



CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

Pavilhão de Exposições

Balneário Camboriú - Santa Catarina - 20 a 25 Nov 1983

8- Aperfeiçoamentos Hidráulicos no Projeto de Lagoas de Estabilização, visando Redução da Área de Tratamento: uma Aplicação Prática



CETESB

ARQUIVO TECNICO

5311
V667a
012284



03973



012284

CLASS	5311
Nº	N 667a
VOLUMBO	12234 ex. 1



CETESB

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

DIRETORIA

Werner Eugênio Zulauf
Diretor-Presidente

Antônio Alves de Almeida
Diretor Administrativo

Nelson Mansour Nabhan
Diretor de Engenharia

Nelson Vieira de Vasconcelos
Diretor de Controle

Nivaldo José Chiossi
Diretor de Planejamento Ambiental

Paulo Bezerril Júnior
Diretor Financeiro

Samuel Murgel Branco
Diretor de Pesquisa



APERFEIÇOAMENTOS HIDRÁULICOS NO PROJETO DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO, VISANDO REDUÇÃO DA ÁREA DE TRATAMENTO: UMA APLICAÇÃO PRÁTICA.

Eng^o Waldo Lima Vidal
Técnico de Saneamento Domenico Tremaroli
Gerência de Assistência aos Municípios

INTRODUÇÃO

A proposição do presente estudo é a de avaliar como, e até que ponto, a implantação de certos aperfeiçoamentos hidráulicos numa lagoa de estabilização de esgotos, podem modificar o seu regime de fluxos e, em consequência, melhorar o seu desempenho e rendimento.

A lagoa facultativa, em estudo, situa-se em Santa Fé do Sul - SP. Originalmente, ela contava, teoricamente, com uma detenção de 70 dias, cargas orgânicas e hidráulicas aplicadas de 45 kg DBO/ha.dia e 0,0212 m/dia, respectivamente. Apresentava baixa produção de oxigênio dissolvido, pequenas oscilações de pH, exalava maus odores e possuía baixas eficiências na remoção de DBO e coliformes fecais.

A recuperação do tratamento vem sendo testada com o emprego de chicanas de fluxo horizontal, instaladas numa parte da área da lagoa. Com apenas 10 a 20 dias de detenção, eficiências maiores que 80% na remoção de DBO estão sendo alcançadas. A investigação terá prosseguimento para determinar o grau de dispersão, taxa de remoção de DBO, minimização da termoclaminação e dos odores da primeira chicana.

OBJETIVOS

Os objetivos do presente estudo são os de apresentar:

- os problemas operacionais ocorridos no funcionamento da lagoa facultativa, em decorrência de imperfeições no projeto, construção e locação inadequadas das lagoas;
- propor alterações no seu regime de escoamento hidráulico e avaliar, na prática, os benefícios alcançados com tais modificações;
- incluir a teoria de reatores de fluxo disperso, atualmente disponível e ajustá-la a nossa proposição experimental que foi, até certo ponto, intuitiva ou empírica;
- comparar o comportamento da lagoa facultativa, antes e depois das alterações no seu regime de fluxo;
- despertar o interesse na investigação de lagoas de estabilização, dimensionadas através de cinéticas que mais se ajustam ao seu verdadeiro regime de mistura, visando a diminuição do tamanho das lagoas.

LOCALIZAÇÃO E DADOS CLIMATOLÓGICOS DA REGIÃO

O Município de Santa Fé do Sul localiza-se a 20°46' de latitude sul, 50°56' de longitude oeste e altitude de 402 m. Dista, em linha reta, 630 km da Capital do Estado e pertence à 8ª Região Administrativa.

De acordo com a classificação climatológica de Köppem (1), o clima da região, onde se localizam as lagoas de estabilização em estudo, é tropical úmido, com chuvas de verão.

Segundo os dados climatológicos, coletados nos últimos 4 anos na Estação Meteorológica de Santa Fé do Sul (Quadro 1), a média mensal das mínimas temperaturas diárias foi de 13,3°C, registrada no mês de junho e o valor médio das máximas temperaturas diárias foi de 32,2°C, obtido em outubro. A estação chuvosa ocorre no verão, de novembro a março, sendo o mês de janeiro o de maior precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar.

Pelos dados observados, naquela estação meteorológica, de abril a outubro, os valores de evaporação foram superiores aos dados de precipitação, invertendo-se essa situação, nos outros cinco meses restantes. O caso mais particular ocorreu em agosto, onde o valor de evaporação foi de 232 mm e a precipitação de 11 mm, o que corresponde a aproximadamente 18% da profundidade de lâmina líquida nas lagoas, ou seja, concentração de 18% de substâncias poluidoras neste sistema.

No mês de janeiro, uma precipitação de 233,7 mm e 99,6 mm de evaporação, obtendo-se um saldo positivo de 138 mm, o que pode ocasionar cerca de 11% de redução no tempo de detenção nas lagoas e a mesma ordem de diluição de substâncias poluidoras.

Esses aspectos hidrológicos não afetam o funcionamento das lagoas, porque taxas de evaporação e precipitação das magnitudes acima mencionadas não persistem durante meses e há um fornecimento constante de esgoto às lagoas, em prazo relativamente curto.

No tocante às temperaturas médias do ar, os seguintes dados foram obtidos nos postos hidrometeorológicos (2), localizados próximos da região das lagoas em estudo:

- média anual: 23,4°C
- média do ar no mês mais frio: 19,9°C
- média das máximas do mês mais frio: 26,4°C
- média das mínimas do mês mais frio: 14,0°C
- média das máximas do mês mais quente: 31,1°C

Através da faixa de variação das temperaturas, constata-se que essa pode ser considerada ótima sob o ponto de vista das atividades de algas e bactérias mesófilas, para a remoção da matéria orgânica através do emprego de lagoas de estabilização.

Em relação à radiação solar, embora não se disponha de actinógrafos instalados na região, presume-se que, para aquela latitude e altitude (3), assumindo-se um fator de claridade de céu de 50%, a radiação solar visível será bastante uniforme ao longo do ano oscilando entre 165 cal g/cm².dia a 240 cal g/cm².dia, sendo junho o mês mais crítico. Assim, a intensidade de radiação solar é superior à necessária para a ação fotossintética, não se constituindo um fator limitante para o funcionamento das lagoas.

QUADRO 1-VALORES MÉDIOS DE ALGUNS PARÂMETROS CLIMATOLÓGICOS MEDIDOS NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE SANTA FÉ DO SUL, PERÍODO: JULHO DE 1979 - SETEMBRO DE 1983

MÊS	TEMPERATURA DO AR (°C)			PRECIP. (mm)	EVAP. (mm)	UMID. (%)	HORAS E DÉCIMOS INSOL.
	MÉDIA MÁXIMA	MÉDIA MÍNIMA	MÉDIA DIÁRIA (1)				
Janeiro	31,2	18,9	24,8	233,7	99,6	79,0	54,8
Fevereiro	32,0	18,8	24,9	178,4	107,5	78,2	60,71
Março	31,7	18,4	24,9	142,6	111,6	77,9	60,27
Abril	30,6	16,1	23,2	97,3	121,1	75,0	71,85
Mai	29,4	15,5	21,4	49,7	150,9	72,4	70,26
Junho	26,7	13,3	20,6	49,9	130,8	77,5	62,62
Julho	28,5	13,6	20,7	29,8	191,8	67,5	72,06
Agosto	30,4	15,4	22,8	10,8	231,8	63,3	62,74
Setembro	30,4	15,6	23,2	66,1	195,9	64,8	53,56
Outubro	32,2	18,0	24,6	147,2	181,3	67,7	69,97
Novembro	32,1	18,7	24,4	170,1	134,6	73,3	70,10
Dezembro	31,3	18,9	24,7	195,5	100,1	78,4	50,65
Média	30,4	16,7	23,35	1.371,10	1.757,0	72,92	63,30

(1) Média de 10 anos de leituras obtidas em estação hidrometeorológica situada próxima da região em estudo.

CARACTERÍSTICAS DAS LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

As lagoas de estabilização, do presente estudo, tratam esgotos sanitários de uma pequena bacia de contribuição da cidade de Santa Fé do Sul. São duas lagoas do tipo facultativa, associadas em série, sendo a primeira destinada a remover 80% da carga de DOB_5 prevista e a célula secundária, com a principal função de reduzir patogênicos, assegurando uma melhor qualidade bacteriológica para as águas do corpo receptor.

O conjunto de tratamento prevê beneficiar, nos primeiros 10 anos, 1.600 pessoas e assegurar, em qualquer estação do ano, um efluente com as seguintes características: 50 mg/l de DBO_5 e $3 \times 10^4/100$ ml de coliformes fecais.

A instalação encontra-se em funcionamento desde outubro de 1978, situa-se dentro do perímetro urbano e bem próxima de habitações (Figura 1).

A população contribuinte atual estimada, com base no número de ligações, é da ordem de 980 habitantes.

O sistema recebe esgotos essencialmente domésticos e possui as seguintes características de projeto:

Lagoa Facultativa

- forma: quadrada
- área do espelho d'água: 5.040 m²
- lâmina d'água: 1,50 m
- volume: 7.560 m³
- retenção: 26 dias

Lagoa de Maturação

- forma: retangular
- área do espelho d'água: 1.940 m²
- lâmina d'água: 1,0 m
- volume: 1.940 m³
- retenção: 7 dias



FIGURA 1 - Planta de Localização das Lagoas de Estabilização.

Os esgotos são conduzidos às lagoas, por gravidade, sendo previamente submetidos a gradeamento e desarenação. A entrada dos esgotos na primeira lagoa é feita, próxima às margens do talude, por tubulação superficial, apoiada em pilaretes de alvenaria. A alimentação da segunda célula é feita de maneira idêntica.

A saída do efluente tratado, por ambas as lagoas é efetuada através de vertedores ajustáveis, instalados nas caixas de saída. Cada lagoa possui uma única entrada e saída. Na Figura 2, apresenta-se o esquema dessas lagoas.

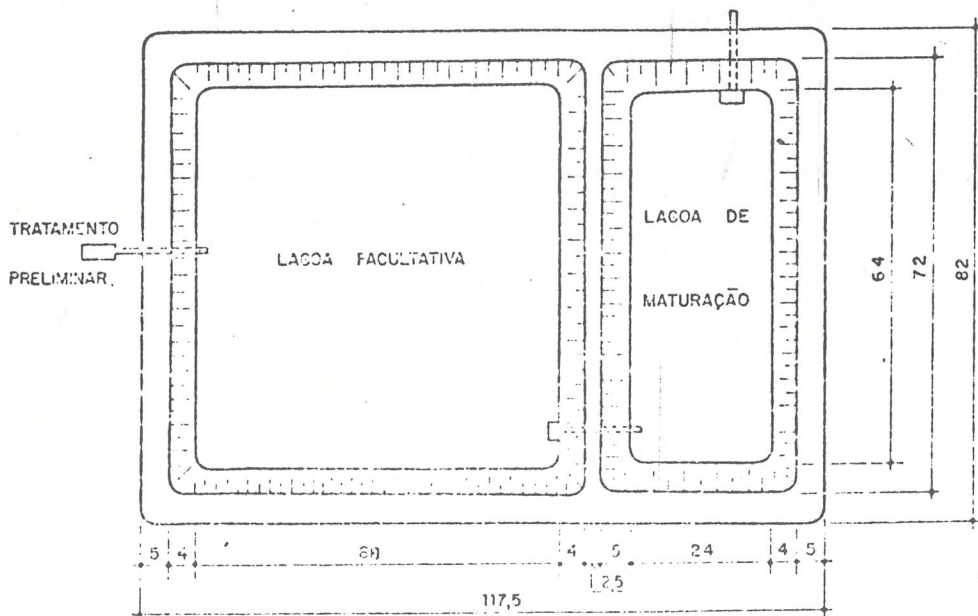


FIGURA 2 - Sistema inicialmente projetado (esquema de fluxos de entrada e saída).

CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS

Vazões Afluentes

De outubro de 1979 até outubro de 1983, o Serviço de Água e Esgotos local procedeu, quase diariamente, a medição de vazões afluentes, no período de 7 às 18 horas. As vazões são obtidas através de emprego de vertedor triangular instalado a jusante das caixas de areia, com leituras de lâminas d'água de meia em meia hora.

Os valores das vazões dos demais horários foram obtidos pela média de 3 a 4 levantamentos, em regime de 24 horas, em cada campanha de amostragem das águas residuárias brutas e tratadas.

De uma maneira geral, as curvas de vazões apresentaram idêntico comportamento quanto às variações horárias, verificando-se um aumento a partir das 6 horas, alcançando-se o máximo entre as 11 e 13 horas. Após esses horários, diminuem gradativamente e voltam a aumentar, mais suavemente, por volta das 18 às 21 horas. As mínimas foram registradas das 23 às 5 horas.

As variações horárias e diárias, em termos de desvio-padrão do esgoto efluente, verificadas nos períodos em que foram feitas as amostragens dos esgotos brutos e tratados, estão indicadas nas figuras 3 a 7.

As vazões médias ponderadas do esgoto afluente estão apresentadas no Quadro 2.

