigênio dissolvido pode atingir durante o período diurno, valores acima da saturação: 40 ppm ou até mesmo mais (saturação = 9 ppm a 21 °C).

A quantidade de oxigênio introduzida pela aeração superficial é pequena. A grande contribuição é devida à fotossíntese: mais de 1,5 kg de OD por kg. de alga.

Em muitas lagoas tem se verificado o desenvolvimento de peixes.

O tempo de "amadurecimento" é relativamente curto.

Entre as algas mais comumente encontradas incluem-se *Chorela*, *Scenedesmus*, *Euglena*, *Chlamydomonas* etc.

10.06 — Tratamento anaeróbio-aeróbio

Parker e colaboradores, em experiências realizadas na Austrália verificaram a possibilidade de obtenção de melhores resultados construindo-se lagoas em série, com condições anaeróbicas iniciais e aeróbicas finais.

A experiência australiana apresenta os seguintes dados básicos:

Lagoa anaeróbica: 500 a 765 kg/hect. dia

Lagoa aeróbica: 70 a 110 "

Os resultados variam de acordo com as estações do ano (Temperaturas médias: Inverno: 11 °C e verão 10 °C).

As experiências de São José dos Campos (Est. de São Paulo), conduzem aos seguintes dados:

Lagoa anaeróbica: 730 kg/hect. dia

Lagoa aeróbica: 106 "

De acordo com Parker a relação ótima entre áreas das lagoas anaeróbia/aeróbia é de 1:5.

10.07 — Fatores intervenientes no funcionamento das lagoas

1 — Fatores locais, incontroláveis:

- a) Luz solar
- b) Temperatura
- c) Ventos

2 — Fatores relacionados ao projeto:

- a) Localização
- b) Número de unidades
- c) Disposição
- d) Forma
- e) Carga aplicada
- f) Área
- g) Profundidade

- h) Período de detenção
- i) Diques
- j) Condições de fundo
- l) Dispositivos de entrada, de saída e de descarga.
- m) Manutenção de nível.
- n) Complementos.

10.08 — Fatores locais

a) Luz solar

A radiação solar varia com a latitude, com a altitude e com condições locais de nebulosidade, havendo, portanto, regiões mais favoráveis do que outras à aplicação do método.

Unidade de medida: Langleys/dia.

b) Temperatura

Existe uma correlação entre a temperatura do ar e a temperatura nas lagoas, tão mais pronunciada quanto menor fôr a profundidade da lagoa. Temperaturas muito baixas, a ponto de congelar a superfície das lagoas são inconvenientes para o processo.

Temperaturas muito elevadas podem favorecer o desenvolvimento de algas verde-azuladas, que podem provocar mau cheiro.

c) Ventos

A agitação provocada pelos ventos é benéfica porque favorece a aeração superficial, promove a dispersão de sólidos e a mistura de oxigênio dissolvido na massa líquida.

As ondas provocadas pela ação dos ventos podem provocar a erosão das margens.

10.09 — Dados locais

Os serviços meteorológicos publicam periódicamente os resultados de observações de grande interesse para a avaliação dos fatores locais.

Nos Estados Unidos êsses resultados são divulgados sob a forma de cartogramas.

Os dados apresentados a seguir são típicos dos elementos disponíveis em nosso país:

OBSERVAÇÕES METEOROLÓGICAS — 1938

Cidade	Nebulosidade 1-10	Insolação Horas	Temper. Média °C	Ventos vel. med.	Precip. mm	Evap. mm
Fortaleza	3,5	2 534	26,5	1,5	1 586	747
Natal	5,8	2 986	26,2	7,5	1 188	1 724
Olinda	6,0	2 895	25,6	4,8	1 889	1 124
Salvador	4,8	2 863	24,9	3,4	1 915	990
Rio de Janeiro	5,2	2 560	22,9	3,7	1 118	997
São Paulo	7,4	...	19,0	420
Curitiba	7,1	1 943	16,3	3,6	1 642	664
Porto Alegre	5,5	2 249	19,3	2,0	1 388	683
Belo Horizonte	4,4	2 459	21,1	1,3	1 404	759

10.10 — Fatores relacionados ao projeto

a) Localização

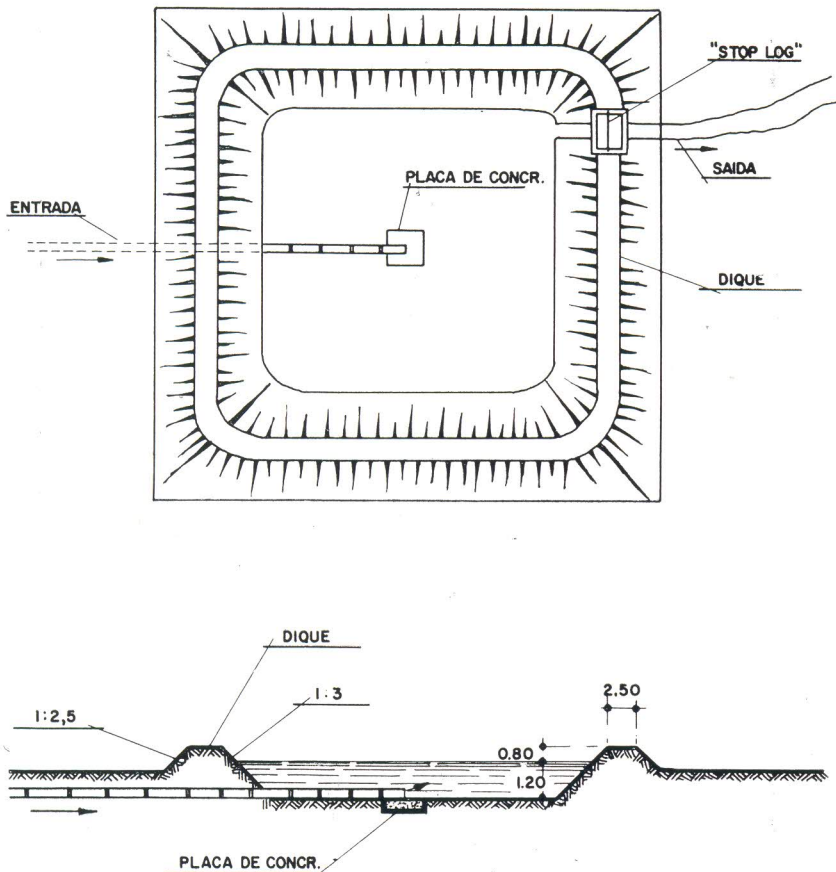
Embora existam lagoas de estabilização nas proximidades de bairros residenciais, recomenda-se que essas obras sejam executadas pelo menos a uma distância de 1000 metros de áreas urbanizadas e 500 metros de residências isoladas.

