
Sistema Carrossel: uma nova opção no tratamento de esgotos

ENGENHEIRO ANTHONIUS JANSEN (*)
ENGENHEIRO PATRICIO GALLEGOS (**)

O Sistema Carrossel é uma modalidade de tratamento biológico dos esgotos, em que a ativação do lodo se efetua em tanques de aeração idealizados com base nos tradicionais valos de oxidação.

1. HISTÓRICO DO PROCESSO

Há vinte anos, aproximadamente, iniciaram-se na Holanda as primeiras tentativas de estabilização aeróbia, em valos de oxidação, do lodo oriundo dos resíduos não decantados previamente.

Essas primeiras estações de tratamento basearam-se principalmente no trabalho desenvolvido pelo Dr. Pasveer, um cientista holandês que se propôs encontrar um tratamento biológico, de baixo custo, aplicável a pequenas comunidades.

Para um valo de oxidação, os parâmetros básicos de projeto são os seguintes:

- Tempo médio de residência da célula (idade do lodo): 25 dias.
- Sólidos em suspensão da mistura (MLSS): 4,0 g/l.
- Consumo de oxigênio: 2,5 kg O₂/kg DBO 5d, 20°C.

Com esses parâmetros de cálculo obtiveram-se volumes de, aproximadamente, 300 litros por e.p. Considera-se que um e.p. (equivalente

de poluição) é igual à contribuição orgânica de um habitante, isto é, 54 g de DBO/dia.

O lodo retirado desses valos constitui um material altamente estabilizado e com excelentes condições para uma secagem adequada.

Objetivando conservar em suspensão os sólidos da mistura ativada, foram previstos canais relativamente rasos, com profundidades compreendidas entre 1,00 m e 1,50 m.

O líquido nos valos ou canais é mantido em contínua movimentação através de aeradores mecânicos de eixo horizontal, comumente denominados "escovas de aeração".

Inicialmente, os valos foram projetados numa célula única; assim, para descarregar o líquido tratado, interrompia-se momentaneamente a atividade das escovas, permitia-se uma breve decantação do lodo e, após alguns instantes, se descarregava um efluente precariamente decantado. Deve-se esclarecer que, nessas condições, nos intervalos de inoperância das unidades, o esgoto bruto afluente não era admitido no valo, acumulando-se, portanto, no emissário afluente à unidade.

Com o tempo, os projetos foram evoluindo; desse modo, com o intuito de admitir continuamente o resíduo, apareceram os primeiros valos com um compartimento separado para decantação de lodo.

Devido às inegáveis vantagens econômicas, decorrentes de um baixo investimento inicial, reduzido custo de manutenção e simplicidade operacional, centenas dessas pequenas estações de tratamento foram construídas pelo mundo todo, principalmente no período 1955/65.

(*) Engenheiro consultor de Dwarsi, Heederik en Verhey B. V., da Holanda.

(**) Engenheiro sanitário da Serete S.A. Engenharia. Os autores participaram como consultor e coordenador do Projeto Executivo da ETE Curitiba — Sistema Carrossel — para 6 m³/s.

Apesar das virtudes do processo, esses valos, devido sobretudo à área exigida para sua implantação, ficaram restritos ao atendimento de populações não superiores a 15 mil habitantes. Essa limitação decorreu, fundamentalmente, da pequena profundidade admitida para essas unidades.

Bem sucedidas tentativas para ampliar a capacidade dos valos de oxidação resultaram no desenvolvimento de um sistema que aproveita canais de até 5 metros de profundidade e que introduz o oxigênio e movimentam a mistura, com a utilização de aeradores mecânicos de eixo vertical.

Esse processo, idealizado pela DHV (Dwars, Heederik e Verhey, Engenheiros Consultores) de Amersfoort, Holanda, recebe o nome genérico de Carrossel.

2. O SISTEMA CARROSSEL

As diversas estações de tratamento, que aproveitam tanques de aeração tipo carrossel, oferecem as mais variadas soluções na depura-

ção dos esgotos coletados em pequenas ou grandes comunidades, no tratamento de resíduos estritamente domésticos ou de despejos industriais. Enseja também o sistema o aproveitamento de decantadores primários, filtros biológicos, bem como de outras unidades.

A Tabela 1, através de diversos exemplos, mostra a versatilidade na aplicação do sistema; pode-se mesmo afirmar que existem apenas duas características comuns a todos os sistemas: uma boa eficiência de tratamento e custos de construção e operação significativamente reduzidos.

Assim, uma análise mais completa do sistema foge ao escopo do presente estudo, almejando-se tão-somente apresentar informações pertinentes aos tanques de aeração, unidades estas que resumem as virtudes do processo.

3. DESCRIÇÃO DA UNIDADE DE AERAÇÃO

O módulo básico da unidade de aeração, ou carrossel propriamente dito, está constituí-

TABELA 1

QUADRO COMPARATIVO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO QUE UTILIZAM O SISTEMA CARROSSEL

Unidades constitutivas do sistema	Curitiba	Estações de tratamento de esgoto			
		Basf A.G.	G. Oss	Cervej. Nek.	Hoensbroek
E.E. esgoto bruto	x		x	x(2)	x
Gradeamento	x	x	x	x	x(3)
Desarenador	x	x(1)	x		x
Decantador primário		x(1)	x		x(4)
Tanques de aeração	x	x	x	x	x
Decantador secundário	x	x	x	x	x
E.E. lodo de recirculação	x	x	x	x	x
E.E. lodo excedente	x	x	x	x	x
Adensador	x	x	x	x	x
Condicionamento químico do lodo		x	x	x	
E.E. lodo adensado	x	x	x	x	x
Secagem artificial do lodo		x	x	x	x
Secagem natural do lodo	x				x
Incineração do lodo		x	x		
Controle da poluição do ar		x	x		
Desinfecção do efluente	x		x		

Observações:

- (1) Desarenador e decantador primário incluídos numa unidade.
- (2) Estação elevatória (E.E.) de esgoto bruto a jusante do desarenador.
- (3) A unidade situa-se a montante da E.E. de esgoto bruto.
- (4) O decantador opera com as contribuições pluviais.

do por dois canais contíguos, interligados em suas extremidades, de modo a permitir a movimentação contínua do resíduo. Um aerador, instalado numa das extremidades dos canais,

impulsiona o líquido ao longo dos valos, fornece o oxigênio exigido pelo processo e mantém o lodo ativado em suspensão.

