

TESTE DE REOXIGENAÇÃO EM UM VALO DE OXIDAÇÃO

JOSÉ CARLOS DERISIO (*)

ROBERTO EDUARDO BRUNO CENTURIÓN (*)

LINEU MONTEBELLO (*)

JOSÉ CLEANTHO GONDIM (**)

I – INTRODUÇÃO

Por decorrência de convênio firmado entre a CETESB e a Cooperativa Central de Laticínios do Estado de São Paulo, estabeleceu-se um plano de estudo para o problema dos despejos de usinas de leite, no caso, filiadas aquela cooperativa, que espalhadas pelo Estado contribuem de uma forma ou de outra para a poluição dos cursos d'água.

Ficou estabelecido, então, que a CETESB elaboraria o projeto de uma estação experimental, cujos resultados de operação forneceriam dados imprescindíveis para a orientação dos sistemas de tratamento definitivos a implantar.

A matéria desenvolvida a seguir constituiu-se num dos itens do trabalho final, qual seja o teste de transferência de oxigênio do ar para a água por meio de rotores de eixo horizontal.

O valo de oxidação do presente trabalho foi projetado e inicialmente operado pela Divisão de Estudos Especiais da CETESB pertencendo a uma usina da Co-

operativa Central de Laticínios do Estado de São Paulo na cidade de Santa Branca, situada no Vale do Paraíba distando 112 km da Capital, pela rodovia Presidente Dutra. A via de acesso é pela Estrada Estadual que liga Santa Branca e Jacareí à rodovia Presidente Dutra.

O município está situado nas seguintes coordenadas:

- Latitude sul 23°27'
- Longitude oeste 45°52'

A altitude média da cidade é de 600 metros em relação ao nível do mar e a temperatura média anual é de 18°C.

Com base em pesquisa bibliográfica foi escolhido o valo de oxidação como tratamento mais adequado dos resíduos líquidos da usina, por ser o mesmo capaz de permitir uma fácil operação e manutenção.

Dados básicos do projeto:

- quantidade de leite tratada: 30.000 l/dia
- população equivalente: 900 habitantes
- volume do valo: 85 m³
- rotor tipo Penha

(*) Engenheiros da CETESB – Cia. Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico e de Controle de Poluição das Águas.

(**) Engenheiro da CAGECE – Cia. de Águas e Esgotos do Ceará.

- comprimento: 1,20 m
 - diâmetro: 0,70 m
 - submersão: 0,12 m
 - n.º de rotações por minuto: 100
- dimensões do valo
- largura: 1,80 m
 - altura da lâmina líquida: 1,20 m
 - comprimento: 41 m
- potência do motor: 4 H.P.
- leitos de secagem: 2 (5 x 4 m)
- decantador tubular:
- área: 0,80 m²
 - quantidade de placas: 10 telhas «EL-VIC» em PVC rígido modelo GRECA (2 x 1 m)
 - inclinação 55° com a horizontal
 - comprimento: 0,65 m

A aeração do sistema visa introduzir oxigênio para o processo metabólico dos microrganismos, promover a circulação e agitação evitando assim a sedimentação dos sólidos em suspensão e eliminar produtos voláteis da metabolização. Em geral a energia mecânica mínima a ser introduzida no sistema é determinada em função do oxigênio necessário.

Experimentalmente verificou-se que o oxigênio absorvido pelos microrganismos independe da concentração de oxigênio dissolvido desde que esta seja superior a 0,5 mg/l mantendo-se, no entanto, como recomendação prática um nível de 2,0 mg/l na unidade de aeração. (*)

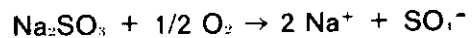
mente neste tipo de tratamento, visando a obtenção de valores reais para a aplicação em projetos.