Deve-se dar preferência ao lado para o qual os ventos predominantes sopram.

A proteção de mananciais e águas subterrâneas eventualmente aproveitadas, o escoamento por gravidade, as características do solo, as disponibilidades de terreno e seu custo são outros pontos a serem considerados. Deve-se evitar a introdução nas lagoas de águas pluviais das áreas vizinhas.

b) Número de unidades

Pode-se executar uma ou mais lagoas. Em um grande número de casos tem sido adotada a lagoa única, particularmente quando os terrenos são dispendiosos.



**LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO
COM CELULA ÚNICA (ESQUEMA)**

No caso de lagoas múltiplas pode-se considerar:

- 1 — Lagoas em paralelo;
- 2 — Lagoas em série.

Com a primeira disposição ganha-se flexibilidade, com vantagem para o início de operação, uma vez que o enchimento demorado pode ocasionar dificuldades.

Nas lagoas em série que recebem esgoto bruto a primeira deverá ser projetada dentro de limites aceitáveis de carga para evitar deficiências do oxigênio (Os sólidos sedimentáveis ficam retidos na primeira lagoa).

c) **Forma**

Com o objetivo de se reduzir as possibilidades de acumulação de escumas e depósitos indesejáveis devem ser evitadas as formas irregulares, reentrâncias, "ilhas", etc., sobretudo para as lagoas que recebem esgoto bruto. Como medida econômica procura-se aproveitar as condições topográficas locais. Entretanto a forma preferida é a que se aproxima da quadrada.

d) **Carga aplicada**

A maneira usual de se exprimir a carga aplicada a uma lagoa de estabilização é em kg de BOD (5 dias) por hectare, por dia. Costuma-se também estabelecer o número de pessoas servidas por hectare.

A experiência Norte Americana indica como valores recomendáveis 10 a 50 kg BOD₅ dias/hectare por dia.

Valores usuais nas Lakotas: 10 a 20 kg BOD hect. por dia

Valores usuais no Texas: 20 a 50 " " "

e) **Área**

Conhecida a população futura a ser servida, BOD₅, a contribuição de esgotos per capita (q), e estabelecida a carga admissível C, pode-se determinar a área da lagoa (hectares):

$$\text{Área} = \frac{\text{Pop} \times \text{BOD} \times q}{100 \cdot C}$$

Com base na contribuição de 200 litros/cap. e na carga máxima de 50 kg BOD₅/hect. por dia, obtém-se os dados seguintes:

População	Contribuição m ³ /dia	Área min. da lagoa, m ²		
		BOD = 250	BOD = 300	BOD = 350
100	20	1 000	1 200	1 400
200	40	2 000	2 400	2 800
300	60	3 000	3 600	4 200
500	100	5 000	6 000	7 000
750	150	7 500	9 000	10 500
1 000	200	10 000	12 000	14 000
1 500	300	15 000	18 000	21 000

As primeiras lagoas projetadas para as instalações militares Norte Americanas foram dimensionadas na base de 250 a 500 pessoas por hectare.

Nos países tropicais a carga aplicada pode superar 100 kg/hectare dia.

Na Rodésia do Sul (África) têm sido obtidos bons resultados em lagoas que recebem efluentes de 2 000 pessoas por hectare (150 kg BOD₅/hectare dia).

Em Kenya, também na África, foram obtidos bons resultados com taxas de aplicação ainda mais elevadas: até 225 kg/hectare.dia.

f) **Tamanho**

Parker indica o tamanho máximo ideal de 4 hectares por célula facultativa. Existem, entretanto, em operação lagoas com mais de 50 hectares. Nos Estados Unidos os tamanhos mais comuns estão compreendidos entre 3 e 20 hectares.

g) **Profundidade**

Sob o ponto de vista de produção de oxigênio a profundidade ótima não deveria ultrapassar 0,60 m. Entretanto, para se evitar o desenvolvimento excessivo de algas e sobretudo de plantas aquáticas com raízes, que estimulam a propagação de mosquitos, a profundidade deve ser superior a 0,75 m. As lagoas de grande área geralmente são mais profundas do que as lagoas pequenas.

Em climas quentes a profundidade deve ser superior a 0,90 m para que a temperatura do líquido não sofra oscilações muito grandes.

Profundidades comuns: 0,75 a 1,50 m. Segundo Parker a profundidade ótima para lagoas facultativas está compreendida entre 0,75 e 0,90 m.

h) **Período de detenção**

O projeto das lagoas não se baseia em períodos de permanência.

Pode-se, contudo, verificar o período usual para as lagoas aeróbias projetadas em condições normais: 25 a 250 dias.

Em grandes instalações Norte Americanas o período de detenção está compreendido entre 40 e 120 dias.