QUADRO 2 - MÉDIA PONDERADA DAS VAZÕES (M³/DIA) DETERMINADA NOS PERÍODOS DE LEVANTAMENTO DE AMOSTRAGEM DOS ESGOTOS BRUTOS E TRATADOS.

PERÍODO	VAZÃO (m ³ /dia)
Outubro-Novembro/1980	107
Fevereiro-Março/1981	153
Março-Abril/1982	124
Março-Abril/1983	133
Julho-Agosto/1983	125

As diferenças entre os períodos de fevereiro/março de 1981 e os demais explicam-se pela ocorrência de uma maior precipitação pluviométrica. A diminuição verificada entre julho/agosto de 1983, em relação a março/abril do mesmo ano, deve-se a um menor consumo de água de abastecimento, no período de inverno.

A contribuição "per capita" do esgoto, estimada através dos dados de vazão média ponderada e população servida pela rede de esgotos, é da ordem de 130 ± 17 l/hab/dia. Este valor é bem inferior ao verificado em estudos realizados no Estado (171 ± 19 l/hab.dia) (4).

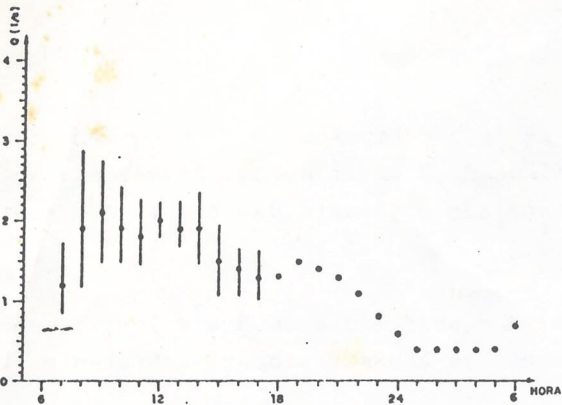


FIGURA 3 - Variação horária e diária da vazão do esgoto afluente.
Período: outubro/novembro - 1980.

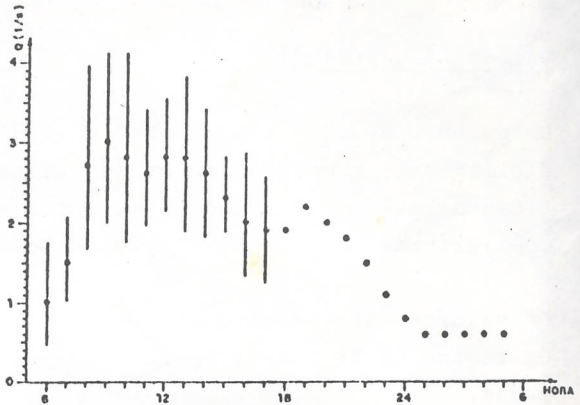


FIGURA 4 - Variação horária e diária da vazão do esgoto afluente.
Período: fevereiro/março - 1981.

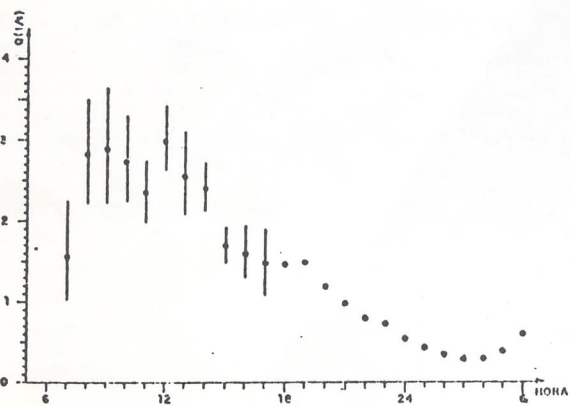


FIGURA 5 - Variação horária e diária da vazão do esgoto afluente.
Período: março/abril - 1982.

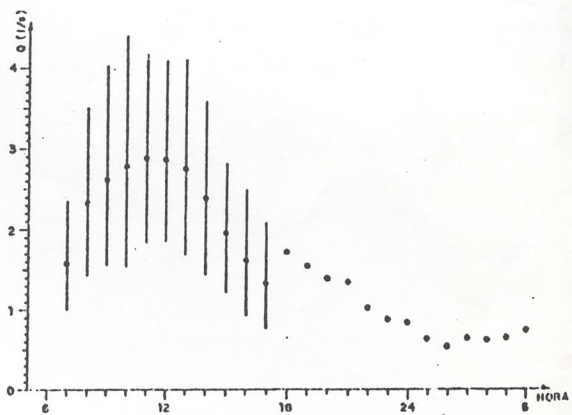


FIGURA 6 - Variação horária e diária da vazão do esgoto afluente.
Período: março/abril - 1983.

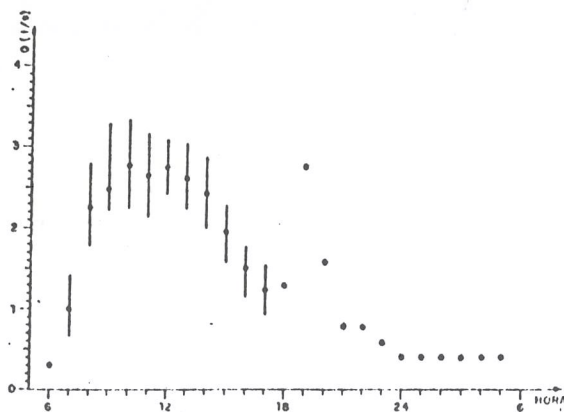


FIGURA 7 - Variação horária e diária da vazão do esgoto afluente.
Período: julho/agosto - 1983.

Características Físicas, Químicas e Bacteriológicas

No Quadro 3 apresenta-se um resumo da composição físico-química e bacteriológica dos esgotos sanitários de Santa Fé do Sul. Neles estão incluídos os valores médios de amostras instantâneas e compostas realizadas em 1980/1981/1982 e 1983.

De uma maneira geral, observa-se que, mesmo em épocas distintas, não houve variações sensíveis na quase totalidade dos parâmetros analisados. Na maioria dos constituintes, essas águas residuárias podem ser classificadas como de composição média à fraca, se comparadas a esgotos domésticos dos Estados Unidos.

A concentração de sólidos totais é relativamente baixa, dos quais, 49% são de matéria inorgânica, não degradada bioquimicamente, restando 51% de sólidos voláteis (orgânicos).

Com base na amostra composta, observa-se que o "per capita" de DBO no presente estudo é de 35 g/hab.dia, bem inferior a média levantada em outras lagoas de estabilização do Estado ($43,8 \pm 7,3$) (15).

No tocante à contribuição "per capita" de coli fecal, determinado no esgoto afluente na lagoa em estudo, observa-se que é de $9,1 \times 10^{10}$ /dia, valor próximo do verificado em outras lagoas (15).

Em relação às concentrações médias dos principais nutrientes encontrados nos esgotos afluentes, indispensáveis para o desenvolvimento das algas e o potencial de crescimento de algas estimado para as lagoas de estabilização de Santa Fé do Sul, elaborou-se o Quadro 4. Segundo esse Quadro, a máxima concentração de algas está limitada pela quantidade de carbono e seria de 240 mg/l, valor típico de crescimento de alga (como C) para esgoto municipal (5).

Conclui-se, em consequência, que não há deficiência de nutrientes para o desenvolvimento de algas nas lagoas.

QUADRO 3 - CARACTERÍSTICAS MÉDIAS DOS ESGOTOS SANITÁRIOS DE SANTA FÉ DO SUL

PARÂMETROS (mg/l)	AMOSTRAS COMPOSTAS			AMOSTRAS INSTANTÂNEAS	
	03/82	03/83	08/83	MÉDIA 80	MÉDIA 81
Sólidos sedimentados (1)	0,5	0,5	4,0	5,0	4,0
Sólidos totais	458	378	572	-	-
S.T.voláteis	210	195	315	-	-
S.T.fixos	248	183	257	-	-
Sol.dissolvidos	297	274	387	-	-
Dissolvidos voláteis	175	113	182	-	-
Dissolvidos fixos	122	161	205	-	-
Sol. suspensão	161	104	185	-	-
Susp. voláteis	129	82	133	-	-
Susp. fixos	32	22	52	-	-
DBO	246	220	295	250,0	340,0
DQO	424	337	637	670,0	779,0
Nitrog.total-N	46	17,8	55,5	26,0	-
Nitrog.amoniacoal-N	37	11,8	42,0	-	-
Nitrog.orgânico-N	9	6,0	13,5	-	-
Nitrog. nitrito-N	0,01	0,02	0,06	-	-
Nitrog. nitrato-N	0,01	0,02	0,01	-	-
Alcalinidade(HCO ₃)	194	123	164	-	-
Col.fecais (2)	$1,1 \times 10^8$	$2,4 \times 10^5$	$3,5 \times 10^7$	$2,4 \times 10^7$	$1,5 \times 10^8$
pH	7,4	6,8	-	6,7	6,8

(1) Unidade ml/l

(2) NMP/100 ml

QUADRO 4 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS PRINCIPAIS NUTRIENTES E POTENCIAL DE ALGAS ESPERADO (mg/l, PESO SECO)

ELEMENTO	CONCENTRAÇÃO DISPONÍVEL NO ESGOTO (mg/l)	% EM PESO SECO DAS ALGAS		FAIXA PROVÁVEL DE ALGAS (mg/l, PESO SECO)
		CHRORELLA PYRENOIDOSA	EUGLENA GRACILIS	
C	~ 120	49,10	44,80	244 - 270
N	46	2,91	4,03	1.141 - 1.580
P	6,2	1,28	1,88	330 - 484
K	18,2	1,31	0,38	1.390 - 4.790
Ca	23,0	1,85	1,54	1.240 - 1.490
Mg	6,8	0,29	0,30	2.345 - 2.267

PROBLEMAS OPERACIONAIS DAS LAGOAS

Transcorridos os quatro primeiros meses de operação, as lagoas, principalmente a facultativa, começaram a apresentar anormalidades no seu funcionamento e que se repetiram, com certa frequência, no decorrer dos anos de 1980, 1981 e início de 1982.

Entre os distúrbios ocorridos, incluem-se:

- baixa produtividade de oxigênio, predominando concentrações elevadas nos primeiros 20 cm abaixo da superfície, acompanhada de uma brusca diminuição nas camadas subsequentes;
- o nível de oxipausa, raras vezes, ultrapassou 60 cm e manteve-se, quase todo o tempo, na faixa dos 30 cm abaixo da superfície;
- uma estratificação térmica pronunciada e duradoura, na quase totalidade das estações, com termoclima se estabelecendo numa região próxima da camada do topo;
- predominância de baixos valores de pH (6,0 a 7,5), bem semelhantes ao das águas residuais brutas. A oscilação era muito pequena, mesmo nas horas de maior incidência solar;
- alterações cíclicas na coloração do líquido, de um verde escuro para um amarelo esverdeado, com formação de "natas" de algas, que se decompunham e exalavam maus odores;
- pouca diversidade do plâncton, predominando algas do grupo clorofíceas.
- coloração marrom avermelhada nos dias de produção nula de oxigênio dissolvido;
- densidade de algas na camada superficial da lagoa, impedindo a penetração de luz (aumento de turbidez) e limitando a zona fótica à cerca de 20 cm ou menos;
- eficiência na remoção de DBO_5 , quase sempre, inferior à prevista em projeto;

Causas dos Desequilíbrios

As anormalidades ocorridas no comportamento das lagoas, em especial na primeira, resultando em uma baixa eficiência na remoção de DBO e coliformes fecais, foram ocasionadas por

deficiências de projeto e de construção. Entre essas, incluem-se, a geometria da lagoa, sua localização em relação aos ventos predominantes, bordas livres excessivas e arranjos deficientes dos dispositivos de entrada e saída dos fluxos.

Embora, os fatores físicos acima mencionados não tenham sido investigados em profundidade, excluimos os fatores biológicos e ambientais como os possíveis causadores dos desequilíbrios operacionais, pelas seguintes razões:

- as condições ambientais predominantes (temperatura, radiação solar) nessa região são bastante favoráveis à implantação de lagoas. Ressalva-se que as temperaturas, elevadas poderão afetar o rendimento das lagoas. Caso elas não sejam ventiladas e, como consequência, se estabeleça a estratificação térmica, impossibilitando então a mistura da massa líquida;
- não existem nessas águas residuárias uma limitação de nutrientes e presença de substâncias tóxicas que impeçam o desenvolvimento de atividade biológica. Aliado a isso, a carga orgânica aplicada à facultativa, nos anos de distúrbios do processo, representava cerca de 20% da máxima, teoricamente, aceitável para aquela região (6).

Sabe-se dos reatores de cinéticas químicas (7), e como as lagoas são a eles equiparados, que a condição ótima de mistura do esgoto ocorre quando ele se homogeneiza vertical e longitudinalmente e desloca-se ao longo do tanque, permanecendo o tempo estritamente necessário para alcançar o grau de tratamento requerido. Uma situação mais próxima da teoricamente descrita, poderá ser atingida quanto mais retangular a geometria da lagoa e melhor a distribuição dos fluxos, no sentido da entrada para a saída.