II – METODOLOGIA

A metodologia aplicada para o desenvolvimento do teste está a seguir descrita:

- o valo, após limpeza, foi preenchido com água limpa, à temperatura ambiente (aproximadamente 20°C);
- nas condições iniciais de teste, o oxigênio dissolvido foi reduzido até aproximadamente zero;
- para a remoção do oxigênio dissolvido existente nas águas utilizou-se sulfito de sódio (Na₂SO₃), tendo cloreto de cobalto (CoCl₂) como catalizador.

O sulfito de sódio reage da seguinte maneira para reduzir o nível de oxigênio dissolvido:



Esta equação indica que 126 g de sulfito de sódio reagem com 16 g de oxigênio, ou na relação 7,88 para 1,00. Como a concentração de OD na saturação é de 8,5 mg/l (20°C e 600 m sobre o nível do mar), a quantidade de sulfito de sódio necessária é de 67 mg/l. Num volume de 85.000 l teremos a necessidade de 5.695 g de Na₂SO₃.

Na prática usa-se uma quantidade adicional de sulfito (aproximadamente 25% a mais), pois liga-se os aeradores por ins-

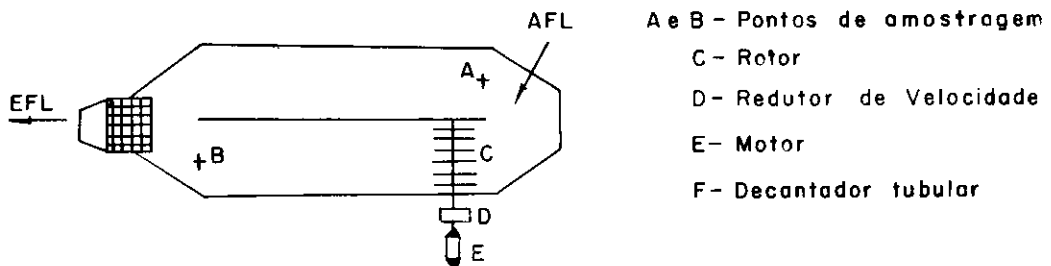


Fig. 1 - Desenho em planta do valo com indicação dos pontos de amostragem.

Este trabalho tem como escopo principal a determinação do parâmetro, razão de transferência de oxigênio através de dois tipos de rotores empregados comu-

tantes para promover a mistura no tanque de prova, o que acarreta uma introdução de oxigênio.

A concentração de cloreto de cobalto que se aconselha usar situa-se ao redor de 1,0 mg/l, expressa em cobalto.

- as amostras para realização do teste foram colhidas em 2 pontos de baixa turbulência mostrados na figura 1.

(*) Technical Practice Committee – Subcommittee on Aeration in Wastewater Treatment – Aeration in wastewater treatment – Manual of practice n.º 5. *Journal Water Pollution Control Federation*, 41(11):1863-78. Nov. 1969.

TABELA I - VALORES DE TEMPO E DEFICIT DE OXIGENIO DISSOLVIDO EM EXPERIENCIAS REALIZADAS COM TIPOS DE ROTORES DIFERENTES EM FUNÇÃO DO TIPO E CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMENTO DO ROTOR.