Com o sistema anaeróbio-aeróbio reduz-se substancialmente o período de detenção (São José dos Campos: 20 dias, total).

Os diques laterais, de terra **compactada**, devem ter uma secção regular para dificultar o desenvolvimento de plantas aquáticas e devem ser tanto quanto possível impermeáveis. Com êste objetivo deve-se examinar as condições da terra a ser utilizada na sua construção.

Sempre que fôr previsto o emprêgo de veículos na manutenção deverá ser considerado o acesso, adotando-se para a parte superior dos diques uma largura mínima de 2,5 a 3,0 metros.

Os taludes internos devem ser de 3 ou de 4 para 1. Os taludes externos poderão ser de 2,5 ou de 3 para 1. Taludes muito acentuados exigem uma boa compactação do material durante a execução. A borda livre deverá ser no mínimo de 0,60 a 1,00 m (0,60 m é considerado o valor mínimo para lagoas pequenas). A proteção das margens pode ser feita com grama, pedras ou asfalto.

i) **Fundo**

O fundo das lagoas deve ser praticamente em nível. Antes de entrar em operação deverá estar livre de plantas, raízes etc.

O fundo deve ser compactado e deixado tão uniforme quanto praticável, tolerando-se variações de profundidade inferiores a 15% em relação à profundidade média.

j) **Dispositivos de entrada, de saída e descarga**

Na maioria das lagoas em funcionamento as águas residuárias são conduzidas para o interior das lagoas por uma canalização assentada no

fundo. Nas lagoas pequenas essa canalização pode descarregar no centro e nas lagoas muito grandes o ponto de descarga deve ser longe dos bordos para evitar efeitos sobre o talude e facilitar a circulação. Neste caso, o emprêgo de entradas múltiplas pode apresentar vantagens.

A extremidade de descarga da canalização poderá ser dotada de uma curva voltada para cima, ficando apoiada sobre uma placa protetora, de concreto. A experiência, contudo não mostra vantagens desse dispositivo, podendo-se pois adotar uma simples descarga.

A saída geralmente é executada em um dos cantos da lagoa, podendo ser constituída por uma caixa de alvenaria, com pranchas de vedação removíveis ("stop-logs"). Essas pranchas permitem fazer variar o nível da lagoa, dando maior flexibilidade à operação.

Esse próprio dispositivo poderá servir como descarga da lagoa.

Eventualmente pode vir a se tornar necessária a limpeza de uma lagoa.

É desejável, por isso, a instalação de uma descarga.

m) **Manutenção de nível**

O funcionamento adequado de uma lagoa de estabilização exige a manutenção de um nível mínimo, conforme já foi considerado.

Para que uma lagoa tenha efluente é necessário que a vazão dos esgotos somada à precipitação atmosférica seja maior do que a evaporação mais a infiltração.

Nas lagoas projetadas para terem efluentes, poder-se-á variar o nível d'água em função desses fatores.

Em certos casos a evaporação local poderá superar a precipitação e nessas condições poderá se tornar necessário o "contrôle" da infiltração, para reduzi-la.

Em algumas instalações tornou-se necessário o recurso da impermeabilização do fundo e dos diques laterais com argila compactada.

n) **Complementos**

As lagoas devem ser cercadas para impedir a entrada de gado.

Recomenda-se ainda a colocação de placas indicativas da natureza da obra. (Nos Estados Unidos já tem sido encontradas famílias acampadas junto às lagoas, assim como pessoas pescando nas suas águas).

10.11 — **Operação e custos**

O fato de proporcionarem, as lagoas de estabilização, uma solução simples e muitas vezes econômicas não deve levar à crença de que elas prescindam inteiramente de cuidados de manutenção e de operação adequada.

Na sua manutenção devem ser considerados:

- 1 — Proteção permanente contra a erosão;
- 2 — Combate ao desenvolvimento de plantas aquáticas que possam favorecer a propagação de insetos (mosquitos).
- 3 — Afastamento de animais que fazem buracos.
- 4 — Contrôle de nível.

A vegetação nos diques deve ser carpida uma ou duas vezes por ano.

Nos Estados Unidos o custo total de lagoas de estabilização geralmente varia de US\$ 3,00 a US\$ 30,00 per capita, sendo que o valor do terreno necessário representa a maior parcela de custo.

10.12 — Resultados

Os efluentes de lagoas de oxidação comparam-se em qualidade aos efluentes de instalações convencionais de tratamento completo, podendo, pois, ser lançados de maneira análoga.

Os resultados médios de várias lagoas de estabilização dos Estados de Dakota na América do Norte, que recebem esgotos sem qualquer tratamento prévio correspondem a uma redução de 90% no BOD e 93% no número mais provável de coliformes.

Êsses resultados são os que se poderiam esperar em boas instalações de filtração biológicas e estão próximos dos resultados obtidos pelo processo de lodos ativados.

O quadro apresentado a seguir resume os resultados referentes as lagoas de cinco cidades de Dakota do Sul e Dakota do Norte, tôdas elas recebendo esgotos brutos:

	Kadoka S.D	Wall S.D	Lemmon S.D	Maddock N.D	Wishek N.D
População	584	556	2 760	741	1 241
Área, hect.	1,2	3,6	11,0	4,7	3,2
Carga, Kg BOD/hect.	25,5	7,8	7,6	10,4	14,6
Popul./hect.	485	154	250	158	390
BOD esg. bruto, ppm	380	315	186	237	207
BOD efluente, ppm	36	41	19	10	32
Redução	90,4%	87,1%	89,6%	95,8%	84,3%
NMP — Redução	99,5%	91,5%	79,5%	97,5%	97,9%

Nota: As instalações de Wall, Maddock e Wishek não têm efluentes. Os resultados apresentados correspondem às médias de determinações feitas nas águas das lagoas a uma distância de 15 m da entrada.