A Figura 1 esquematiza um módulo básico.

O reator apresenta duas zonas, de características totalmente diferentes:

Zona de mistura completa ou mistura total.

Zona de fluxo de êmbolo ("plug flow").

A zona de mistura completa situa-se próximo dos aeradores e caracteriza-se por um fluxo em espiral que ocasiona uma agitação completa em toda a massa líquida. Além de ocorrer aqui a introdução de oxigênio, origina-se o impulso do líquido através dos rotores dos aeradores; obviamente, esta zona é rica em oxigênio dissolvido.

Na zona de fluxo de êmbolo, entretanto, no escoamento das partículas predomina um movimento paralelo; o oxigênio vai progressivamente decrescendo, podendo atingir o nível zero, quando alcança novamente a zona de mistura completa. O prolongamento dos canais permite garantir o volume exigido pelo processo.

Incidentalmente, tal circunstância permite ao aerador operar sempre com um líquido ávido por oxigênio, o que, indubitavelmente, representa uma nítida vantagem para a eficiência do equipamento com relação a outros sistemas.

Quanto à localização do afluente, ele deve situar-se em ponto adequado, dependendo seu posicionamento da profundidade dos canais, número de aeradores e concepção geral dos tanques de aeração.

4. DIVERSAS MODALIDADES DO CARROSSEL

Obedecendo sempre às características básicas assinaladas no item anterior, encontram-se na prática numerosas modalidades de tanques de aeração tipo carrossel. As diversas combinações do módulo básico objetivam a adaptação do sistema às peculiaridades de cada caso particular; entre tais condicionantes podem citar-se:

Capacidade da estação de tratamento.
 Disponibilidade de área para implantação.

Características físicas do terreno.
 Características do resíduo.
 Eficiência almejada no tratamento.
 Necessidade de futuras ampliações, etc.

Esses e outros fatores devem ser devidamente ponderados no projeto, tendo sempre em mente um ótimo aproveitamento do local de implantação, bem como a garantia de um tratamento eficiente, mesmo sob as mais adversas condições.

A Figura 2 esquematiza algumas modalidades encontradas na prática.

Há, ainda, outros recursos, freqüentemente utilizados, que conferem ao sistema uma flexibilidade dificilmente alcançada por outros processos de tratamento; entre esses recursos, utilizados em função da necessidade de oxigenação, podem ser mencionados:

Alteração do número de aeradores em operação, dando partida ou desligando as unidades, conforme as exigências do processo; algumas vezes, chega-se a prever a instalação de futuras unidades.

Variação da submergência dos rotores. Este recurso é alcançado com a variação do nível de água ou com o ajuste vertical do próprio eixo do conjunto.

Variação da velocidade de rotação dos conjuntos. Esta variação pode ser alcançada com motores de dupla polaridade ou com variadores de velocidade.

Combinação dos recursos mencionados anteriormente; por exemplo, alternando conjuntos de velocidade constante, ajustáveis verticalmente, com conjuntos de velocidade variável.

Todas essas possibilidades podem ser aproveitadas, desde que as condicionantes do problema aconselhem a utilização destes recursos.

5. OS AERADORES DO SISTEMA

Os aeradores mecânicos são os elementos principais do sistema e uma escolha adequada do equipamento é a melhor garantia para a boa eficiência do processo.

Conseqüentemente, é de maior importância que a instalação de um determinado modelo de aerador, para uma unidade definida em projeto, conte, previamente, com uma análise ponderada das características físicas, mecânicas e elétricas do equipamento.

Basicamente, o aerador deve satisfazer às seguintes condições físicas e mecânicas:

Adequado fornecimento de oxigênio, tanto na submergência máxima quanto na submergência mínima do rotor. É evidente que um equipamento com uma maior faixa de submergência permite um controle mais acurado da capacidade de oxigenação.

Adequado impulsionamento do líquido nos valos de aeração; por esta razão, os aeradores devem ser de rotor aberto, com palhetas que arrastem a mistura para uma contínua movimentação. Do mesmo modo, embora deva existir uma adequada mistura nas vizinhanças do aerador, não parece recomendável o aproveitamento de aeradores cuja eficiência de oxigenação esteja baseada no impulsionamento vertical do resíduo.

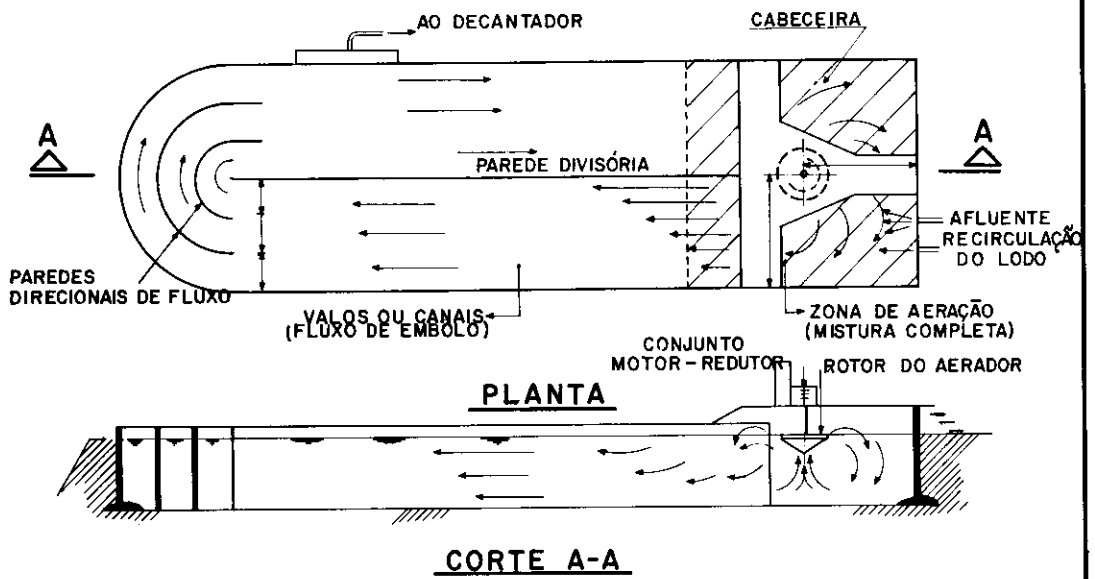
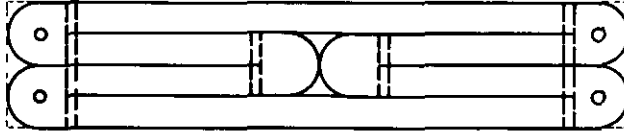


FIGURA 1

MÓDULO BÁSICO DO TANQUE DE AERAÇÃO DO SISTEMA CARROUSEL

OBS:

ESTES MODELOS PODEM SER PROJETADOS COM AERADORES DE VELOCIDADE CONSTANTE DE AJUSTE VERTICAL OU AERADORES DE VELOCIDADE VARIÁVEL .