DATA: 21/05/73 ROTOR: PENHA - 4 pás 103 rpm TEMP.ÁGUA: 20°C(Cs=8,5 mg/l) SUBMERGÊNCIA: 10 cm		DATA: 21/05/73 ROTOR: PENHA - 8 pás 103 rpm TEMP.ÁGUA: 21°C(Cs=8,3 mg/l) SUBMERGÊNCIA: 10 cm		DATA: 25/05/73 ROTOR: HESS - 103 rpm TEMP.ÁGUA: 21°C(Cs=8,3 mg/l) SUBMERGÊNCIA: 07 cm		DATA: 01/06/73 ROTOR: HESS - 103 rpm TEMP.ÁGUA: 20°C(Cs=8,5 mg/l) SUBMERGÊNCIA: 10 cm	
TEMPO T(min.)	DEFICIT O.D. (mg/l)	TEMPO T(min.)	DEFICIT O.D. (mg/l)	TEMPO T(min.)	DEFICIT O.D. (mg/l)	TEMPO T(min.)	DEFICIT O.D. (mg/l)
0	8,2	0	7,3	0	7,7	0	7,6
2	8,3	1:30	6,8	2	6,9	1	7,6
6	7,5	3	6,1	3	6,6	3	7,4
7:30	7,4	4	5,9	5	6,1	4	6,9
9	6,9	6	5,5	7	5,6	5:30	5,9
10	6,8	8	4,8	9	5,2	7	5,6
12	6,4	10	4,4	12	4,4	8	5,1
15	6,1	15	3,4	14	4,2	10	4,5
18	5,5	20	2,8	17	3,7	12	3,8
22	5,2	30	1,8	22	2,8	17	2,8
27	4,5	40	1,2	27	2,5	22	2,0
32	3,9	-	-	32	2,0	27	1,6
37	3,6	-	-	37	1,8	-	-
42	3,3	-	-	-	-	-	-
52	2,6	-	-	-	-	-	-

FONTE: LEVANTAMENTO DE CAMPO DA DIVISÃO DE ESTUDOS ESPECIAIS DA CETESB/73.

*Cs: concentração de saturação de oxigênio.

— as determinações de oxigênio dissolvido nos pontos de coleta foram realizados num intervalo de tempo que permitiu obter um mínimo de 6 amostras entre 10 e 70% da concentração de saturação de oxigênio. O método de análise utilizado foi de Winkler modificado pela azida.

— medidas de potência consumida foram realizadas para cada situação apresentada, em função do tipo de rotor, número de rotações e submergência utilizando-se para tal um voltímetro e um amperímetro.

— com os dados obtidos em campo foi construído um gráfico, em papel monologaritmico, do déficit de oxigênio em função do tempo. O déficit é a diferença entre o oxigênio na saturação e o oxigênio dissolvido determinado.

— a seguir com auxílio do gráfico determinou-se o coeficiente de transferência de oxigênio (K_T) na temperatura (T) do teste obtido pela expressão:

$$K_T = 138 \frac{\log D_{t_1} - \log D_{t_2}}{t_2 - t_1} \quad [\text{hr}^{-1}]$$

sendo

D_{t_1} — déficit de oxigênio no tempo t_1

D_{t_2} — déficit de oxigênio no tempo t_2

— o coeficiente de transferência K_T foi corrigido para a temperatura de 20°C pela expressão

$$K_{20^\circ\text{C}} = K_T (1,024)^{20-T}$$

— por fim determinou-se a razão de transferência (R) de oxigênio de acordo com a seguinte expressão

$$R = \frac{K_{20^\circ\text{C}} \times D \cdot (8,34/10^6) W}{P}$$

sendo

D = deficit de oxigênio a 20°C

8,34/10⁶ = fator de conversão de ppm para pounds per million gallons

W = capacidade do sistema (em galões)

P = potência de consumo do rotor em HP

O valor de R obtido é expresso em lb de O₂/HP/h

III — TESTE PROPRIAMENTE DITO

Os testes foram desenvolvidos com dois tipos de rotores com as seguintes características:

- tipo «PENHA», 0,70 m de diâmetro, 102 rpm, 1,20 m de comprimento, submergência 0,10 m, com 4 e 8 pás
- tipo «HESS», 0,70 m de diâmetro, 103 rpm, 1,00 m de comprimento, submergência de 0,07 e 0,10 m

O rotor tipo PENHA foi construído com malhas de 1/2" de arame fixadas radialmente.

O rotor tipo HESS constituiu-se de dentes ou fileiras de ripas de madeira de seção retangular dispostas radial e simetricamente.

Nas tabelas I e II encontram-se apresentados os dados obtidos experimentalmente.

TABELA II

Valores de tensão e corrente em função dos tipos de rotores.