Uma das conclusões das Autoridades Americanas que investigaram o processo é a seguinte: “Como qualquer outro sistema de tratamento, as lagoas de estabilização apresentam simultaneamente vantagens e inconvenientes. Elas não devem ser tomadas como uma panacéia para todos os problemas de tratamento de esgotos, mas devem ser consideradas nos estudos técnicos e econômicos para o tratamento de águas residuárias”.

10.13 — Resultados nacionais

Com o objetivo de conhecer o comportamento de lagoas de oxidação em nosso meio e de obter dados locais necessários aos projetos, a Fundação S.E.S.P. há alguns anos resolveu executar uma instalação piloto em São José dos Campos (Estado de São Paulo), tendo contado com a cooperação do Governo do Estado (Serviço do Vale do Paraíba) e da Prefeitura Municipal.

Foram construídas as seguintes unidades:

- a) Lagoa aeróbica com cerca de 42,4 hectares.
- b) 2 lagoas em série, uma anaeróbia com cerca de 0,72 hectares e outra aeróbia com cerca de 2,16 hectares.

O sistema de tratamento anaeróbio-aeróbio, entrou em funcionamento em dezembro de 1960, usando parte do esgoto da cidade de São José dos Campos. Êsse esgoto antes de ser recalcado para as lagoas passa por uma grade e por uma caixa de areia.



Fig. 2

Lagôa aeróbia de S. José dos Campos. Aspecto da limpeza das margens e do vertedor de esada
(Foto: Benoit A. Victorette).

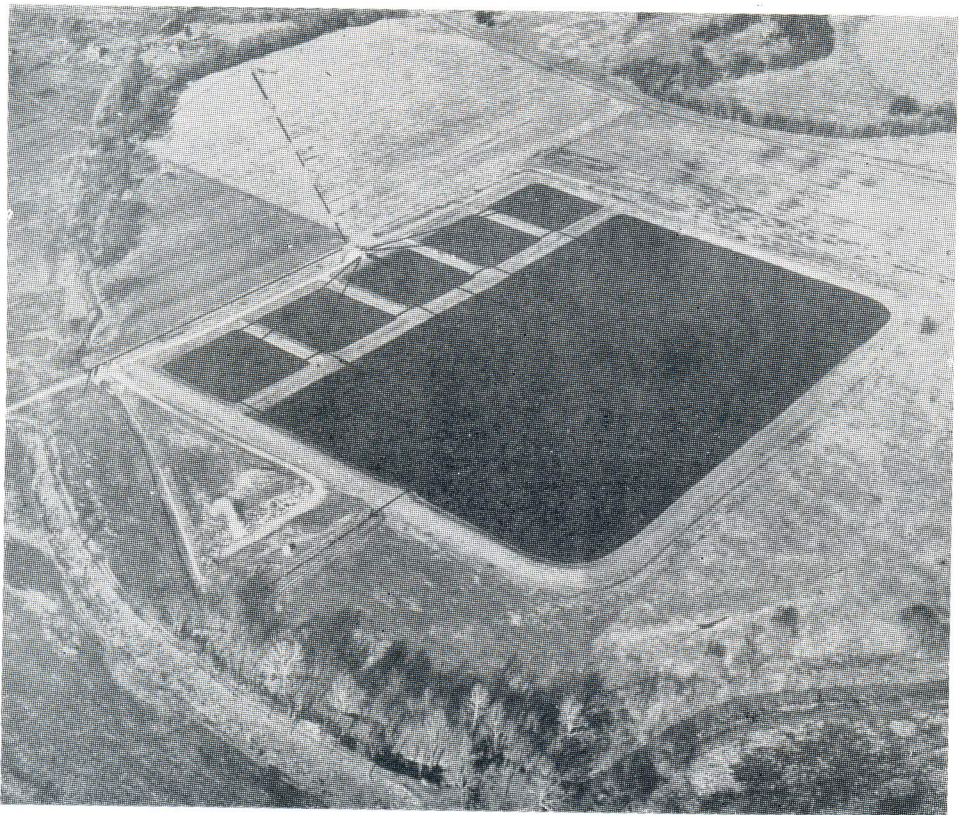


Fig. 3

Fotografia aérea das lagôas de estabilização de Fayette (Estados Unidos)

Desde o início da operação foram mantidas as seguintes condições de trabalho:

- a) Vazão média — 19 l/seg.
- b) Altura d'água 1,0 m (idêntica nas duas lagoas).
- c) Período de detenção:
 - 1 — Lagoa anaeróbia — 4,5 dias
 - 2 — Lagoa aeróbia — 13 dias
- d) Carga de BOD.
 - 1 — Lagoa anaeróbia — 730 Kg/hectare dia
 - 2 — Lagoa aeróbia — 106 Kg/hectare dia

As águas residuárias provenientes de uma população de cerca de 11-700 habitantes apresentavam BOD médio de 320 ppm e NMP médio de 77×10^6 por 100 ml.

As duas lagoas (anaeróbia e aeróbia) foram operadas em série.

Determinações feitas em 1960 revelaram os seguintes resultados:

Efluente da lagoa anaeróbia:

BOD	145 ppm
Redução	83%
Coliformes (NMP)	$37,8 \times 10^3$
Redução	99,1%

Resultado global

BOD	95,5%
Coliformes	99,9%

Durante todo o ano houve ausência completa de odores ofensivos. Foi observado que o crescimento de vegetação na linha d'água favorecia uma intensa proliferação de mosquitos e caramujos planorbídeos. Depois de ter sido removida a vegetação não foi mais notada a presença de mosquitos e os poucos caramujos encontrados estavam mortos ou hibernados.