FORMA OPCIONAL DA CABECEIRA
(DEPENDE DA VELOCIDADE DE ESCOAMENTO)

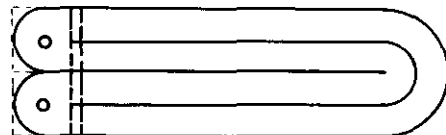
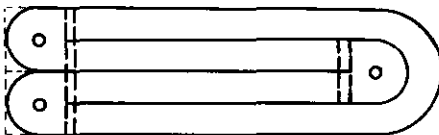
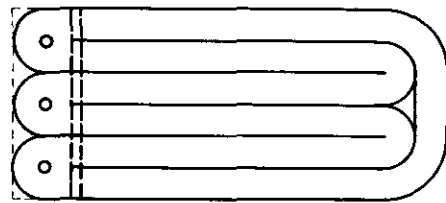
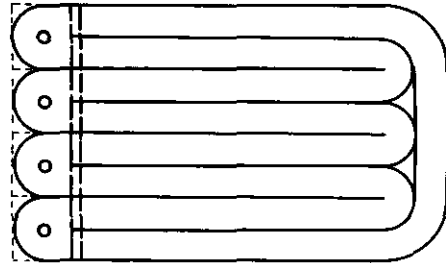
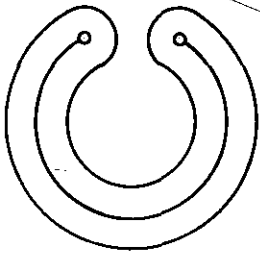


FIG. 2

DIVERSAS MODALIDADES DE TANQUES DE AERAÇÃO UTILIZADAS NO SISTEMA CARROUSEL

O rotor deve caracterizar-se por uma construção mecânica com palhetas abertas, sem concavidades pronunciadas que, eventualmente, possam dar lugar à retenção e acumulação de sólidos, reduzindo assim a eficiência de oxigenação e impulsão.

Há ainda uma adequação física e mecânica do equipamento com as dimensões do tanque de aeração; este entrosamento objetiva a otimização do processo.

Assim, os aeradores que não tiverem sido utilizados previamente num Sistema Carrossel deverão ser submetidos aos seguintes testes em modelos reduzidos:

Teste hidráulico, que permite definir as características físicas e mecânicas do aerador em estudo.

Teste do levantamento de dados para cada modelo de aerador, com o intuito de adaptá-los aos tanques de aeração tipo carrossel.

Apesar de se tratar de uma modalidade de tratamento relativamente recente, o Sistema Carrossel já conta com alguns aeradores testados e aprovados:

- Landy (Landustrie).
- Simcar.
- Spaans.
- Hubert (Esmil do Brasil).

Por outro lado, diversos fabricantes no Brasil estão interessados em testar seus equipamentos, bem como em adquirir a patente de equipamentos já aprovados.

6. SISTEMA DE MEDIÇÃO E CONTROLE DO OXIGÊNIO

O oxigênio dissolvido, presente na unidade de aeração, não é constante; observações registradas na prática indicam que o nível de oxigênio dissolvido, presente na mistura, sofre um decréscimo diretamente proporcional à distância do ponto de medição ao aerador.

Outrossim, a medição contínua e acurada do nível de oxigênio dissolvido é da maior importância para avaliar a eficiência da remoção

da DBO do resíduo, bem como a capacidade de desnitrificação do sistema.

Para alcançar tal propósito, instalam-se no circuito sondas ou detectores de nível de oxigênio; freqüentemente, admite-se que a locação desses detectores pode ser alterada a um outro valo, numa posição alternativa.

As medidas dos sensores são detectadas numa célula polarográfica, constituída por um cátodo de ouro e um ânodo de prata, encerrados numa solução eletrolítica; o conjunto encontra-se protegido do resíduo por uma membrana resistente. Uma parte do oxigênio dissolvido na amostra difunde-se através da membrana até a célula; o oxigênio, atingindo o cátodo, dá lugar a uma corrente diretamente proporcional à concentração de O_2 . Um transmissor-indicador envia um sinal contínuo, imediato, até o centro de controle que, por sua vez, registra os níveis de água e oxigênio e comanda o posicionamento vertical do vertedor efluente.

O limite mínimo de medição é de 0,03 mg/l ou 0,1% da saturação; a precisão, em geral, situa-se em torno de 0,1% a 0,5%.

A Figura 3 esquematiza o sistema de medição e controle de oxigênio dissolvido.

7. PARÂMETROS DE PROJETO DO SISTEMA

Os parâmetros básicos de projeto utilizados no dimensionamento das unidades do sistema variam de um caso para outro; a sua definição precisa está condicionada pelas peculiaridades que caracterizam cada projeto.

Dessa forma, os valores a seguir assinalados objetivam apenas dar uma idéia, tão aproximada quanto possível, dos diversos parâmetros de dimensionamento que têm sido aplicados até o presente no Sistema Carrossel.

A Tabela 2 assinala os parâmetros de cálculo utilizados nos tanques de aeração do Sistema Carrossel; a Tabela 3, os parâmetros aplicados para o dimensionamento das unidades situadas a jusante dos tanques de aeração.