Tipo de rotor		Tensão (V)	Corrente (A)
PENHA	Número de pás	4	7,8
		8	9,2
HESS	Submergência	0,07 m	8,2
		0,10 m	8,6

FONTE: Levantamento de campo da Divisão de Estudos Especiais da CETESB/73.

TABELA III

Valores de potência efetiva consumida em função dos tipos de rotores.

Tipo de rotor			Potência (H.P.)
P E N H A	Número de pás subm. — 10 cm	4	3,69
		8	4,35
H E S S	Submergência	0,07 m	3,88
		0,10 m	4,07

FONTE: Levantamento de campo da Divisão de Estudos Especiais da CETESB/73.

NOTA: A potência foi calculada pela expressão:

$$P = \frac{3 VI \cos \varphi}{1000}$$

onde o fator de potência $\cos \varphi$ foi tomado como 0,85.

Em anexo encontram-se os gráficos construídos com base nos dados experimentais de onde foram tirados os valores de déficit de oxigênio e tempo, tabelados a seguir.

Com base nos valores das Tabelas III e IV determinou-se o parâmetro razão de transferência de oxigênio (R) em função do tipo do rotor e características de funcionamento cuja seqüência de cálculo é mostrada no quadro a seguir.

IV — CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dos testes de reoxigenação realizados com os dois tipos de rotores de eixo horizontal pode-se observar que:

- no tipo Penha a razão de transferência de oxigênio (R) aumentou com o número de pás instaladas, para uma mesma submergência (0,10 m);
- no tipo Hess essa mesma razão aumentou quando do aumento da submergência de 0,07 m para 0,10 m;
- na comparação do rotor tipo Hess com o rotor tipo Penha de 8 pás (de peso considerável no que toca à sua substituição para reparos), e tendo os dois

TABELA IV

Valores do déficit de oxigênio e dos tempos correspondentes em função do tipo e características de funcionamento do rotor.

Tipos de rotor e características de funcionamento	Déficit de oxigênio		Tempo	
	D _{t1} (mg/l)	D _{t2} (mg/l)	t ₁ (min)	t ₂ (min)
Tipo Penha — 4 pás Submergência: 0,10 m	8,9	2,6	0	50,0
Tipo Penha — 8 pás Submergência: 0,10 m	7,2	1,0	0	43,5
Tipo Hess Submergência: 0,07 m	7,4	1,0	0	48,5
Tipo Hess Submergência: 0,10 m	8,7	1,0	0	32,7

FONTE: Dados obtidos dos gráficos em anexo.

V - ANEXOS

Gráfico I - Deficit de O₂ contra o tempo

Data: 21/05/73
 Rotor: tipo Penha (4 pás)
 Submersão: 0,10 m
 Temperatura: 20°C
 r.p.m.: 103
 Cs: 8,5 mg/l