O trabalho de operação e manutenção das lagoas foi feito satisfatoriamente por um único homem e consistiu principalmente em conservar os taludes e evitar desenvolvimento da vegetação nas margens.

10.14 — Contrôlo de laboratório — análises

A diretriz recomendável para todo o trabalho de investigação e contrôlo de laboratório deve basear-se nos seguintes princípios:

- 1.º — Obtenção de amostras representativas que cubram adequadamente o período de observação.
- 2.º — Concentração de esforços e recursos disponíveis em análises e determinações mais importantes, reduzindo-se a variedade de ensaios e aumentando-se a freqüência de análises, de modo a se obter maior número possível de resultados para os exames de maior importância e significação.

As análises e determinações consideradas mais importantes são aquelas que podem fornecer dados para projeto e informações para contrôlo operacional. Incluem principalmente:

Temperatura, pH, oxigênio dissolvido, BOD₅, sólidos em suspensão, sólidos sedimentáveis e coliformes.

Outras análises que poderão ser feitas com menor frequência incluem:

Sólidos totais, condutividade, cloretos, nitrogênios, turbidez, demanda de cloro e exames biológicos.

10.15 — Referências sobre o assunto

- 1 — CALDWELL, D.M., "Sewage Oxidation Ponds — Performance, Operation and Design", Sewage Works Journal, **18**: 433-458, 1946.
- 2 — PARKER, C.D., JONES, H.L. e TAYLOR, W.S. "Purification of Sewage in Lagoons", Sewage and Industrial Wastes, **22**: 760-775, 1950.
- 3 — PARKER, C.D., JONES, H.L. and GREENE, N.C., "Performance of large sewage lagoons at Melbourne, Australia, Sewage and Industrial Wastes, **31**, n.º 2, feb. 1959, 133-152.
- 4 — OSWALD, W.J., "Fundamental factors in Stabilization Pond Design", Conference on Biological Waste Treatment, Manhattan College, N. York, 1960.
- 6 — TOWNE, W.W. e DAVIS, W.H. — "Sewage Treatment by Raw Sewage Stabilization Ponds", Proceed. A.S.C.E., 1957.
- 7 — CABALLERO S., PEDRO J., "Información sobre Lagunas de Oxidación de aguas negras", Ingeniería Sanitaria — Órgão Oficial da AIDIS — Ano 10, n.º 2, Oct. 1956.
- 8 — PHILIPPOVSKY, C.L., "Notícia sobre os resultados de operação de Lagoas de Oxidação em S. José dos Campos", S. Paulo, Fundação SESP, 1961.
- 9 — Proceedings of the Symposium on Waste Stabilization Lagoons, Kansas City, Miss. August, 1960.
- 10 — VICTORETTI, BENOIT A., "Lagoas de Oxidação para estabilização de esgotos em São José dos Campos, publicação do Serviço do Vale do Paraíba, Departamento de Águas e Energia Elétrica, São Paulo, 1962.

VALOS OU CANAIS DE OXIDAÇÃO

10.21 — Introdução (*)

O Engenheiro Paul G.W. Walker, do Serviço Público de Williams Lake, British Columbia (Canadá) apreciando o problema das pequenas instalações de tratamento de águas residuárias ponderou: "As estações de tratamento para as grandes cidades geralmente são complexas e exigem supervisão hábil. À medida que o tamanho das instalações se reduz não resulta uma simplificação correspondente para os processos ou para a sua operação. Em consequência o custo de construção e de operação de pequenas instalações freqüentemente se torna proibitivo para comunidades até 5 000 habitantes" (1).

De fato, baseando-se em dados americanos recentes encontram-se os seguintes valores típicos para o custo por habitante servido (Trat. completo) (2) (3):

População	Custo de construção	Custo de Operação
1.000	US\$ 90.	US\$ 9/ano
100.000	\$ 30.	\$ 3/ano

Além disso, a tendência de sobre-mecanização que vem se verificando nos últimos anos trás para as instalações de pequeno porte sérias dificuldades de manutenção e operação.

Em face dessas dificuldades o Instituto de Pesquisas de Engenharia da Holanda, conhecido pela sigla "T.N.O." realizou um extenso programa de estudos e investigações nos últimos oito anos, com o objetivo de encontrar uma solução prática e econômica para o tratamento das águas residuárias das pequenas comunidades.

Esse trabalho foi conduzido pelo Prof. Dr. J. K. Baars, Chefe do Departamento de Pesquisas de Saneamento.

Os valos ou canais de oxidação constituem o resultado dessas investigações.

O custo per capita de construção das instalações holandesas está compreendido entre US\$ 10.00 e US\$ 20.00. As despesas de manutenção e operação são muito pequenas.

Os resultados de operação em termos de redução de BOD geralmente excedem 95%.

10.22 — Natureza e características do processo

Os valos ou canais de oxidação constituem uma variante do sistema de lodos ativados e uma modalidade dos processos de oxidação total.

Pode-se definir a oxidação total como o processo no qual os lodos com caracteres biológicos produzidos pela síntese são "consumidos" por auto-oxidação (ou digestão aeróbia). Para que essa oxidação seja conseguida o período de aeração deve ser relativamente grande (4).

Uma parte dos sólidos que constituem os lodos não é oxidável e contribui para formar o excesso de lodos que deve ser retirado periodicamente do processo.

O processo apresenta as seguintes características essenciais (5):

(*) O item 10.21 deste capítulo segue ao item 10.15 (Lagoas de estabilização).