TABELA 2 — PARÂMETROS DE DIMENSIONAMENTO UTILIZADOS EM TANQUES DE AERAÇÃO DE SISTEMAS CARROSSEL

Parâmetros	Estações de tratamento de esgoto Sistema Carrossel				
	Curitiba	Basf A.G.	G. Oss	Cervej. Nek.	Hoensbroek
Taxa de carga ao lodo (kg DBO/kg MLSS)	0,06	0,4	0,1	0,09	0,05
Carga orgânica (kg DBO/M ³)	0,30	1,25	0,40	0,36	0,22
Concentração de lodo (kg MLSS/M ³)	5,0	4,5	4,0	4,0	4,4
Consumo oxigênio/Carga orgânica (kg O_2 /kg DBO)	2,5	1,73	2,22	3,37	2,5

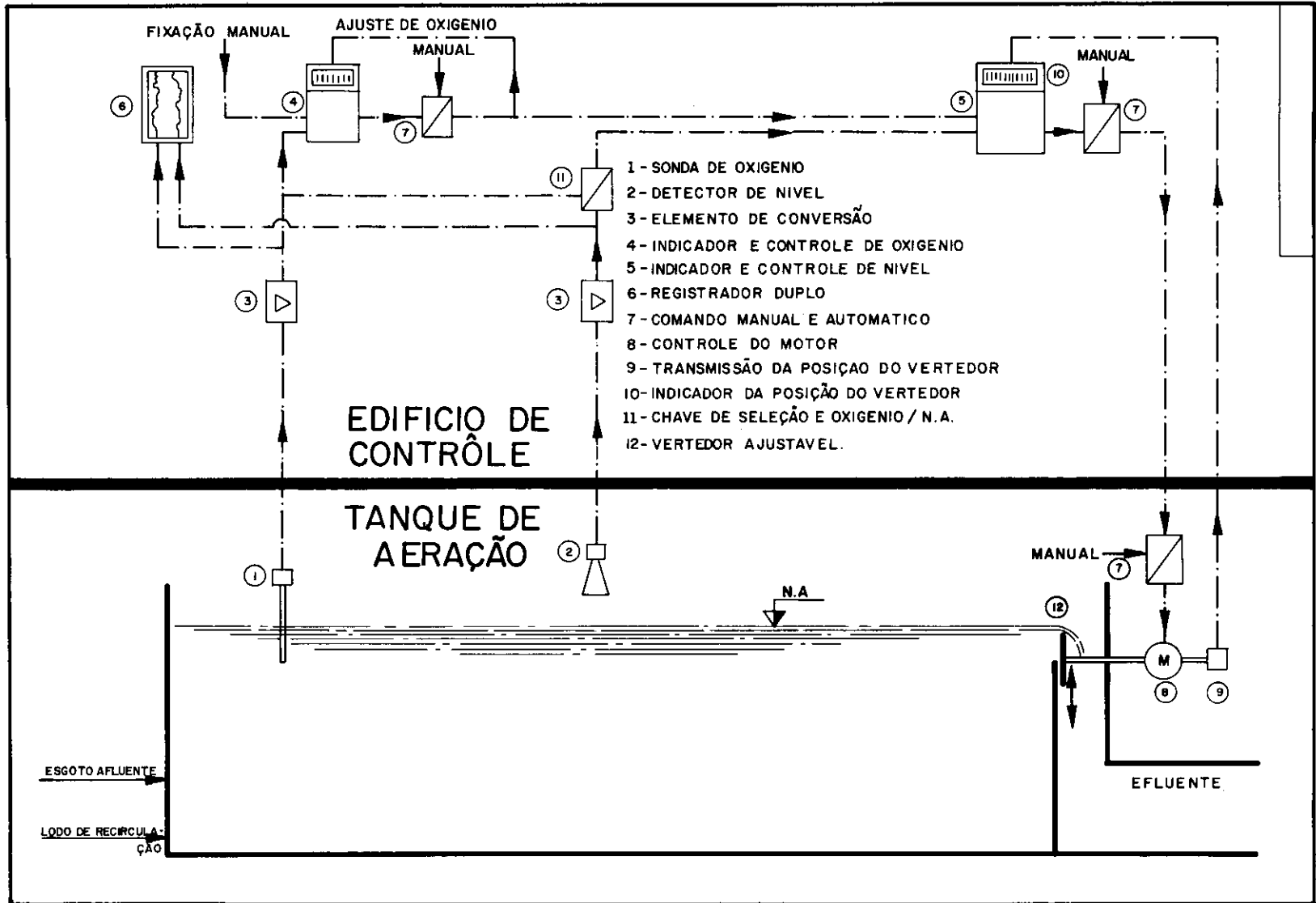


TABELA 3

**PARÂMETROS DE DIMENSIONAMENTO PARA UNIDADES DE SISTEMAS CARROSSEL,
SITUADOS A JUSANTE DOS TANQUES DE AERAÇÃO**

Unidades Parâmetros	Estação de tratamento de esgotos Sistema Carrossel				
	Curitiba	Basf A.G.	G. Oss	Cervej. Nek.	Hoensbroek
Decantador secund.					
Taxa de aplicação superficial (m ³ /h x m ²)	1,08	1,07	1,00	0,25	1,00
Tempo de detenção (horas)	2,75	3,10	2,0	8,4	1,50
Recirculação máx. do lodo (1) Porcentagem vazão de tempo seco	100%	150%	60%	200%	112%

Observações:

- (1) Habitualmente, admite-se a recirculação com bombas de duas velocidades, com relação de 1:2 entre as vazões mínima e máxima.
- (2) Para o lodo excedente admite-se, para esgoto doméstico, um índice de 40 kg de sólidos secos por dia, para cada mil habitantes. Freqüentemente, o recalque do lodo excedente efetua-se com água de "lavagem", retirada do efluente tratado.
- (3) Para o adensador, geralmente se admite um índice de 40 kg/dia de sólidos secos por equivalente de poluição.

8. CONSIDERAÇÕES HIDRAULICAS

Como se indicou no item 3, o módulo básico do tanque de aeração divide-se em duas zonas com características hidráulicas totalmente diversas: a zona de mistura total, também denominada "cabeceira", e a zona de fluxo de êmbolo.

A zona de mistura total caracteriza-se por densidades de potência bastante elevadas; embora este valor não possa ser considerado como um parâmetro no dimensionamento da unidade, deve-se assinalar que as densidades de potência, na maioria das vezes, estão compreendidas entre 20 e 60 m³.