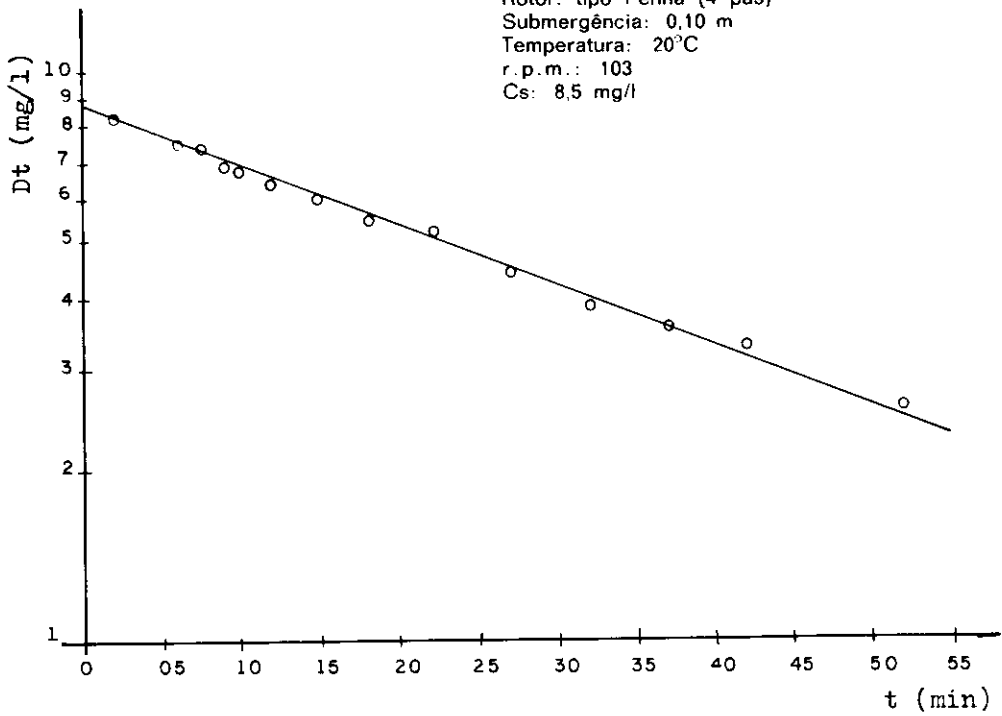
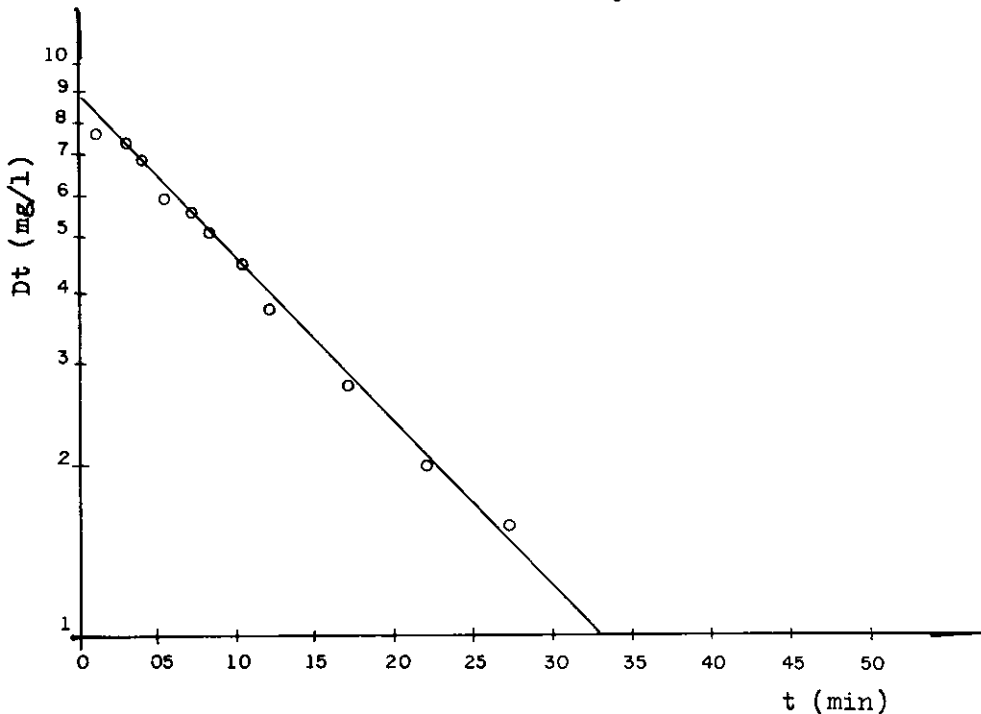


Gráfico II - Deficit de O₂ contra o tempo

Data: 21/05/73
 Rotor: tipo Penha (8 pás)
 Submersão: 0,10 m
 Temperatura: 21°C
 r.p.m.: 103
 Cs: 8,3 mg/l



Fonte: Levantamento de campo, Divisão de Estudos Especiais, CETESB/73.