- a) quantidade de lódos — e de flocos — mantida nos canais é relativamente elevada em relação à quantidade de matéria orgânica do afluente e em comparação com o processo convencional de lódos ativados (cêrca de 50 g de BOD para 1 000 g de flocos presentes em 24 horas).
- b) A quantidade de oxigênio a ser suprido e, em consequência, a energia requerida para o processo são mais elevados do que no sistema clássico. (O oxigênio é necessário não apenas para manter as condições desejáveis para a mistura líquido/lódos em circulação como também para as exigências dos lódos primários de vez que não se faz a sedimentação primária).
- c) O processo possibilita oxidar e mineralizar a matéria orgânica até o ponto em que o excesso de lódos pode ser retirado e descarregado diretamente em leitos de secagem sem inconvenientes de mau cheiro. Em outras palavras é realizada a digestão aeróbica dos sólidos orgânicos pela aeração prolongada.
- d) A quantidade relativamente elevada de matéria em suspensão presente, o período longo de aeração e o volume grande dos canais fazem com que o processo seja menos sensível aos efeitos adversos, de valores ou cargas momentaneamente elevados de BOD, substâncias tóxicas ou vazões (picos).
- e) Os resultados em termos de redução de B.O.D. são comparáveis aos obtidos nos processos clássicos de lódos ativados.

10.23 — Esquema de funcionamento

As instalações, de grande simplicidade, incluem um ou dois canais de forma elíptica, para o qual ou para os quais são conduzidas as águas residuárias brutas (geralmente sem qualquer tratamento prévio).

Ao entrar no canal as águas residuárias misturam-se com o líquido em movimento e com lódos e sólidos em suspensão previamente tratados.

A aeração e o movimento da mistura líquida são obtidos pela ação de um ou mais rotores ou escovas rotativas do tipo Kessener.

O período de detenção relativamente grande geralmente é estabelecido entre 1 e 3 dias.

Para que seja mantido (e não aumentado) um teor conveniente e praticamente constante de sólidos em suspensão no circuito, periodicamente retira-se uma certa quantidade de lódos em excesso.

O processo conduz à mineralização dos lodos, possibilitando a sua descarrega e secagem em leitos comuns, sem produzir maus odores.

O processo é aplicável ao tratamento das águas residuárias de pequenas comunidades (100 a 5 000 pessoas) ou às indústrias com efluentes orgânicos capazes de serem submetidos a qualquer tratamento biológico.

10.24 — Movimento do líquido no canal

O líquido impulsionado pelo rotor completa o circuito repetidas vezes.

A velocidade média é de cêrca de 0,30 m/seg tendo sido verificado que essa velocidade é assegurada para a relação de 50 a 150 m³ de capacidade de canal para cada 1,00 m de largura do rotor.

10.25 — Paredes do canal

Quando a natureza do terreno é favorável, pode-se dispensar qualquer forma de revestimento.

Os revestimentos já empregados incluem: alvenaria de tijolos, misturas asfálticas e concreto.

Um inconveniente apontado para os canais de oxidação relaciona-se com o custo das estruturas necessárias em terrenos de má qualidade.



Fig. 4

Fotografia mostrando um rotor em movimento (Cortesia da Passant-Werke).

10.26 — Volume e profundidade do canal

Para águas residuárias de origem domésticas o Dr. A. Pasveer recomenda como dado de projeto 300 litros por 54 gramas BOD/dia ou seja 300 litros por pessoa na base de 54 gramas de BOD por pessoa (aproximadamente 0,150 kg de BOD por metro cúbico de canal).

Nas instalações holandêsas a profundidade útil dos canais está compreendida entre 0,85 e 1,25 m.

10.27 — Rotores ou escovas

Têm sido empregadas escovas rotativas do tipo Kessener ou modificadas, de fios de piaçaba ou de lâminas de material inoxidável e rotores especialmente concebidos para o processo (Dr. Baars e Dr. Muskat), com placas metálicas.

10.28 — Valores comuns:

Comprimento do rotor	1,00 a 4,50 m
Diâmetro do rotor	0,40 a 0,70 m
Profundidade de imersão	0,05 a 0,25 m
Rotação	75 a 125 RPM
Capacidade de fornecimento de oxigênio	3,5 a 7,0 kg O ₂ /hora por metro do rotor
Potência necessária	1,5 a 3,0 kwh metro de rotor