A zona com fluxo de êmbolo corresponde aos valos da unidade de aeração, também comumente denominados "canais".

As velocidades de escoamento nos canais decrescem à medida que o fluxo se afasta do aerador e variam também conforme a profundidade; em média, estão compreendidas entre os seguintes limites:

Velocidade média mínima nos canais: 0,10 m/s.

Velocidade média máxima nos canais: 0,40 m/s.

A velocidade de escoamento no valo diminui continuamente, conforme a partícula con-

siderada se afasta do aerador. Também numa mesma seção há diferenças, embora pequenas, na velocidade de escoamento entre uma partícula e outra.

Do mesmo modo que varia a velocidade de escoamento, há uma modificação na concentração de oxigênio e lodo.

A título de exemplo, apresentam-se nas figuras 4 e 5 as alterações registradas na velocidade de escoamento, na concentração de oxigênio e na concentração de lodo.

Para o dimensionamento dos canais, podem considerar-se as seguintes relações:

Profundidade da zona de mistura total: 1,0 a 1,4 vezes o diâmetro do rotor do aerador utilizado.

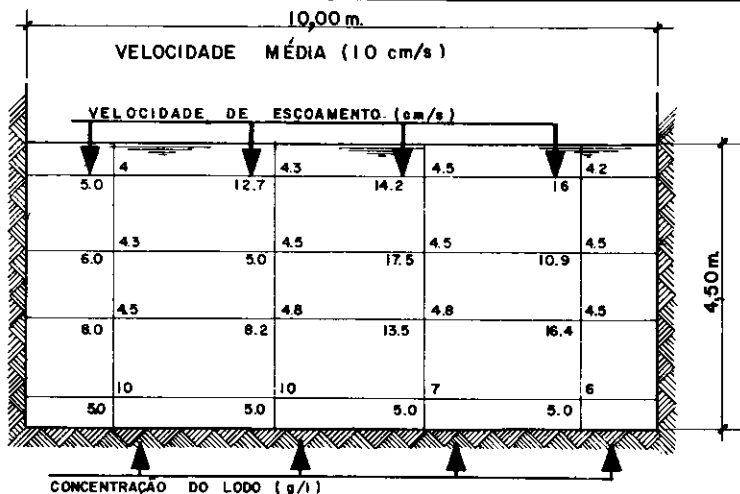
Profundidade dos canais: 0,8 a 1,4 o diâmetro do rotor.

Largura dos canais: 2 a 3 vezes o diâmetro do rotor.

9. DIMENSIONAMENTO DA UNIDADE DE AERAÇÃO

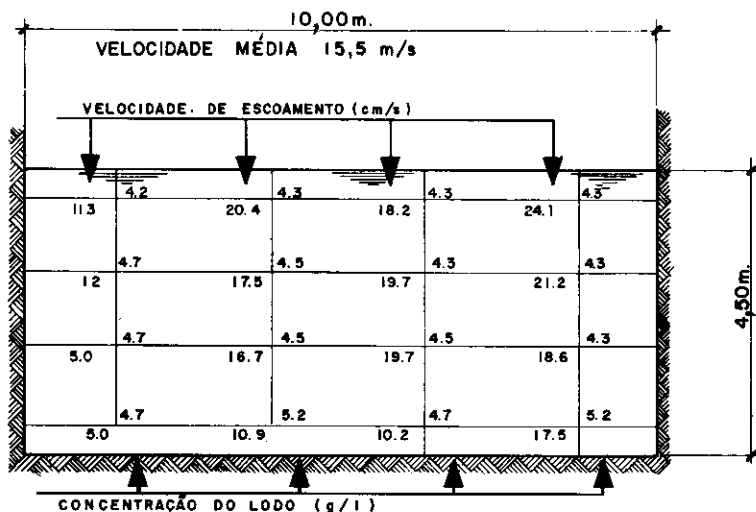
Será aqui sintetizado o dimensionamento dos tanques de aeração. Quanto à determinação das dimensões de outras unidades do sistema, ela deve obedecer ao mesmo processo seguido em outros sistemas biológicos de tratamento; obviamente, neste caso, os parâmetros de cál-

FIGURA 4 A



VARIAÇÃO DA VELOCIDADE DE ESCOAMENTO E DA CONCENTRAÇÃO DO LODO, NUMA SECÇÃO DO CARROUSEL SITUADA 230m. A JUSANTE DO AERADOR E PARA UMA CAPACIDADE EFETIVA DE OXIGENAÇÃO CORRESPONDENTE A 22% DA CAPACIDADE NOMINAL MÁXIMA

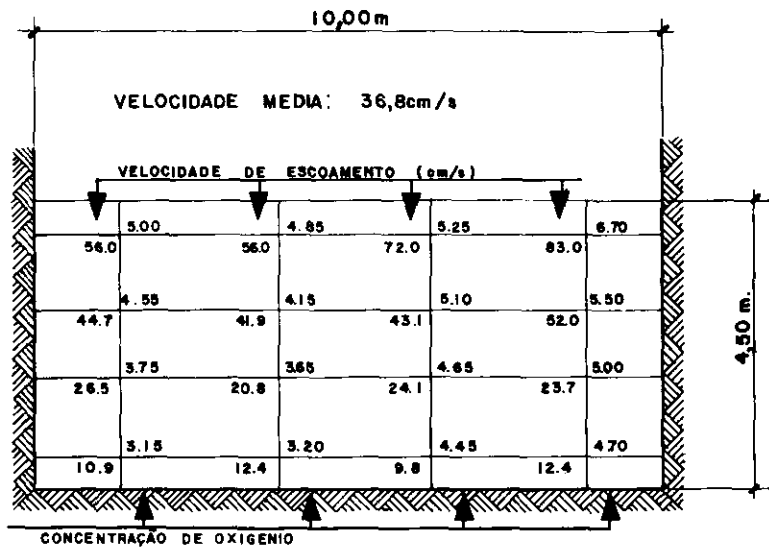
FIGURA 4 B



VARIAÇÃO DA VELOCIDADE DE ESCOAMENTO E DA CONCENTRAÇÃO DO LODO NUMA SECÇÃO DO CARROUSEL SITUADA A 230m A JUSANTE DO AERADOR E PARA UMA CAPACIDADE EFETIVA DE OXIDAÇÃO CORRESPONDENTE A 32% DA CAPACIDADE NOMINAL MÁXIMA