Na lagoa facultativa em questão, por imposições topográficas do terreno, foi adotada a forma quadrada e um único dispositivo de entrada e saída (instalados na diagonal do quadrado).

Tal configuração propiciou a formação de zonas menos ativas de mistura nos cantos da lagoa, fazendo com que, nesses bolsões, o esgoto permaneça mais tempo que o necessário e nas linhas de correntes preferenciais, o fluxo saía antes do tempo requerido. Agravando ainda mais os curto-circuitos, os dispositivos de entrada e saída dos esgotos foram locados no sentido dos ventos predominantes.

A baixa eficiência hidráulica da lagoa, impedindo a utilização racional da área de tratamento disponível, levou, provavelmente, a um afastamento do tempo de detenção teoricamente previsto no projeto. Estabeleceu-se, então, condições adversas ao meio e transtornos operacionais, considerados até então, pouco significativos, no rendimento do sistema.

Outro aspecto que favoreceu a termoestratificação foi a má localização das lagoas. Situada numa depressão do terreno (Figura 1), confinadas entre o aterro da linha da estrada de ferro e o paredão do estádio de futebol, com bordas livres excessivas de 0,50 m a 2,55 m, em 3/4 do seu perímetro, esses obstáculos constituem verdadeiras barreiras à ação homogeneizadora dos ventos. As lagoas tornaram-se mau ventiladas e com a elevação das temperaturas, na época do verão, há a formação de um gradiente térmico, logo abaixo da superfície (10 a 20 cm), impedindo a mistura da massa líquida da camada superior para a inferior e vice-versa. Essa falta de mistura vertical da massa d'água, afeta a distribuição das algas e oxigênio e, em consequência, a eficiência das lagoas de estabilização.

MODIFICAÇÕES PROPOSTAS PARA AS LAGOAS

O aumento da eficiência hidráulica da lagoa facultativa poderia ser alcançado pela aplicação prática das seguintes alternativas:

- relocação e aumento do número de entradas e saídas dos fluxos;
- alimentação submersa dos esgotos no centro da lagoa e previsão de 4 dispositivos de saída nos cantos da lagoa;
- compartimentação da lagoa, transformando-a em 2 lagoas do tipo australiano, operadas em paralelo, simultânea ou alternadamente;
- instalação de chicanas disciplinadoras de fluxos, do tipo horizontal ou vertical, em uma parte da área da lagoa.

Qualquer dessas alternativas poderiam ser aperfeiçoadas, com o auxílio de misturadores mecânicos ou bombas de recirculação para romper, mais facilmente, a estratificação térmica decorrente da insuficiência de ventos e predominância de altas temperaturas do ar nessa região.

Como a vazão atualmente tratada pelas lagoas ($128 \text{ m}^3/\text{dia}$) é inferior à prevista em projeto ($260 \text{ m}^3/\text{dia}$) e, em consequência, a detenção atual é excessiva, optou-se pelo emprego de soluções que levassem a uma redução da área de tratamento, sem prejuízo da eficiência. As duas últimas alternativas foram selecionadas e ambas postas em prática. O presente trabalho inclui somente o estudo da última alternativa, que consiste do emprego de chicanas disciplinadoras de fluxos e do tipo horizontal.

Revisão dos Critérios Racionais de Projeto

As lagoas de estabilização são dimensionadas por equações matemáticas, formuladas a partir de modelos cinéticos combinados com as características hidráulicas dos reatores.

Elas são equiparadas, portanto, a reatores químicos processando uma reação e com as seguintes hipóteses simplificadoras:

- a taxa de reação processa-se segundo uma cinética de primeira ordem, isto é, a taxa de remoção do DBO (taxa de oxidação orgânica) numa lagoa é diretamente proporcional a quantidade de DBO remanescente em qualquer tempo;
- a constante de velocidade de reação (K), que estima o progresso de decomposição de matéria orgânica, assume um único valor e segue a relação de Arrhenius quanto à temperatura;
- a vazão que entra e sai de uma lagoa é considerada constante em relação ao tempo;
- o regime de fluxo (escoamento hidráulico ou de mistura) é considerado, na maioria dos modelos matemáticos, como sendo do tipo ideal;
- a influência da camada de lodo, no comportamento da lagoa, é negligenciada pela maioria dos modelos matemáticos formulados.

Regime de Fluxo

Existem dois tipos de regime de fluxo ideais: o pistão e o de mistura completa.

Na lagoa, dimensionada como um reator do tipo pistão ou tubular, cada elemento do fluido desloca-se ao longo do reator na mesma ordem que entrou, sem um alcançar o outro. Não há, conseqüentemente, mistura longitudinal, nem variação de velocidade ou dispersão nesse sentido. Assim, o tempo de percurso desses elementos é igual ao tempo teórico de detenção. No fluxo pistão, a concentração do reagente decresce com o tempo ao longo do reator. A equação representativa desse regime de escoamento hidráulico é assim representada:

$$\frac{Se}{Sa} = e^{-KR} \quad \text{(Equação 1)}$$

onde:

- Se = concentração de DBO do efluente, mg/l;
- Sa = concentração de DBO do afluente, mg/l;
- e = base dos logaritmos naturais, 2,7183;
- K_p = taxa de remoção de DBO constante e de 1ª ordem, dias⁻¹;
- R = tempo de detenção, dias.

No reator de mistura completa, os elementos do fluido, ao entrarem na lagoa, são imediatamente dispersos, suas propriedades são uniformes em todo o volume e, portanto, idênticas àquelas do efluente. A equação representativa desse regime de fluxo é a seguinte:

$$\frac{Se}{Sa} = \frac{1}{1 + K_c \cdot R} \quad \text{ou} \quad \left(\frac{Se}{Sa} - 1 \right) = K_c \cdot R \quad \text{(Equação 2)}$$

onde:

- Se = concentração de DBO do efluente, mg/l;
- Sa = concentração de DBO do afluente, mg/l;
- K_c = taxa de remoção de DBO de primeira ordem de mistura completa, dias⁻¹;
- R = tempo de detenção, dias.

O emprego das equações 1 e 2, no dimensionamento das lagoas de estabilização, não aeradas artificialmente, tem várias limitações:

- a mistura completa se fará unicamente pela ação do vento, hipótese difícil de se obter;
- é impraticável se construir uma lagoa onde não ocorra mistura longitudinal;
- curto-circuitos, zonas mortas, variações das velocidades dos fluxos de entrada, correntes de diferentes densidades, forma irregular das lagoas, são alguns dos fatores que alteram o regime de escoamento hidráulico das lagoas.

Na prática, o regime de fluxo que ocorre numa lagoa é do tipo arbitrário, parcialmente disperso, pistão com dispersão, ou de fluxo não ideal. Nas lagoas de estabilização tem sempre uma certa quantidade de volume morto que não entra efetivamente no processo de operação, há sempre uma dispersão em que o material é transportado de regiões de altas concentrações para regiões de baixas concentrações, pela turbulência de redemoinhos.

Thirumurthi (8) recomendou o emprego da seguinte equação de reator químico, desenvolvido por Wehner e Wilhelm (9), para o projeto de lagoas de estabilização:

$$\frac{S_e}{S_i} = \frac{4 a e^{d/2}}{(1+a)^2 \cdot e^{a/2d} - (1-a)^2 \cdot e^{-a/2d}} \quad (\text{Equação 3})$$

onde:

$$a = \sqrt{1 + 4 KRd}$$

$$d = \frac{D}{V \cdot L} = \frac{DR}{L^2}$$

em que:

d = constante ou número de dispersão adimensional;

D = coeficiente de dispersão axial, m^2/h ;

L = extensão do percurso do fluido do influente ao efluente (m);

S_e = DBO do efluente, mg/l;

S_a = DBO do afluyente, mg/l;

K = coeficiente de remoção de DBO de 1ª ordem (dias^{-1});

R = tempo de detenção médio (dias);

V = velocidade do fluxo (m/h).

O segundo termo da Equação 3 é pequeno e, como aproximação, pode ser desprezado. A equação simplificada é:

$$\frac{S_e}{S_a} = \frac{4 a e^{1 - a/2d}}{(1+a)^2} \quad (\text{Equação 4})$$

A Equação 4 não deverá ser usada quando o valor de d excede 2,0, mas é geralmente satisfatória para valores menores (8).

Nas equações 3 e 4, Thirumurthi estabelece que:

- o K leva em conta a temperatura, qualidade das águas residuárias, deficiências de nutrientes, carga orgânica e outros fatores biológicos;
- curto-circuitos nos tanques, dispositivos de entrada e saída e outras características hidráulicas podem ser representadas pelo valor de d ;
- a carga hidráulica é representada pelo valor do tempo de residência ou tempo médio de detenção R .

Para facilitar o emprego da Equação 3, Thirumurthi elaborou o gráfico (Figura 9), do produto adimensional KR versus a porcentagem de DBO remanescente.

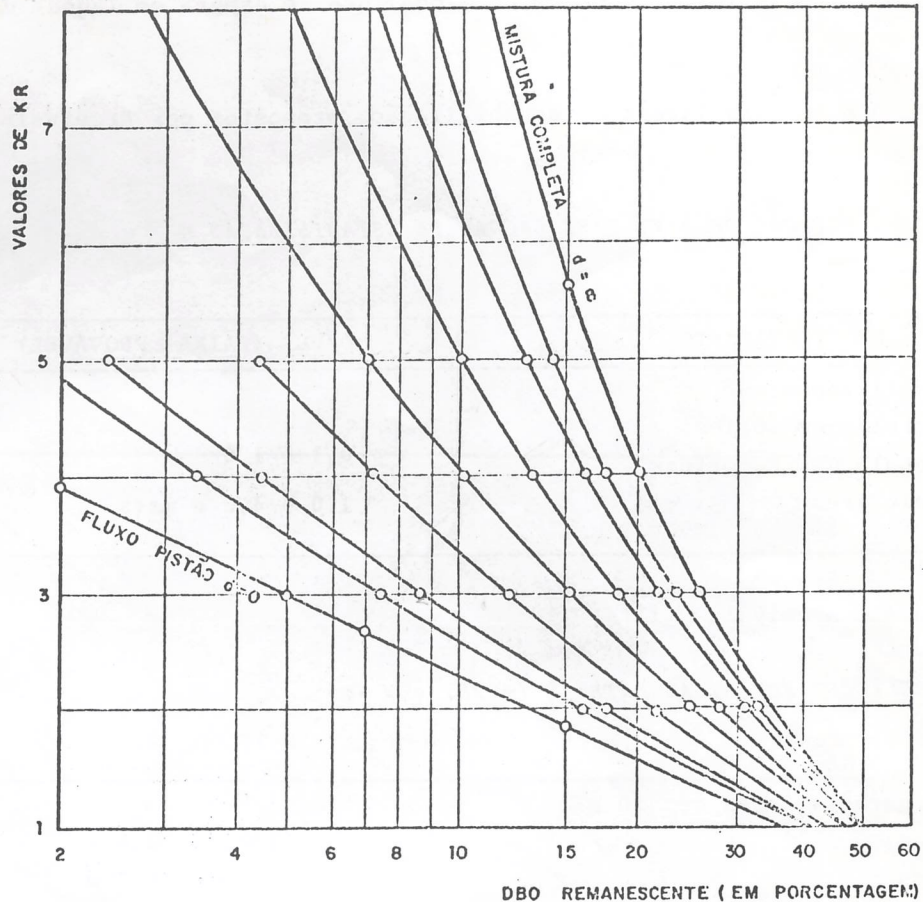


FIGURA 8 - Representação gráfica da Equação Wehner, preparada por D.Thiromurthi. (Ref. 8).

Esse gráfico mostra que para qualquer combinação de KR , a eficiência de remoção de DBO é maior quanto mais o regime de mistura tende ao pistão (dispersão nula) e menor quanto mais tende a mistura completa (dispersão infinita). Equivale dizer que para um dado valor de taxa de remoção de DBO (K) e um mesmo grau de eficiência, o tempo de detenção é mínimo numa lagoa com dispersão nula e é máximo num reator de mistura completa. Como, na prática, esses 2 modelos do tipo ideal, não se conseguem, a redução do porte da lagoa se conseguirá, se a sua configuração hidráulica levar a baixos valores de d .

Thiromurthi sugeriu que antes de se definir a configuração de uma lagoa, fossem realizados testes com traçadores químicos numa lagoa de teste e então se determinasse o valor apropriado de d para o projeto. Na prática, os valores de d , em lagoas de estabilização, tem variado de 0,1 a 2,0 com a maioria dos valores inferiores a 1,0 (10).

A formulação do modelo de fluxo disperso, expresso pela Equação 3, embora represente satisfatoriamente o escoamento do líquido dentro de uma lagoa, oferece dificuldades práticas porque requer o conhecimento do fator de dispersão e a taxa de remoção de DBO (K).

Recentemente, Arceivala (11) veio preencher essa lacuna, estabelecendo valores típicos de números de dispersão, prováveis nas lagoas de estabilização e em outros tipos de tratamento. Ele também definiu nesse mesmo trabalho, correlações empíricas entre a dispersão axial

(D) e a largura das lagoas (W). Propôs um K_p global que se espera em lagoas de fluxo parcialmente disperso.