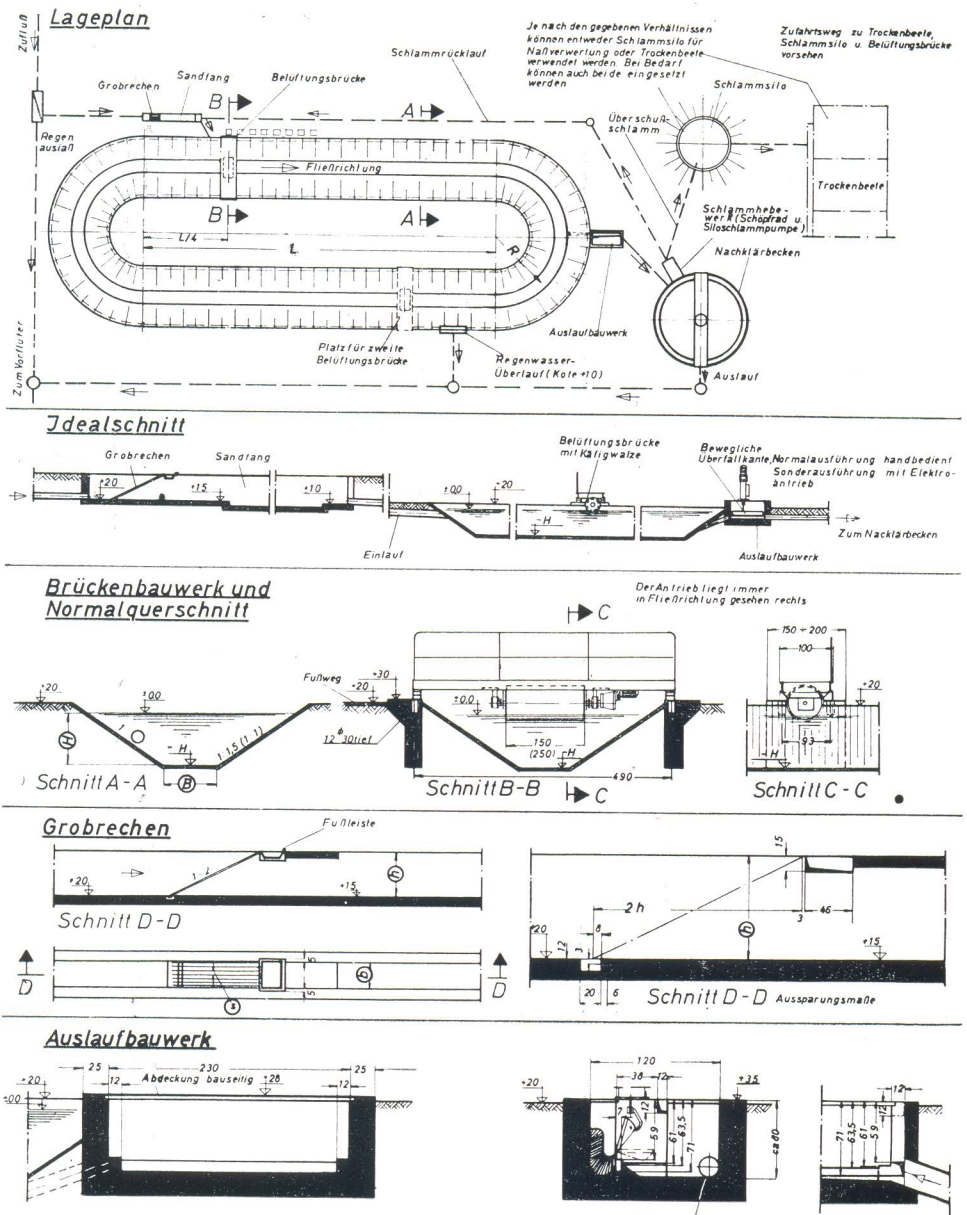


Fig. 5

Valos de oxidação: Detalhes sugeridos pela Passavant-Werke, Alemanha (Cortesia dessa Companhia).

Em geral se especifica 1,50 a 2,00 m de rotor por 100 m³ de volume de canal dependendo da concentração e demanda dos resíduos, dos característicos do rotor e do número de horas de funcionamento efetivo (levando-se em conta as interrupções).

Considera-se necessário suprir uma quantidade de oxigênio pelos menos igual a duas vezes a BOD (5 dias) (5).

10.29 — Consumo de energia

O consumo de energia é maior do que o necessário nos processos convencionais de lodos ativados, devido à presença de lodos primários e à demanda dos lodos a serem oxidados e mineralizados.

O custo de energia representa entretanto, uma parcela pequena dos custos totais e o acréscimo neste caso é compensado pelas vantagens decorrentes da simplicidade do processo.

Como dado médio admite-se o consumo de 1,1 kwh/kg de BOD removido. Em algumas instalações o consumo anual é de cerca de 20 kwh/hab.

10.30 — Sedimentação e descarga do efluente

Nas instalações mais simples e mais comuns a sedimentação dos lodos é feita periodicamente interrompendo-se o movimento do rotor e aguardando-se a deposição dos sólidos em suspensão, que se processa em meia hora ou menos, ao longo do próprio canal.

O líquido clarificado é então descarregado por um sifão.

Em instalações mais completas têm sido consideradas as soluções seguintes:

- 1 — Construção de um trecho de canal em dois ramos, para funcionamento alternado, mediante a operação de uma comporta, em cada 3 horas. No trecho sem movimento processa-se a decantação e dele se retira o efluente.
- 2 — Construção de um canal paralelo interno, com rotor independente e de funcionamento intermitente onde se processa a sedimentação e retirada do efluente.
- 3 — Construção de um tanque de sedimentação (separado), através do qual passa o efluente. O lodo decantado é bombeado em parte para o canal de oxidação e em parte para os leitos de secagem.

10.31 — Retirada de lodo e leitos de secagem

O excesso de lodos pode ser retirado por meio de um coletor construído lateralmente no canal.

Na instalação de Voorchotem (Holanda) esse coletor é metálico e tem a forma de um funil, com pequena entrada e saída superior para o líquido que circula no canal. O lodo decantado na parte inferior é extraído por uma bomba e descarregado 4 vezes por dia nos leitos de secagem (50 litros por vez). O teor de sólidos no lodo retirado é de 3 a 4% correspondendo a 22 g de sólidos/cap.

A área considerada necessária para os leitos de secagem é de 0,33 m²/capita.

O lodo extraído também pode ser encaminhado para um concentrador reduzindo-se o teor de umidade de 96 para 92%.

O líquido drenado nos leitos de secagem pode ser retornado ao canal de oxidação.