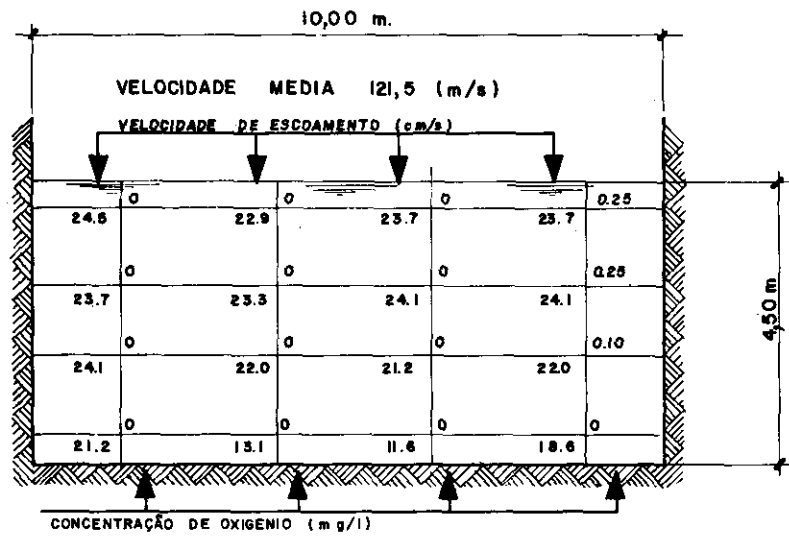
FIGURA 4

FIGURA 5A



VARIAÇÃO DA VELOCIDADE DE ESCOAMENTO E DA CONCENTRAÇÃO DE OXIGENIO NUMA SECÇÃO SITUADA 60m A JUSANTE DO AERADOR E PARA UMA INTRODUÇÃO DE OXIGENIO EQUIVALENTE A 100% DA CAPACIDADE MAXIMA

FIGURA 5B



VARIAÇÃO DA VELOCIDADE DE ESCOAMENTO E DA CONCENTRAÇÃO DE OXIGENIO NUMA SECÇÃO SITUADA 60m A JUSANTE DO AERADOR E PARA UMA INTRODUÇÃO DE OXIGENIO EQUIVALENTE A 40% DA CAPACIDADE MAXIMA

FIGURA 5

culo devem ser adequados para um lodo ativo em tanques de aeração tipo carrossel e, principalmente, devem ser escolhidos em função das características do resíduo afluente.

Os dados básicos do resíduo são:

- Vazão afluente aos tanques de aeração.
- Concentração orgânica do resíduo.

Com essas informações, o dimensionamento pode ser efetuado obedecendo aos seguintes passos:

a) Determina-se o volume do tanque de aeração

Para tanto, admitem-se os seguintes parâmetros de dimensionamento:

- Taxa de carga ao lodo (kg DBO/kg MLSS).
- Concentração do lodo (kg MLSS/m³ de tanque).

b) Determina-se o consumo de oxigênio

Para tanto, adota-se uma relação de consumo de oxigênio/carga orgânica.

c) Fixa-se o número de aeradores e canais

Divide-se a capacidade total de oxigenação por um número adequado de aeradores e, conseqüentemente, de módulos de aeração.

d) Determinação inicial da seção dos canais

Com base no tipo de aerador adotado, bem como nas recomendações assinaladas no item 8, determinam-se, de forma preliminar, a profundidade e a largura dos canais.

e) Determinação do comprimento dos canais

Este cálculo leva em consideração o volume do tanque de aeração, o número de canais adotado e as dimensões definidas para a seção de um canal.

f) Otimização das dimensões do canal

Para um determinado modelo de aerador, e para um volume de tanque fixado previamente, as dimensões do canal são otimizadas, objetivando conciliar a necessidade de uma maior velocidade de escoamento nos canais com as limitações oriundas do local de implantação. A DHV tem desenvolvido um programa de computação adequado a este propósito.

Exemplo:

Dados básicos de projeto:

População de projeto: 80.000 habitantes.

Contribuição "per capita": 200 l/dia x hab.

Contribuição orgânica:

0,054 kg DBO²⁰₅/dia x hab.

Determina-se a vazão afluente:

$$Q = \frac{80.000 \times 200}{86.400} = 185 \text{ l/s} = 666 \text{ m}^3/\text{hora}$$

Determina-se a carga orgânica afluente:

$$80.000 \times 0,054 = 4.320 \text{ kg DBO}^{20}_5/\text{dia}$$

a) Volume do tanque de aeração

Adotam-se os seguintes parâmetros de dimensionamento:

Taxa de carga ao lodo: 0,05 kg DBO²⁰₅/kg MLSS

Concentração do lodo: 4,5 kg MLSS/m³ de tanque

Sólidos em suspensão na mistura:
4.320

$$\frac{\quad}{0,05} = 86.400 \text{ kg MLSS}$$

Volume do tanque:
86.400

$$\frac{\quad}{4,5} = 19.200 \text{ m}^3$$

b) Consumo de oxigênio

Adota-se um consumo de 2,5 kg O₂/kg DBO²⁰₅ x dia

Fornecimento necessário de oxigênio:

$$2,5 \times 4.320 = 10.800 \text{ kg de oxigênio/dia}$$

c) Número de canais e características dos aeradores

Admitindo-se três aeradores (um para cada módulo de dois canais), o fornecimento de oxigênio, exigido para cada aerador, será:

$$\frac{10.800}{3 \times 24} = 150 \text{ kg de O}_2/\text{hora}$$

Supondo-se uma capacidade de fornecimento de oxigênio, por aerador, para condições locais de altitude, temperatura e formato do tanque, de 1,2 kg de O₂/hora x cv, a potência de cada aerador será:

$$\frac{150}{1,2} = 125 \text{ cv}$$

No catálogo de um aerador adequado para o Sistema Carrossel, encontra-se o diâmetro do rotor; por exemplo:

$$\varnothing = 3,40 \text{ m}$$

Adota-se um tanque com seis canais.