Gráfico III - Deficit de O₂ contra o tempo

Data: 25/05/73

Rotor: tipo Hess

Submergência: 0,07 m

Temperatura: 21°C

r.p.m.: 103

Cs: 8,3 mg/l

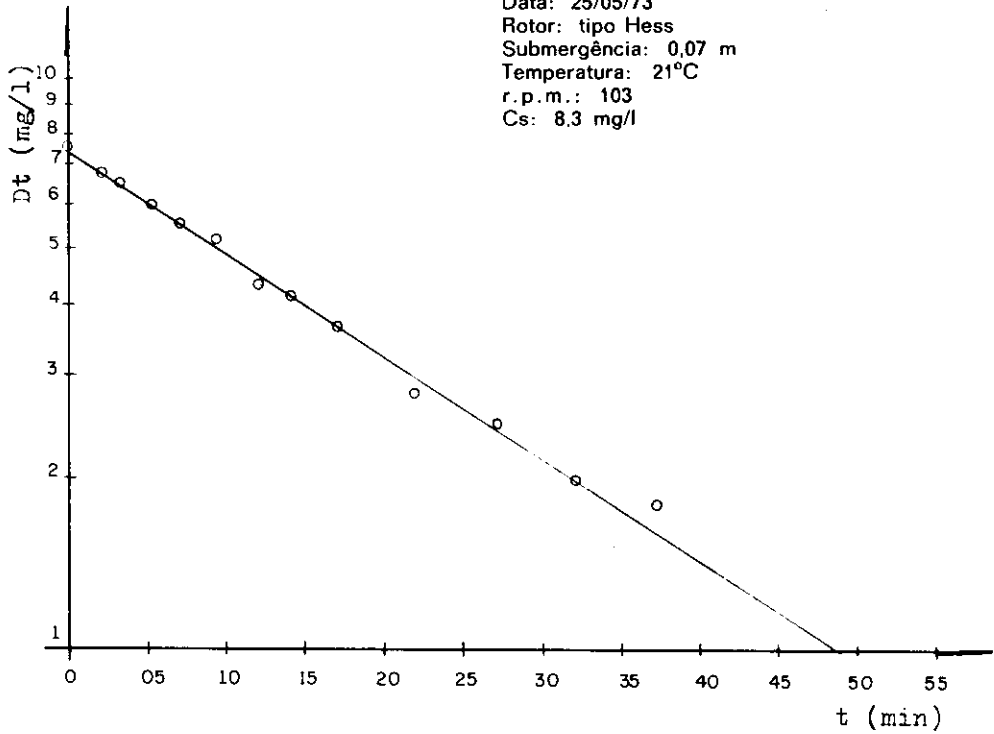


Gráfico IV - Deficit de O₂ contra o tempo

Data: 01/06/73

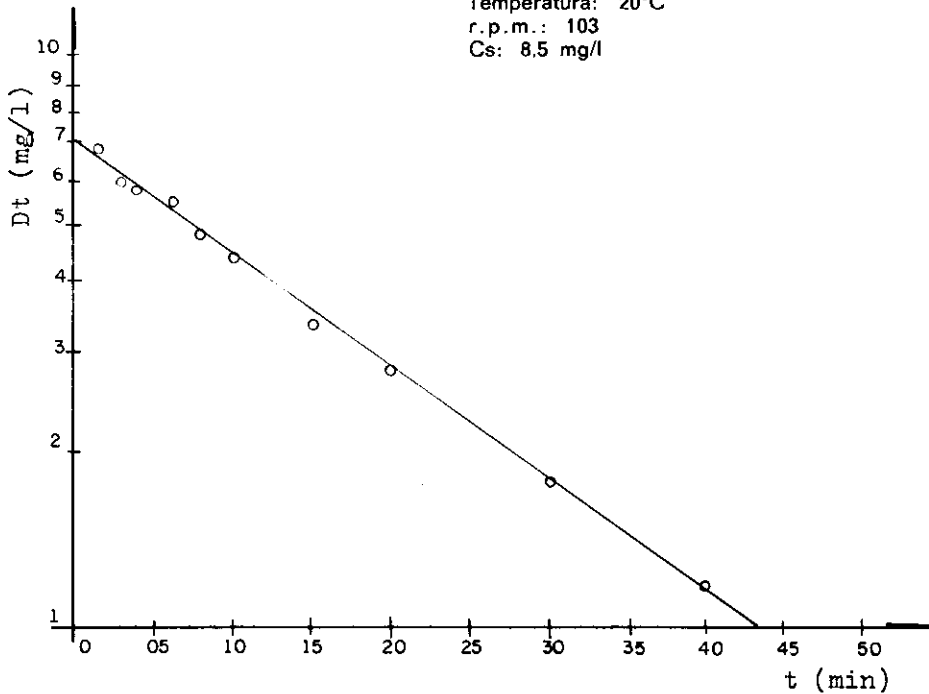
Rotor: tipo Hess

Submergência: 0,10 m

Temperatura: 20°C

r.p.m.: 103

Cs: 8,5 mg/l



Fonte: Levantamento de campo, Divisão de Estudos Especiais, CETESB/73.

QUADRO I - SEQUENCIA DE CÁLCULO DA RAZÃO DE TRANSFERENCIA DE O₂ EM FUNÇÃO DO TIPO DE ROTOR, E CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMENTO.

PARAMETROS CALCULADOS TIPO E CARACTERÍSTICAS DO FUNCIONAMENTO DO ROTOR.	$K_T = 138 \frac{\log D_{t1} - \log D_{t2}}{(t_2 - t_1)}$ (h ⁻¹)	$K_{20^\circ C} = K_T (1,024)^{20 - T}$ (h ⁻¹)	$R = \frac{K_{20^\circ C} \cdot D \cdot (8,34/10^6) \cdot W}{P}$ (lbO ₂ /HP/h)	R KgO ₂ /HP/h	R kgO ₂ /HP/h/m
ROTOR: PENHA - 4 pás SUBMERGENCIA: 0,10 m	1,47	1,47	0,63	0,29	0,24
ROTOR: PENHA - 8 pás SUBMERGENCIA: 0,10 m	2,72	2,66	0,97	0,44	0,37
ROTOR: HESS SUBMERGENCIA: 0,07 m	2,47	2,41	0,99	0,45	0,45
ROTOR: HESS SUBMERGENCIA: 0,10 m	4,00	4,00	1,56	0,71	0,71

KT = coeficiente de transferência de O₂ na temperatura T.

D_{t1} = deficit de O₂ na temperatura T₁.

D_{t2} = deficit de O₂ na temperatura T₂.

R = razão de transferência de O₂.

D = deficit de O₂ a 20°C.

W = capacidade do sistema em galões.

P = potência efetiva de consumo do rotor em HP.

NOTA: Capacidade do sistema (volume do valo) 85m³ ou 22.440 gl. calculado em planta com lâmina d'água de 1,20m. A concentração de saturação de oxigênio dissolvido foi calculado com base na altitude de 600m (2000 pés).