Os valores de \bar{d} , D e K_p para lagoas de estabilização, propostos por Arceivala estão resumidos nos Quadros 5 e 6.

QUADRO 5 - VALORES TÍPICOS DE D/VL PARA LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

TIPO DE TRATAMENTO	D/VL (FAIXA PROVÁVEL)
Lagoas de estabilização	
. células múltiplas em séries	0,1 - 1,0
. lagoas retangulares, compridas	
. lagoas unicelulares	1,0 - 4,0 e mais

Referência: segundo Arceivala (11)

QUADRO 6 - CORRELAÇÕES EMPÍRICAS ENTRE D (m^2/h) e W (m)

Lagoas com Larguras maiores que 30 m	
a. com cortinas	$D = 33,0 w$
b. sem cortinas	$D = 16,7 w$
Lagoas com larguras menores que 10 m	
a. com cortinas	$D = 11 w^2$
b. sem cortinas	$D = 2 w^2$

Referência: segundo Arceivala (11)

Notas:

$$K_p = 0,132 \log u - 0,169$$

onde:

K_p : taxa de remoção de DBO para fluxo parcialmente disperso, a 20°C.

$\log u$: log da carga de DBO última, kg/ha.dia; limitada a faixa de 25 a 300 kg DBO_u/ha.dia.

Adaptações na Taxa de Remoção de DBO (K_p)

Partindo-se das formulações propostas por Arceivala (11) para K_p e dos dados operacionais de lagoas facultativas primárias levantadas por Hideo e outros (4), estabeleceu-se uma regressão múltipla entre K_p , carga de DBO última, retenção e temperatura. As lagoas selecionadas para a regressão foram as dos municípios de Guararapés, Nhandeara, Pradópolis e Valparaíso. Elas estão operando com cargas próximas dos limites preconizados por Arceivala e a geometria adotada, nessas lagoas, leva a baixos valores de dispersão. A regressão múltipla estabelecida para o K_p foi a seguinte:

$$K_p = \frac{-6.480 + 30 C + 670 T - 9 R}{100.000}$$

(Equação 5)

A correlação estatística levou a um elevado coeficiente de correlação 0,999 e a aplicação da Equação 5 limita-se a faixa de carga de DBO_u de 98 a 290 kg/ha.dia, temperatura 19 a 27°C e tempo de detenção de 10,0 a 28,5 dias.

Na expressão 4, K_p é a taxa de remoção de DBO para lagoas de fluxo disperso, C a carga de DBO última (kg/ha. dia), T a temperatura da lagoa em °C e R o tempo de detenção em dias.

Alterações no Regime de Fluxo da Lagoa de Santa Fé do Sul

Presumindo, pelas irregularidades apresentadas no funcionamento, que o problema estava intimamente associado à deficiência hidráulica do sistema, procederam-se as seguintes alterações no projeto e construção da lagoa facultativa.

Redimensionamento da Lagoa

Como o número de ligações de esgotos no sistema processava-se num ritmo lento, permitindo uma folga desnecessária na capacidade de tratamento, recalculou-se a lagoa facultativa. Optou-se pelo Método de "Radiação Solar" desenvolvido por Oswald e Gotaas (1957). Este método procura igualar a produção de oxigênio por fotossíntese ao consumo de oxigênio (medido em DBO última removida) e, com isso, obter-se-ia uma área superficial mínima da lagoa para assegurar condições aeróbias.

No Quadro 7, constam os dados de projetos e as dimensões resultantes. Procurou-se também compatibilizar o método de Oswald e Gotaas com as modificações propostas por Siddiqui e Honda (12) e Mc Gauhey (13).

QUADRO 7 - RESUMO DO DIMENSIONAMENTO DA LAGOA FACULTATIVA PELO MÉTODO DE RADIAÇÃO SOLAR

PARÂMETROS	UD	VALORES	PARÂMETROS	UD	VALORES
Vazão média	m ³ /dia	125	Fator oxigenação	-	1,5
DBO ₅ esgoto bruto	mg/l	270	Prod. algas	kg/ha.dia	134
Temp.critica lagoa	°C	19	Prod. oxigênio	kg O ₂ /ha.dia	201
DBO _u , 19°C	mg/l	387	Oxigênio requerido	kg/dia	43,6
Carga DBO _u	kg/dia	48,4	Área necessária	ha	0,22
Rad.visível corrigida	langleys	160	Área adotada	ha	0,21
Ef. Remoção DBO	%	90	Nível de ensolação	langleys	0,69
Calor comb. algas	cal/g	6.000	Prof. lagoa adotada	DBO _u ha ⁻¹ .dia ⁻¹	1,20
Ef. conversão energia	%	5		m	

Implantação de Chicanas de Fluxo Horizontal

Na época das reformulações propostas para a lagoa facultativa de Santa Fé do Sul, não se dispunha de informações a respeito da taxa de remoção de DBO e do número de dispersão em lagoas de fluxo disperso. As alterações propostas, através do emprego de chicanas de fluxo horizontal, foram de caráter experimental e formuladas a partir das seguintes hipóteses:

- os curto-circuitos tenderiam a diminuição porque, forçosamente, os fluxos teriam uma trajetória mais longa a ser seguida entre meandros, tal como nas chicanas de câmaras de contato;
- com o emprego de canais sucessivos, a lagoa tornar-se-ia estreita e comprida, aproximando-se de um reator do tipo pistão;
- a decomposição dos esgotos em uma lagoa não se processa somente obedecendo uma cinética de 1.^a ordem e muito menos à taxa constante (14, 15). As taxas de remoção de DBO nas células secundárias e terciárias de um sistema de lagoas em série, apresentam valores de k bem inferiores à primária (12);
- a concentração de DBO decresce ao longo do percurso das chicanas e, em qualquer etapa das cortinas, poder-se-ia avaliar o grau de tratamento ocorrido e a área mínima realmente necessária para a lagoa em estudo.

Número e Largura entre as Cortinas

A definição do número de cortinas e o afastamento entre elas foi, de certa forma, empírica. Arbitrou-se que a distância entre as cortinas seria a mesma, isto é, o número de cortinas seria a razão entre a área superficial (2.100 m^2) e a largura entre elas.

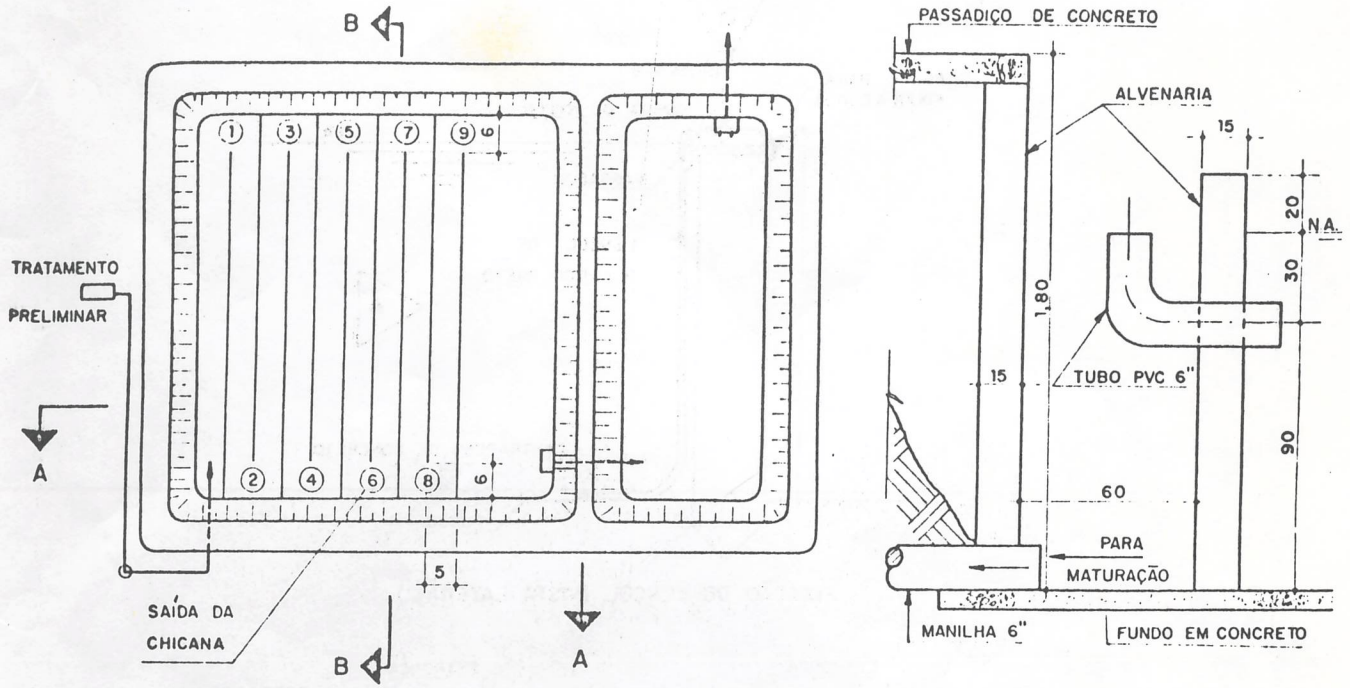
Para se definir a largura de um dos canais, partiu-se do princípio que a sedimentação ocorreria praticamente na primeira câmara e, como tal, comportar-se-ia como uma unidade anaeróbia. Visando a minimização de maus odores, sem alterar a profundidade do canal (garantia de um maior selo hídrico), arbitrou-se uma largura de 5,0 m, resultando um volume de cada câmara em aproximadamente 420 m^3 , taxa volumétrica de $0,08 \text{ kg.DBO/m}^3.\text{dia}$ e uma velocidade de sedimentação de $0,00006 \text{ cm/s}$. Esta velocidade é muito inferior à das correntes típicas criadas nas lagoas pela ação do vento (6).

Assim, dentro da área de tratamento, definida pelo Método de Radiação Solar, foram instaladas 6 cortinas afastadas, entre si, de 5 m e com um comprimento de 65 m. Como a detenção resultante (20 dias) poderia ser insuficiente para assegurar uma eficiência de 90% na remoção de DBO, foram acrescentadas mais 3 chicanas. A área total de espelho d'água ficou assim dividida: 3.150 m^2 com chicanas e 1.890 m^2 de área livre.

Detalhes Construtivos das Chicanas

As chicanas foram confeccionadas com lonas plásticas, fixadas em estroncas de madeira, cravadas no fundo da lagoa, a aproximadamente cada 1,60 m. A parte superior de cada painel de lona plástica foi presa e esticada por corda de nylon e a inferior, apoiada no fundo da lagoa, através de pequenos contra-pesos de concreto. As figuras 9, 10 e 11 ilustram, com maiores detalhes, a fixação das cortinas.

Para evitar ressecamentos da lona e garantir uma melhor aparência estética, procurou-se regular o nível de operação da lagoa para cobrir, levemente, todas as chicanas. A falta de borda livre pode, todavia, provocar curto-circuitos: circulação mais rápida de correntes superficiais menos densas.



CAIXA DE SAÍDA DA LAGOA FACULTATIVA

FIGURA 9 - Planta do sistema de tratamento modificado (com chicanas).

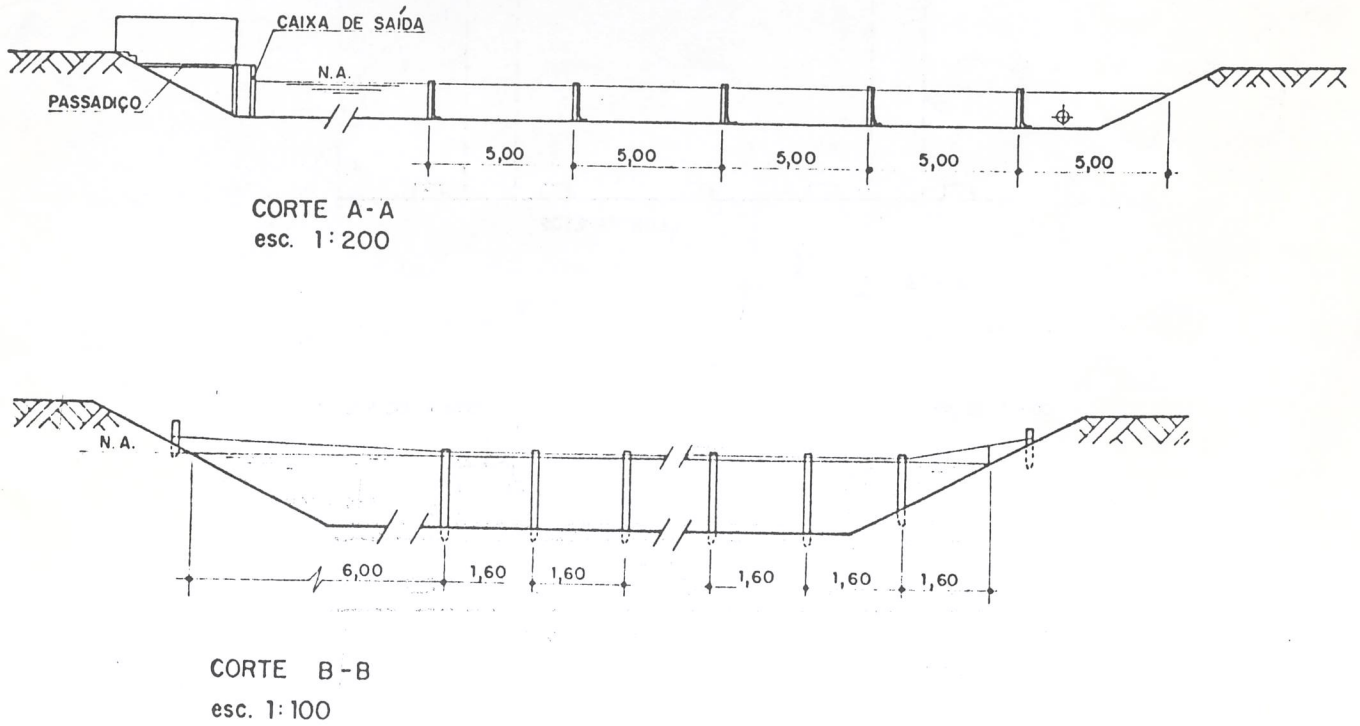


FIGURA 10 - Cortes da lagoa facultativa modificada.