Cada canal terá um volume de:

$$\frac{19.200}{6} = 3.200 \text{ m}^3$$

d) Determinação inicial da seção dos canais

Admitindo-se uma relação profundidade/diâmetro do rotor igual a 1,2:

$$\text{Profundidade dos valos} = 3,40 \times 1,2 = 4,08 \text{ m}$$

Admitindo-se uma relação largura do canal/diâmetro do rotor igual a 2,5:

$$\text{Largura dos valos} = 3,4 \times 2,5 = 8,5 \text{ m}$$

e) Estas dimensões poderão, finalmente, ser otimizadas com a utilização do programa de computador.

10. EFICIÊNCIA DO PROCESSO

A significativa eficiência no tratamento conseguida pelo Sistema Carrossel tem-se constituído no melhor predicado dessas estações de tratamento.

É evidente que uma ótima eficiência dependerá de um projeto adequado, de uma boa operação e, principalmente, de uma escolha sensata dos parâmetros utilizados no dimensionamento das unidades; em todo caso, pode-se afirmar que esta modalidade de tratamento permite absorver, com relativa segurança, as cargas denominadas de "impacto" ["shockloading"], oriundas das descargas intermitentes de natureza doméstica ou industrial.

Poder-se-á avaliar a eficiência do processo através dos registros de duas estações de tratamento, Sistema Carrossel, atualmente em operação. A Tabela 4 apresenta uma síntese desses registros.

TABELA 4

PORCENTAGEM DE REDUÇÃO DAS CARGAS ORGÂNICAS E QUÍMICAS NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO — SISTEMA CARROSSEL

Indicador de poluição	Estação de tratamento de esgoto	
	Winterswijk	Lichtenvoorde
DBO	98,9	99,3
DOO	93,3	95,8
T K N (1)	92,7	97,1
N. Total (2)	90,9	56,9 (3)
P	45,0	22,6

Observações:

(1) T K N = Total Kjeldahl Nitrogen.

T K N = Nitrogênio orgânico + nitrogênio amoniacal

(2) Remoção de nitrogênio =

$\frac{\text{TKN afluente} - (\text{TKN} + \text{NO}_2 + \text{NO}_3)}{\text{TKN afluente}}$ efluente

TKN afluente

(3) Deve-se esclarecer que a ETE de Lichtenvoorde não foi projetada nem é operada com o intuito de remover nitrogênio.

11. REMOÇÃO DE FÓSFORO E NITROGÊNIO

Uma importante peculiaridade do Sistema Carrossel consiste na possibilidade de remover significativas quantidades de fósforo e nitrogênio.

Tais elementos são nutrientes básicos para o desenvolvimento de algas e plantas aquá-

ticas. Embora, no tratamento biológico, sejam assimilados na formação de nova matéria celular, os teores remanescentes desses nutrientes conseguem, não raro, alterar o equilíbrio ecológico do corpo de água receptor. Como efeito, apresentam-se formações de algas, enriquecidas pelos nutrientes, podendo resultar condições adversas ao desenvolvimento da vida aquática ou, ainda, a presença de odores ofensivos. Esse fenômeno é conhecido como eutrofização dos cursos de água.

11.1. REMOÇÃO DE FÓSFORO

Nos processos biológicos convencionais há uma remoção de fósforo da ordem de 25% a 35%. No Sistema Carrossel, entretanto, podem alcançar-se remoções dos fosfatos de até 95%, com a adição de sais de ferro (Fe^{++} ou Fe^{+++}), ou de alumínio, ao tanque de aeração.

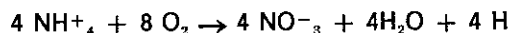
Essa adição de produtos químicos, por outro lado, favorece a desidratação do lodo, embora à custa de um significativo aumento deste produto final.

11.2. REMOÇÃO DE NITROGÊNIO

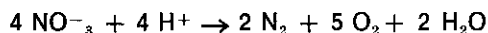
O resíduo doméstico contém nitrogênio na forma de composto orgânico (proteína) e na forma de amônia, a qual, além de tóxica para a vida aquática, apresenta um significativo consumo de oxigênio; assim, torna-se necessário transformar o nitrogênio em compostos inócuos.

Excetuando-se o nitrogênio assimilado na formação de novas células, este nutriente pode ser removido pelo seguinte processo:

Oxidação da amônia a nitrito, através das bactérias denominadas "nitrosomonas":



Oxidação do nitrito a nitrato, através das "nitrobactérias":



A primeira fase da oxidação (amonificação) é comum a todos os sistemas de depuração de esgotos.

A segunda fase (nitrificação) exige um baixo fator de carga (kg DBO/kg MLSS), isto é, uma idade do lodo (inverso do parâmetro anterior) maior que a taxa de crescimento dos microrganismos nitrificantes.

Com idades de lodo mais reduzidas, fatalmente ocorrerão perdas de nitrobactérias, prejudicando, desse modo, o processo de nitrificação nos tanques de aeração.

O pH tem-se mostrado decisivo no processo de nitrificação; o pH ótimo para as "nitrosomonas" está compreendido entre 7,6 e 8,0, ao passo que para as nitrobactérias deve situar-se em 7,8.

Em alguns casos, particularmente com resíduos de baixa alcalinidade, uma severa nitrificação tem ocasionado o decréscimo do pH, afetando assim a remoção da DBO; ainda nessas condições, aparecem nos decantadores secundários flocos de lodo flutuante. O fenômeno é conhecido como desnitrificação nos decantadores.

Para evitar tal ocorrência, torna-se necessário efetuar a desnitrificação dos resíduos nos próprios tanques de aeração.

11.3. DESNITRIFICAÇÃO NOS TANQUES DE AERAÇÃO

Consiste na ação de bactérias facultativas, presentes no lodo ativado, que retiram oxigênio dos nitritos (NO_2) e dos nitratos (NO_3), com o intuito de sintetizar novo material celular. O processo conduz à formação de oxigênio e nitrogênio gás (N_2), que é absorvido pela atmosfera.

Entretanto, essa transformação exige a presença de uma fonte de carbono orgânico que permita dar continuidade ao desenvolvimento dos microrganismos; normalmente, essa fonte de carbono é fornecida através do esgoto bruto afluente ao tanque de aeração.

Para completar a desnitrificação, a mistura deve caracterizar-se por uma das seguintes condições:

Mistura ácida ($\text{pH} < 7$), na presença de oxigênio dissolvido.