Cs (20°C) = 8,5 ppm

Cs (21°C) = 8,3 ppm

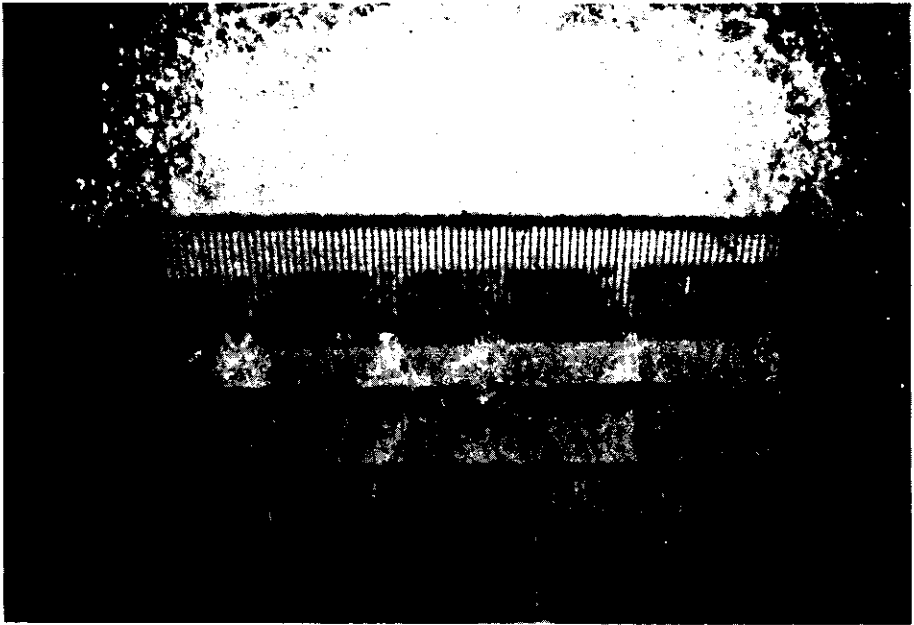


Fig. 2 — Rotor tipo «Penha» em funcionamento.

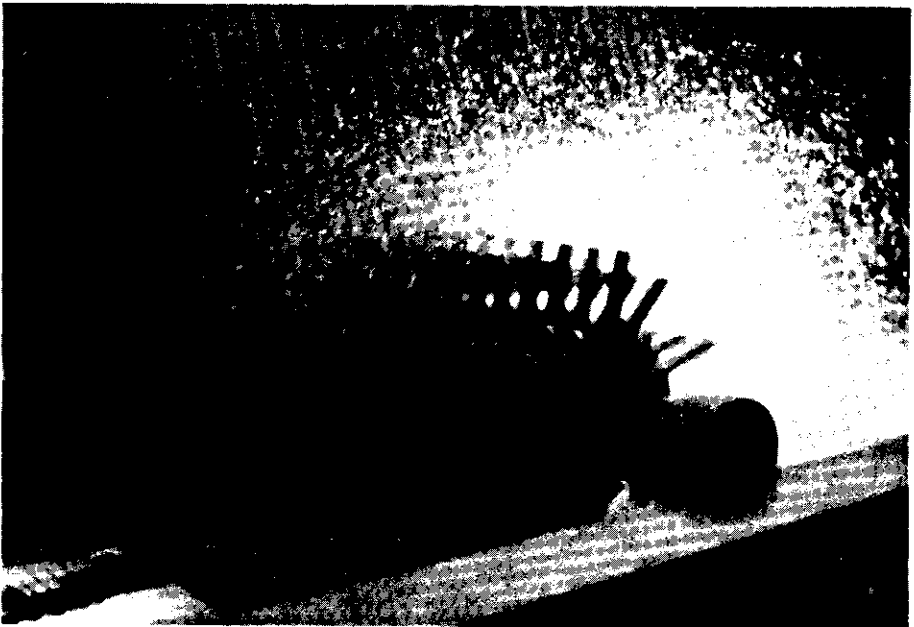


Fig. 3 — Rotor tipo «Hess» em funcionamento.

a mesma submergência de 0,10 m, que o primeiro apresentou, uma eficiência de fornecimento de oxigênio por unidade de potência, consumida por hora e por metro, quase duas vezes maior. Tal resultado sugere como fatores prováveis:

- menor peso do rotor tipo Hess;
- forma do rotor Hess, dispondo de maior número de elementos em con-

tacto com a massa líquida produzindo dessa forma uma quantidade maior de respingos, e consequentemente uma maior reoxigenação.

Para os próximos trabalhos nesse mesmo tema recomenda-se a medição do fator de potência visando obter valores de razão de transferência de oxigênio mais acurados.