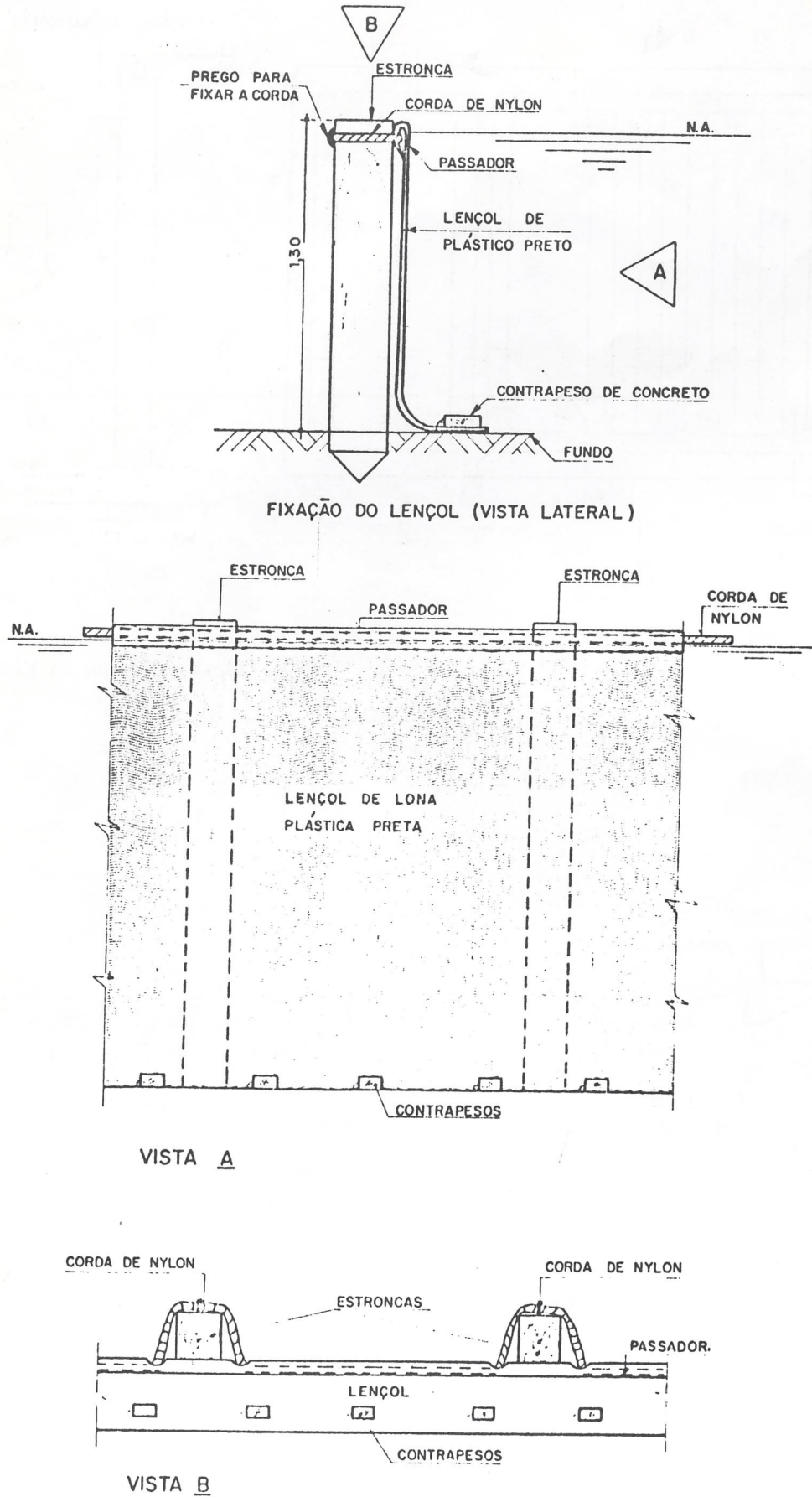


FIGURA 11 - Detalhe de montagem e fixação das cortinas (lona plástica).

Estimativas de K_p , d e Eficiências para a Lagoa de Santa Fé do Sul

À luz das informações, hoje disponíveis e propostas por Arceivala, pode-se estimar, para diferentes tempos de detenção, os prováveis valores de K_p e \underline{d} para a lagoa em questão.

Respeitando-se a área superficial (2.100 m^2) e demais parâmetros básicos de projetos, utilizados no método de radiação solar e constantes no Quadro 7, pode-se prever os K_p , d e eficiências na lagoa facultativa proposta, conforme consta no Quadro 8.

QUADRO 8 - VALORES PROVÁVEIS DE K_p , d E EFICIÊNCIAS DE REMOÇÃO DE DBO

1ª HIPÓTESE - Sem modificar a área de tratamento (2.100 m^2)

PARÂMETROS	DETENÇÃO DE 20 DIAS		DETENÇÃO DE 25 DIAS	
	$K_{19} = 0,13$ (1)	$K_{19} = 0,14$ (2)	$K_{19} = 0,13$ (1)	$K_{19} = 0,14$ (2)
DBO _u (kg/ha.dia)	230	230	230	230
L (m)	390	390	390	390
V (m/h)	0,87	0,87	0,694	0,694
d	0,49	0,49	0,6092	0,6092
Se/Sa	0,183	0,17	0,1335	0,1475
E (%)	81,7	83,3	86,64	85,25

(1) Calculado pela regressão (Equação 5).

(2) Calculado pela formulação Arceivala (Referência 11).

2ª HIPÓTESE: Alterando a área e adotando a profundidade de 1,20 m

PARÂMETROS	DETENÇÃO DE 27 DIAS		DETENÇÃO 30 DIAS	
	$K_{19} = 0,112$ (1)	$k_{19} = 0,122$ (2)	$K_{19} = 0,11$ (1)	$K = 0,12$ (2)
DBO _u (kg/ha.dia)	173	173	154	154
L (m)	520	520	585	585
V (m/h)	0,87	0,87	0,87	0,87
d	0,3655	0,3655	0,3249	0,3249
Se/Sa	0,12	0,137	0,1143	0,099
E (%)	88,0	86,3	88,6	90,0

(1) Calculado pela regressão (Equação 5).

(2) Calculado pela formulação Arceivala (Referência 11).

Os dados apresentados sugerem os seguintes comentários:

- a eficiência provável de 90% na remoção de DBO, desde que não seja alterada a profundidade de lâmina d'água prevista para a lagoa facultativa (1,20 m), só será alcançada ampliando a área de espelho d'água, que corresponde, praticamente, na 9ª cortina instalada (detenção de 30 dias).

- com a área de tratamento (2.100 m^2) e uma profundidade de lâmina de 1,50 m, correspondendo a uma detenção de 25 dias, se atingiria 86% de remoção de DBO, superior à inicialmente prevista no projeto original (80%);
- os valores de K, estimados diretamente pela Equação 5 e pela expressão original de Arceivala levam a valores muito semelhantes, o que poderá ser aplicado para fins de projeto;
- a despeito de todos esses comentários, como as chicanas implantadas na lagoa foram em número de 9 (3.150 m^2 de área de espelho) e a profundidade de lâmina d'água adotada de 1,20 m, a configuração proposta, experimentalmente, harmoniza-se razoavelmente com a que atualmente é disponível para reatores de fluxo arbitrário. Espera-se que, nos levantamentos de campo, as previsões de eficiência correspondam à realidade.

RESULTADOS OBTIDOS

De janeiro de 1983 a setembro de 1983, operando com a lagoa subdividida através de chicanas, os resultados obtidos superaram as expectativas no tocante aos objetivos principais do tratamento: redução da DBO e coliformes fecais.

As determinações dos parâmetros característicos do funcionamento de uma lagoa, através de medições de oxigênio dissolvido, pH e temperatura nas diferentes camadas da massa líquida, passaram a ser feitos com uma maior frequência e de forma mais ordenada, cobrindo período de 24 horas, com coletas a cada hora, pelo menos 1 vez por mês.

De uma maneira geral, a lagoa vem apresentando o seguinte comportamento em relação aos parâmetros analisados e abaixo descritos:

Oxigênio Dissolvido, Temperaturas e pH

Nos gráficos (figuras 12 a 27), constam os dias mais representativos das campanhas realizadas, inclusive os dados obtidos nas estações de inverno e verão.

Observa-se que no verão (Figura 13), com a intensa atividade fotossintética, ocorreu uma maior produção de oxigênio, atingindo-se, na camada superficial, uma supersaturação de 42 mg/l (às 17 horas). O oxigênio manteve-se durante 24 horas até a profundidade de 60 cm.

Com o aquecimento da camada superior, pela radiação solar, estabeleceu-se, a partir do meio dia, um período de estratificação térmica que persistiu por 12 horas (Figura 12).

Na estação de inverno, com o predomínio de temperaturas mais baixas, embora afetando a atividade das algas e, em consequência, a produção de oxigênio, a estratificação foi mínima e, em alguns dias, houve uma completa uniformização e mistura entre as camadas (Figuras 16 e 18).

A produção de oxigênio, embora quase não tenha ultrapassado os níveis de saturação, foi suficiente para cobrir as 24 horas, em profundidades de até 60 cm.

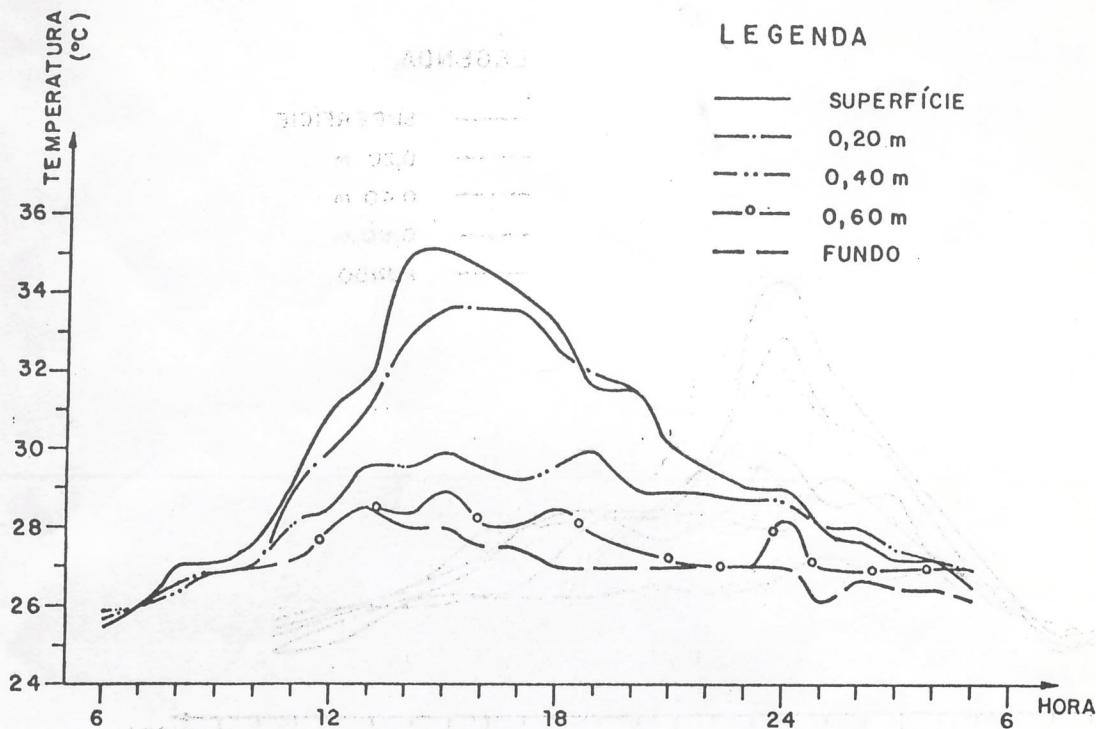


FIGURA 12 - Variação horária da temperatura nas diferentes profundidades da lagoa.
Dia: 05/03/83.