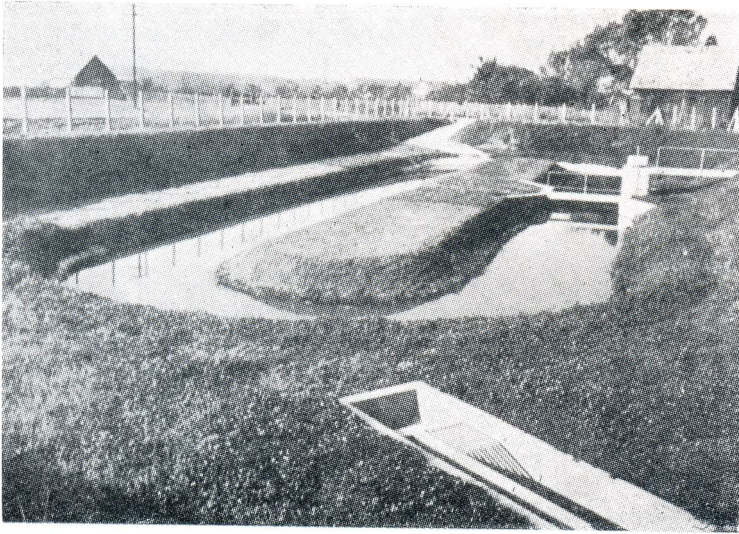


Fig. 6
Valo de oxidação de Nittenau.



Fig. 7
Valo de oxidação de Voorschoten

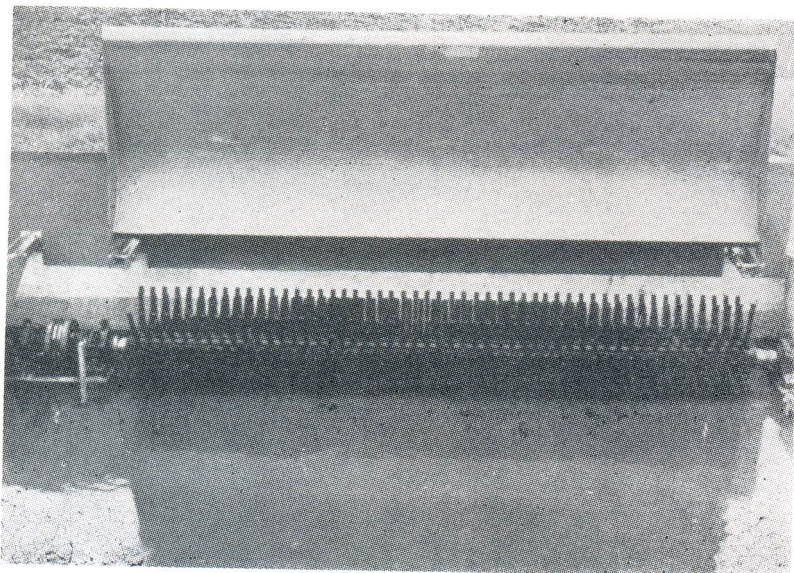


Fig. 8
Rotor de Aeração
(parado)

10.32 — Instalações típicas: Custo e eficiência

Instalações Holandêsas (T.N.O.)

Instalação	Ano	Custo USS	N.º equiv. pessoas	Custo p/cap USS	Canal	Red. BOD
Voorschoten (*)	1954	\$ 3.400	360	9.50	em terra	96%
Benschob	1958	\$ 6.500	400	16.00	"	96%
Ouverlande	1960	\$ 12.500	700	18.00	Alv. tijolos	...
Wolphaartsdyk	1960	\$ 25.000	1.700	15.00	"	95%
Oudwater	1961	\$ 35.000	2.000	17.50	rev. asfalto	...

(*) Q = 70 m³/d; 360 pessoas (equiv.); vol. canal 100 m³; rotor de 2,00 m; 0,150 kg BOD/m³ canal

Instalação de Noardwyk:

População equivalente	1 500
Vazão afluyente	150 m ³ /d
Volume do canal	450 m ³
Comprimento do rotor	3 m
Diâmetro do rotor	0,70
Rotações do rotor	75 RPM
Potência do motor	7,5 HP

10.33 — Referências sobre Valos de oxidação

- 1 — WALKER, P.G.W., "Rotor Aeration of Oxidation Ditches", Water & Sewage Works, 109, 238 (June 1962).
- 2 — ROWAN, P.P., JENKINS, K.H. e BUTLER, D.H., "Sewage Treatment Construction Costs", J.W.P.C.F., 32, 594 (June 1960).
- 3 — ROWAN, P.P., JENKINS, K.H. e HOWELLS, D.H., "Estimating Sewage Treatment Plant Operations and Maintenance Costs, J.W.P.C.F., 33, 111, (feb. 1961).
- 4 — ECKENFELDER Jr. W.W., "Theory and Practice of Activated Sludge Process Modifications", Water & Sewage Works, 108, Ref. No. (Oct. 1961).
- 5 — PASVEER, A., "Developments in Activated Sludge Treatment in the Netherlands", Paper n.º 34, Conference on Biological Waste Treatment, Manhattan College, April 1960.
- 6 — AZEVEDO NETTO, J.M. de, "Depuración de aguas negras por processos biológicos", IX Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária, Bogotá, 1964.

FIM DA 1.ª PARTE

Capítulos já publicados:

- REVISTA N.º 46 — Cap. I: Generalidades — Concentração e Composição de águas residuárias — Variações de Vazão.
- REVISTA N.º 47 — Cap. II: Consequencias do lançamento de águas residuárias nas águas interiores e litorâneas.
- REVISTA N.º 48 — Cap. III: Métodos Gerais de Tratamento — Cap. IV: Grades — Desintegradores e Trituradores.
- REVISTA N.º 49 — Cap. V: Caixas de areia — Desarenadores.
- REVISTA N.º 50 — Cap. VI: Decantadores.
- REVISTA N.º 51 — Cap. VII: Decantadores não mecanizados.
- REVISTA N.º 52 — Cap. VIII: Processos de oxidação e floculação biológica.
- REVISTA N.º 53 — Cap. IX: Tratamento sôbre o terreno — Irrigação — Filtros intermitentes de areia.
- REVISTA N.º 54 — Cap. X: Tratamento em Lagoas — Lagoas de oxidação — Lagoas de estabilização — Valos ou canais de oxidação.