Mistura alcalina ($\text{pH} > 7$), em condições anaeróbicas.

Depreende-se que, para esgoto doméstico, o pH da mistura normalmente se situa em 7 ou acima; assim, para garantir o processo de desnitrificação é necessário que haja uma exaustão completa do oxigênio. Tais condições raramente são alcançadas nos tanques de aeração das diversas modalidades de lodo ativado; entretanto, no Sistema Carrossel, no final do percurso de cada valo, antes de alcançar a zona de mistura completa, ocorre um esgotamento quase total do oxigênio dissolvido e, conseqüentemente, uma ativa desnitrificação da mistura.

Portanto, para garantir efetivamente esse predicado, o Sistema Carrossel deve ser projetado de tal modo que se cumpram aos seguintes requisitos:

Baixa relação de alimento/microrganismos, de forma a permitir o desenvolvimento de bactérias nitrificantes.

Controle do oxigênio dissolvido, para que haja uma concentração de oxigênio sempre inferior a 0,5 mg/l.

Descarga de uma parcela do esgoto afluente ao tanque, no início do canal de desnitrificação.

Finalmente, um atributo do sistema, oriundo desse processo de desnitrificação, consiste no aproveitamento de uma porcentagem do oxigênio utilizado na nitrificação para satisfazer parte da DBO; esse aproveitamento, teoricamente estabelecido em 62,5%, efetua-se através das bactérias desnitrificantes. Obviamente, essa possibilidade permite economizar energia no fornecimento de oxigênio.

12. COMENTÁRIOS FINAIS

Tratando-se de uma modalidade relativamente nova para depuração dos resíduos domésticos e industriais, que se vem introduzindo no Brasil, verifica-se uma natural curiosidade quanto a conhecer e avaliar, da melhor forma possível, as reais condições desse sistema.

De início, é necessário esclarecer que, do ponto de vista econômico, o Sistema Carrossel nem sempre tem condições competitivas com lagoas de estabilização ou valos de oxidação, em locais e para comunidades em que as condições de desenvolvimento e a capacidade final de projeto não justifiquem a implantação de uma estação de tratamento de esgotos mais sofisticada.

De outro lado, a precariedade de dados brasileiros não permite, por enquanto, estabelecer comparações econômicas mais precisas entre as várias possibilidades oferecidas para o tratamento dos esgotos domésticos; não obstante, aproveitando registros e estudos efetuados em outros países, principalmente na Holanda, pode-se concluir que, considerando o investimento inicial, custos operacionais e de manutenção, o Sistema Carrossel se revela 10% a 30% mais barato que estações de tratamento biológico destinadas a alcançar um grau de depuração com eficiência comparável ao Sistema Carrossel.

A Tabela 5 apresenta um estudo econômico no qual se discriminam os diversos itens componentes do custo, considerados na implantação de estações de tratamento.

As alternativas consideradas para o estudo econômico foram:

Alternativa 1: ETE de lodo ativado

Grades mecânicas, desarenador, decantadores primários (tempo de detenção 1,5 hora; remoção DBO: 28%); tanques de aeração (concentração de lodo: 3,5 g/l; carga ao lodo: 0,2 g

DBO/g de lodo x dia; remoção de DBO: 93,5%; redução TKN: 84%); decantadores secundários (taxa de aplicação: 1 m³/m² x h; tempo de detenção: 2 horas); adensadores, digestores, filtros-prensa e aproveitamento do gás liberado na digestão.

Alternativa 2: ETE de dois estágios: filtros biológicos e lodos ativados — tanques tipo carrossel

Grades mecânicas, desarenador, decantadores primários (redução DBO: 24%); filtros biológicos (935 g DBO/m³ x dia; redução DBO: 75%); tanque de aeração tipo carrossel (concentração de lodo: 3 g/l; tempo de detenção: 4

horas; redução DBO: 96%; redução TKN: 84%); decantadores secundários (1m³/m² x hora; tempo de detenção: 2 horas); adensador, digestores, condicionamento químico, filtros-prensa e aproveitamento do gás liberado pela digestão.

Alternativa 3: ETE Sistema Carrossel

Grades mecânicas, desarenador, tanques de aeração tipo carrossel (concentração de lodo: 4 g/l; carga ao lodo: 0,05 g DBO/g lodo x dia; remoção DBO: 97%; remoção TKN: 97%); decantadores secundários (1 m³ x m² x hora; tempo de detenção: 1,5 hora); adensadores; condicionamento químico de lodo e desidratação do lodo.

TABELA 5

PORCENTAGEM COMPARATIVA DOS CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO PARA DIVERSAS ALTERNATIVAS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS

	Alternat. 1 (lodos ativados)	Alternat. 2 (filtros biol. + Carrossel)	Alternat. 3 (Sistema Carrossel)
Custos de Implantação			
Construção civil	70	86,0	63,4
Equipamento mecânico	41,5	41,5	31,7
Equipamento elétrico	7,5	8,0	4,9
T O T A L	119,0%	135,5%	100,0%
Custos de Operação			
Manutenção das obras de construção civil ..	41,4	50,7	37,4
Manutenção do equipamento elétrico e me- cânico	39,2	39,7	29,5
Energia consumida	4,4	3,9	10,0*
Gás para aquecimento	1,3	0,2	0,4
Salários dos funcionários	7,9	7,9	7,7
Produtos químicos	7,2	6,3	6,1
Transporte do lodo seco	9,0	8,2	8,8
Fornecimento de água potável	0,1	0,1	0,1
T O T A L	110,5%	117,0%	100,0%

(*) Observação: os custos de energia no Brasil são mais baixos que na Holanda.

BIBLIOGRAFIA

1. VAN SCHAGEN, F. P. e ZEPER, J. Die biologische Reinigung des Abwassers in Carrouselanlagen Wasserwirtschaft, 10 — 1975.
2. ZEPER, J. En water zuiveren en energie sparen! dat kan, maar wat kost het?
3. H₂O, n.o. 8 — 1975.
4. JACOBS, Allan. Project Manager Metcalf & Eddy Inc.; Loop aeration tank design offers practical advantages water and sewage works, outubro e dezembro de 1975.
5. Carrossel", Catálogo DHV, maio de 1975.