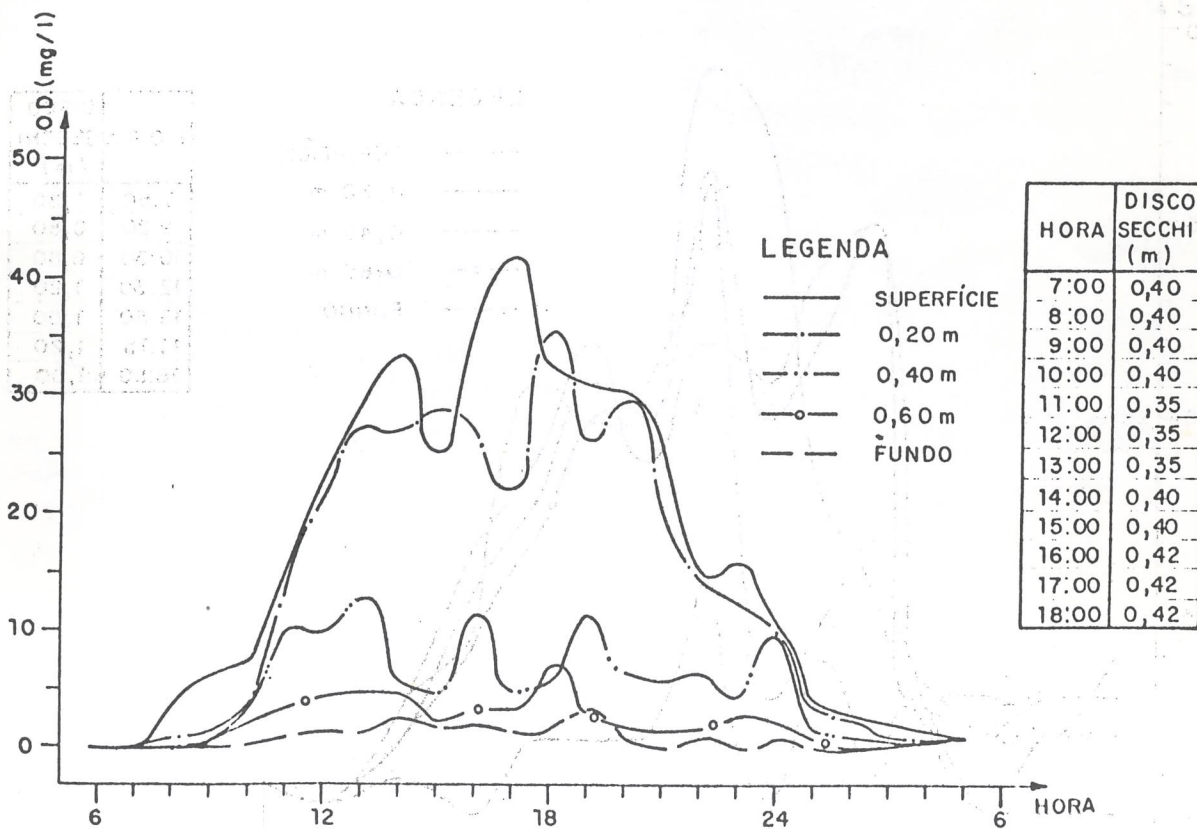


FIGURA 13 - Variação horária de oxigênio dissolvido nas diferentes profundidades da lagoa.
Dia: 05/03/83.

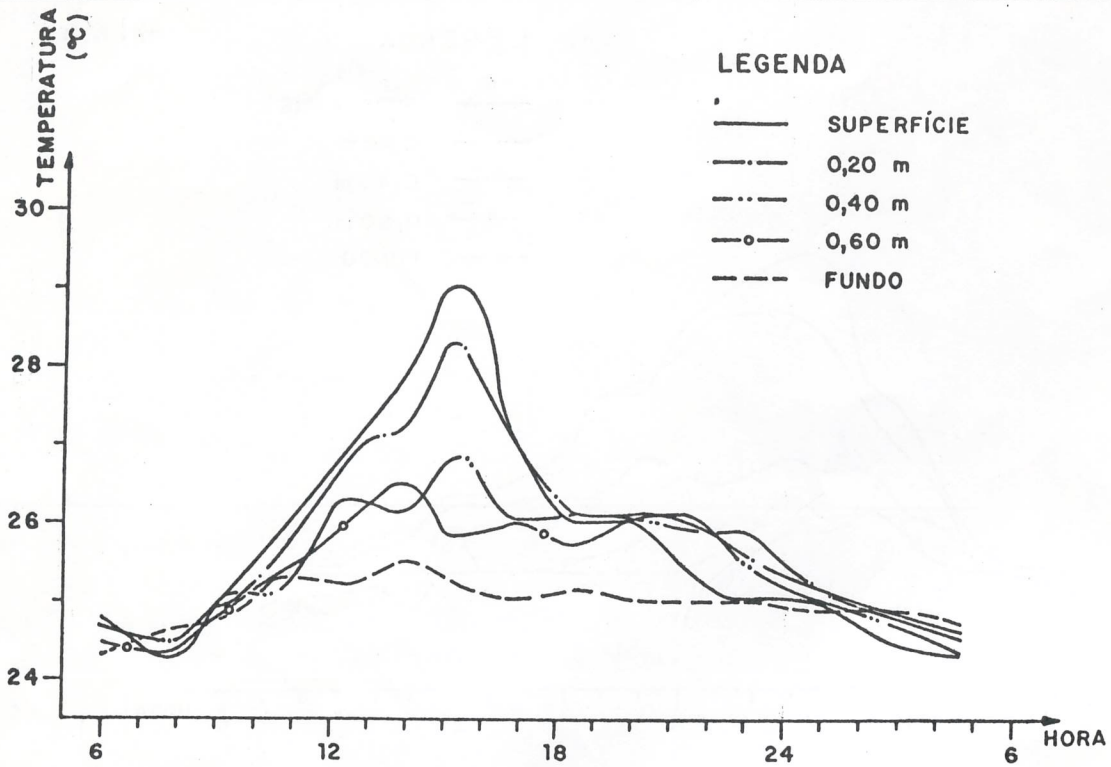


FIGURA 14 - Variação horária da temperatura nas diferentes profundidades da lagoa.
Dia: 13/05/83.

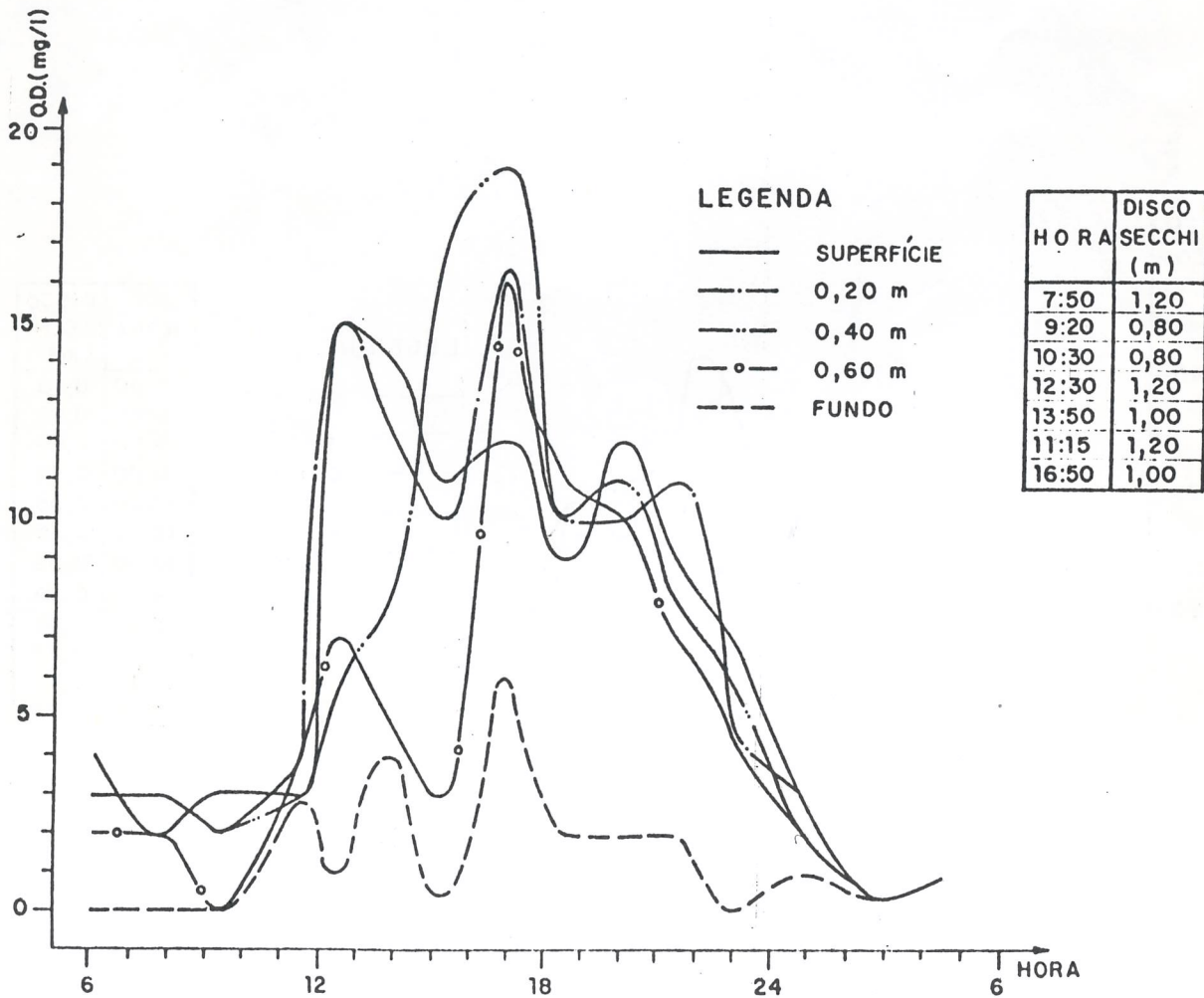


FIGURA 15 - Variação horária de oxigênio dissolvido nas diferentes profundidades da lagoa.
Dia: 13/05/83.

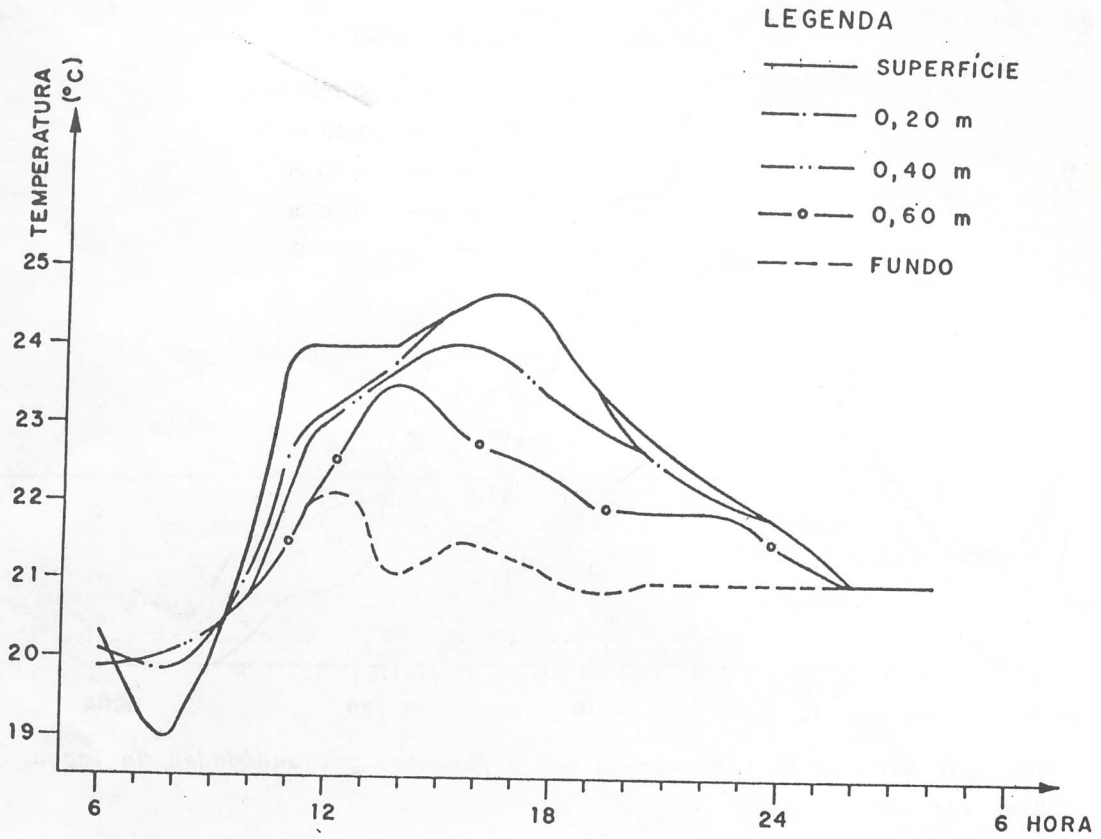


FIGURA 16 - Variação horária da temperatura nas diferentes profundidades da lagoa.
Dia: 08/07/83.

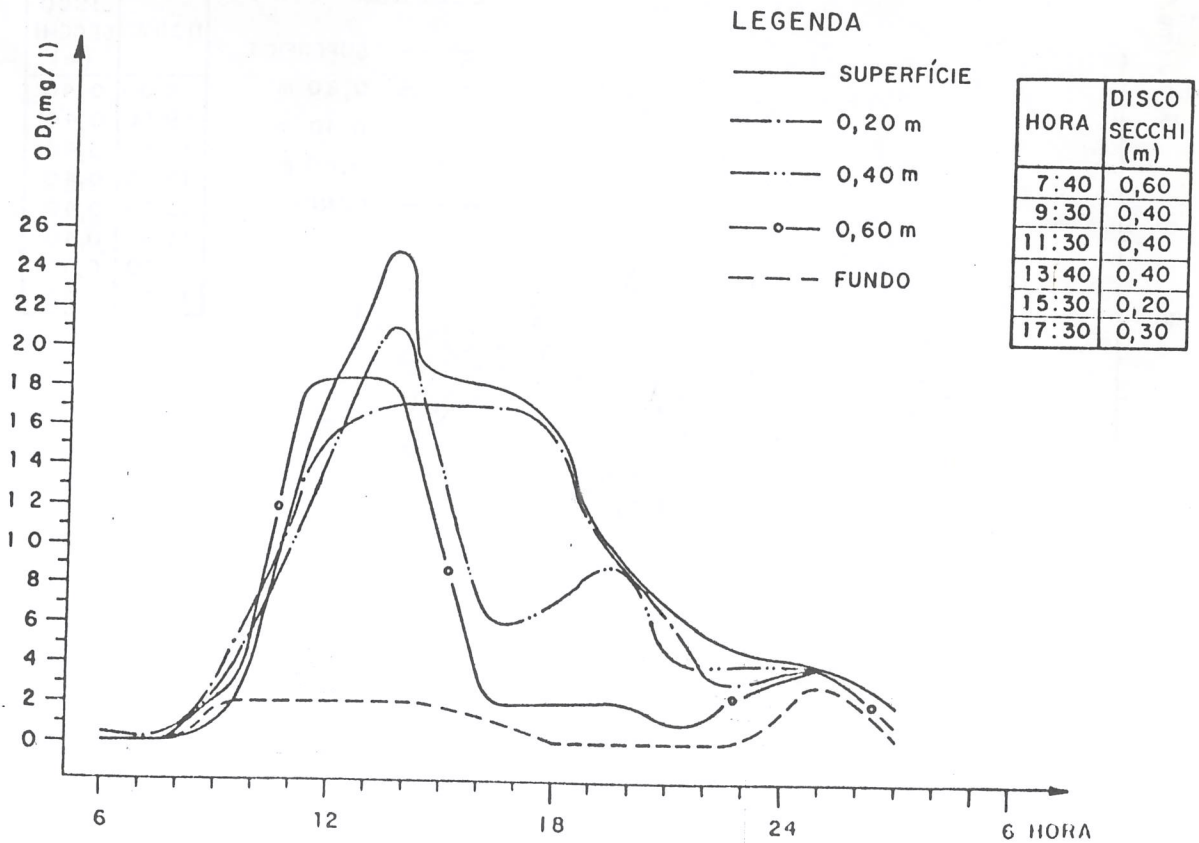


FIGURA 17 - Variação horária de oxigênio dissolvido nas diferentes profundidades da lagoa.
Dia: 08/07/83.

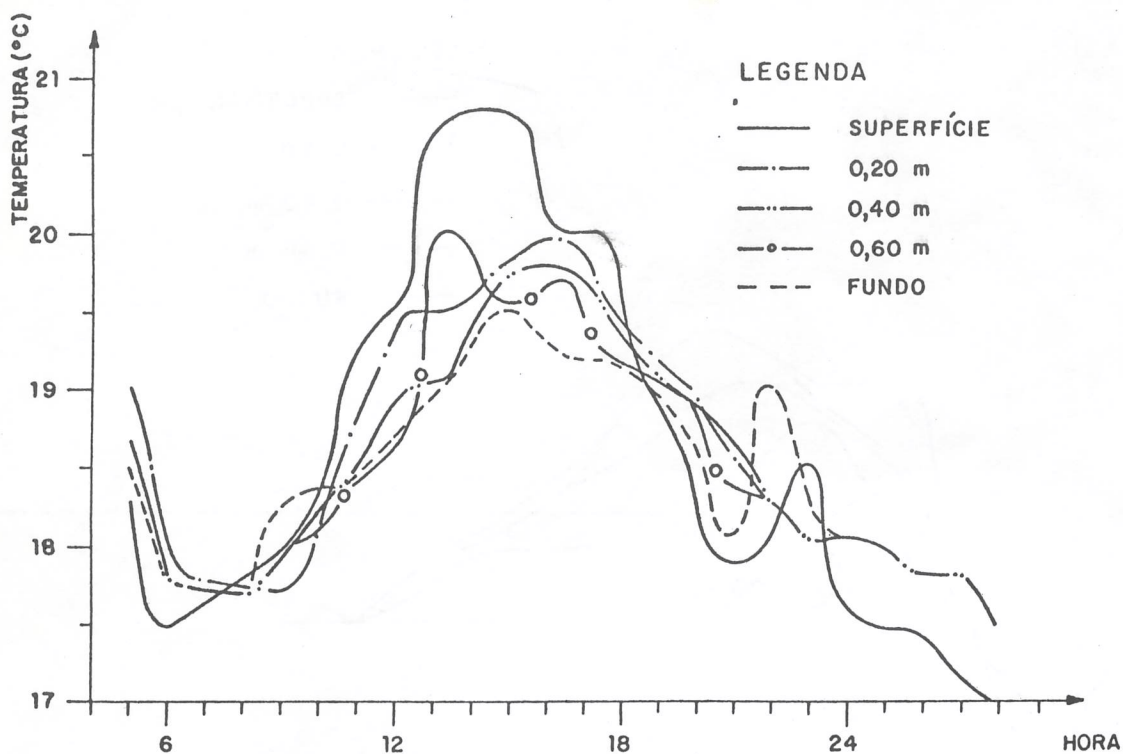


FIGURA 18 - Variação horária da temperatura nas diferentes profundidades da lagoa.
Dia: 13/08/83.

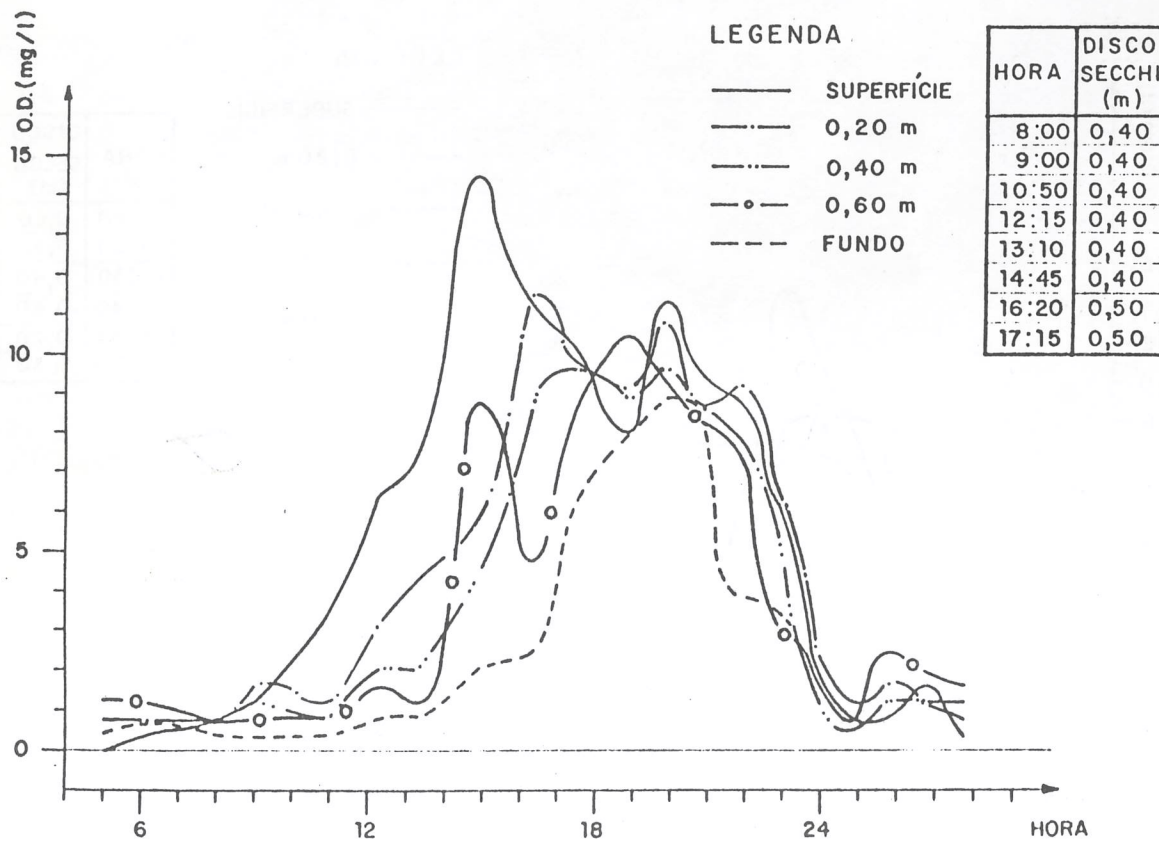


FIGURA 19 - Variação horária de oxigênio dissolvido nas diferentes profundidades da lagoa.
Dia: 03/08/83.

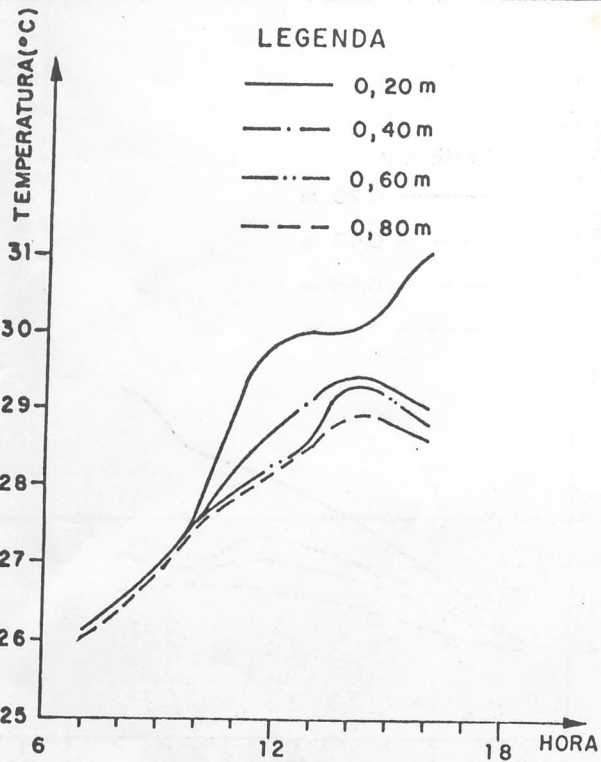


FIGURA 20 - Variação horária da temperatura nas diferentes profundidades da lagoa. Período: março/82.

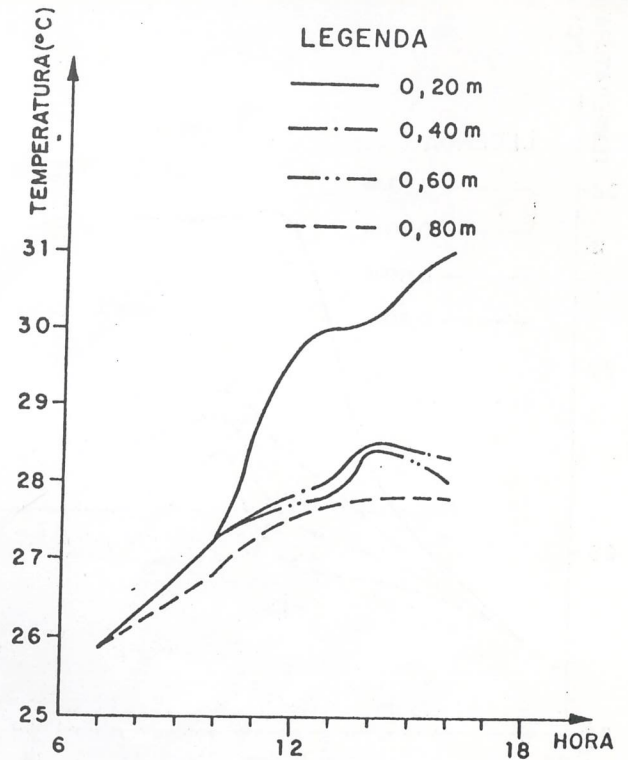


FIGURA 22 - Variação horária da temperatura nas diferentes profundidades da lagoa. Período: março/81.

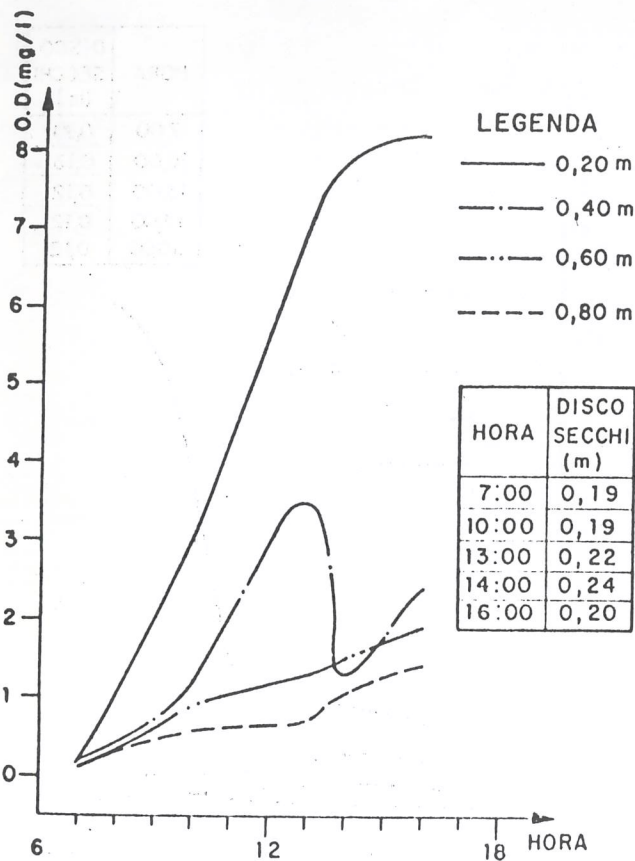


FIGURA 21 - Variação horária do oxigênio dissolvido nas diferentes profundidades da lagoa. Período: março/82.

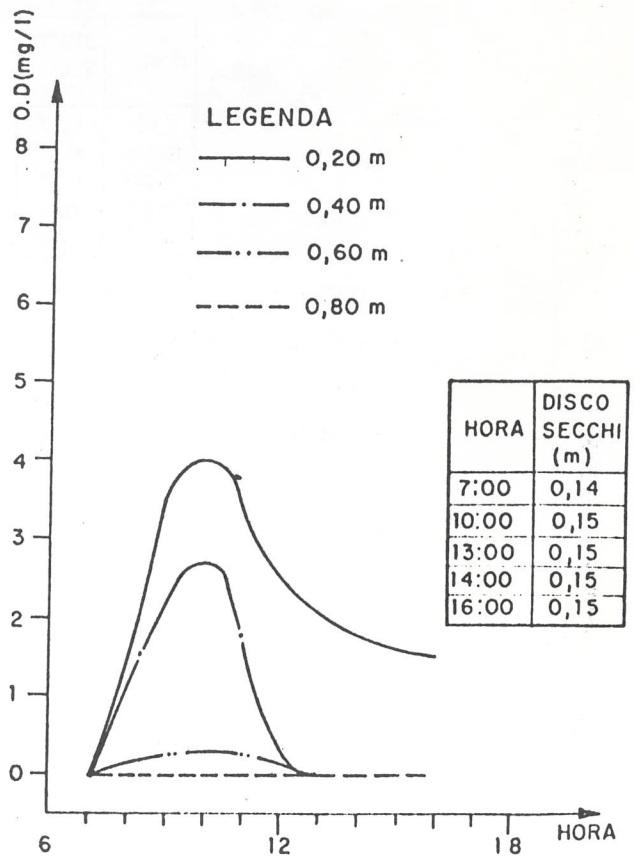


FIGURA 23 - Variação horária do oxigênio dissolvido nas diferentes profundidades da lagoa. Período: março/81.

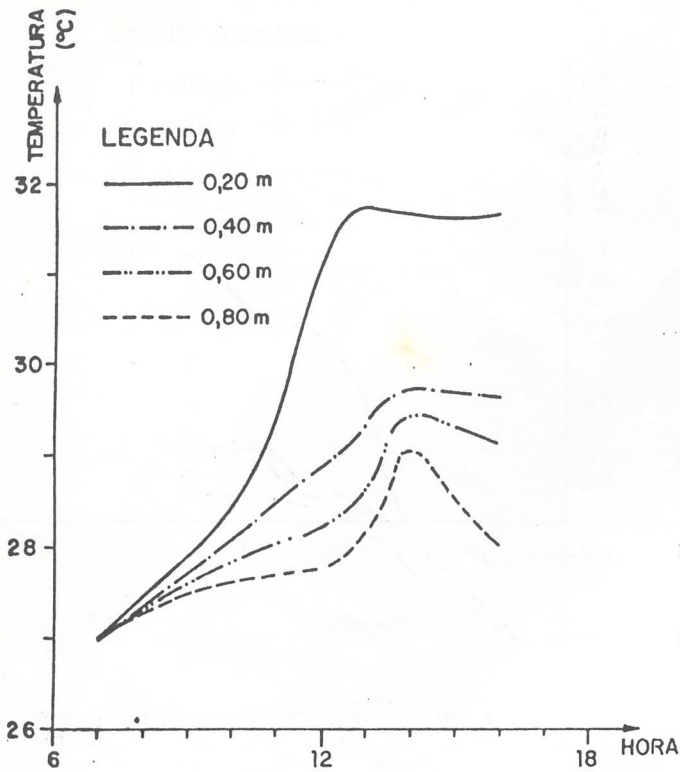


FIGURA 24 - Variação horária da temperatura nas diferentes profundidades da lagoa. Período: fevereiro/81.

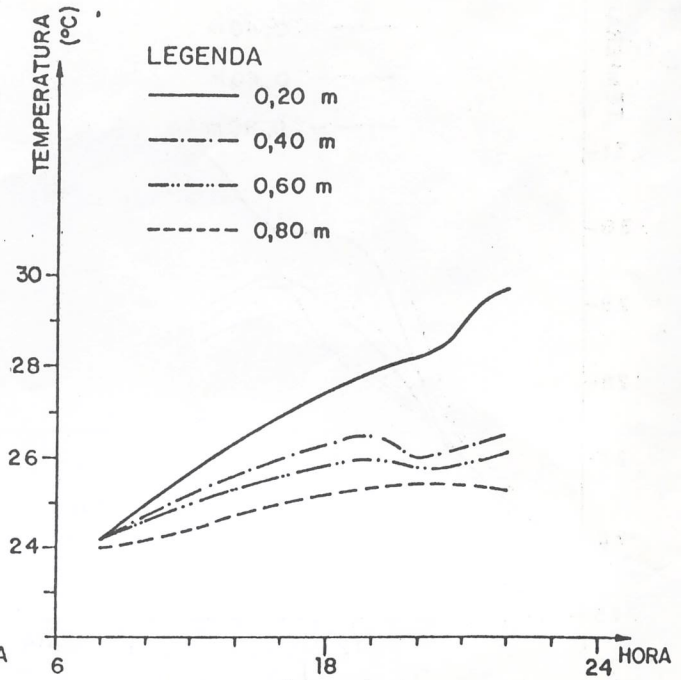


FIGURA 26 - Variação horária da temperatura nas diferentes profundidades da lagoa. Período: novembro/80.

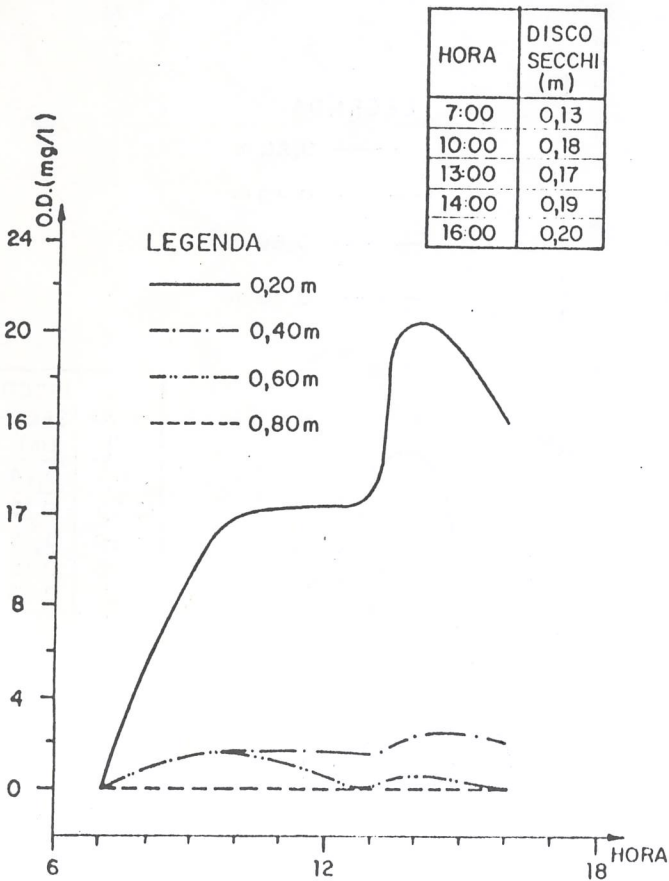


FIGURA 25 - Variação horária de oxigênio dissolvido nas diferentes profundidades da lagoa. Período: fevereiro/81.

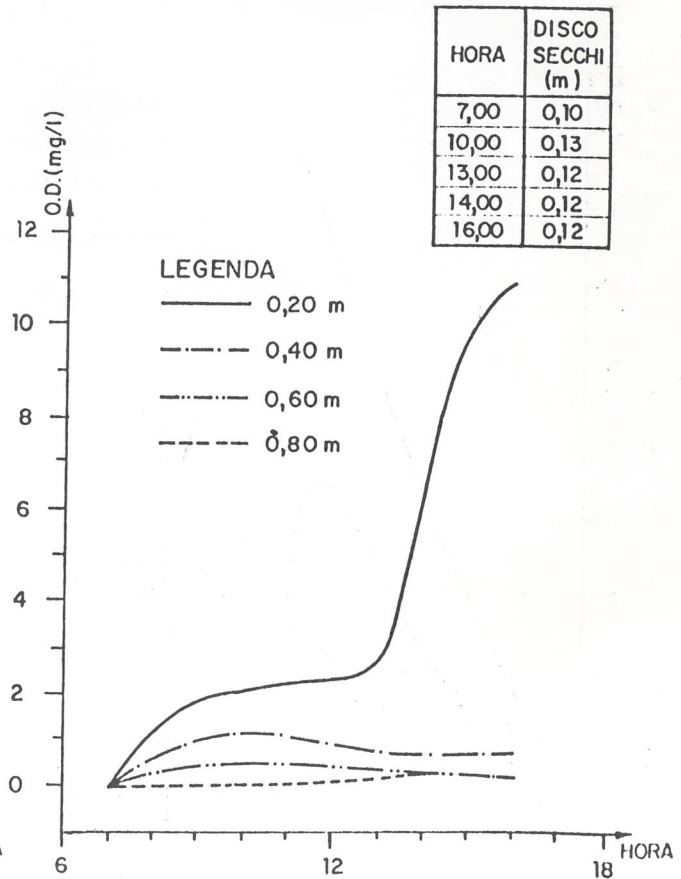


FIGURA 27 - Variação horária de oxigênio dissolvido nas diferentes profundidades da lagoa. Período: novembro/80.

Se comparada a estratificação atual com a de anos anteriores Figuras 12, 20, 22, 24 e 26 (verifica-se que a situação tendeu a agravar-se (7°C , entre a superfície e 0,90 m abaixo, às 15 horas). Tal fato, não chega a constituir uma surpresa porque, com a compartimentação da área superficial da lagoa, admitindo uma mesma velocidade de vento (condições semelhantes de verão), a distância do contato com o vento e o espelho d'água ("fetch") foi diminuída em muito. O efeito da mistura pelo vento tende a aumentar, no sentido vertical (profundidade da lagoa), quanto mais comprido for o "fetch" (16). Talvez, com a instalação das cortinas na diagonal do quadrado (direção predominante dos ventos no local), o vento exercesse uma melhor mistura embora levasse a uma maior dispersão.

Essas observações sugerem que a velocidade imprimida nos canais não levou a uma maior mistura das camadas. Todavia, a produção de oxigênio não chegou a ficar comprometida, o termoclina estabeleceu-se a 0,40 m, o nível de oxipausa alcançou 0,60 m e a espessura da zona fótica foi de 0,42 m. Em anos anteriores (Figuras 21 e 23), a espessura da zona fótica oscilou entre 0,14 e 0,24 m e, a máxima concentração de OD, na camada de 0,20 m, foi de 8,2 mg/l.

Em ambas as estações (1983), observa-se que o pH oscilou ao longo das horas da luz do dia o que evidencia a utilização do CO_2 pelas algas, causando uma dissociação de HCO_3^- e produzindo íon hidroxila.

Pelos gráficos (Figuras 28 a 31), o pH na camada superficial, durante o verão, oscilou de 7,1 a 10,3. As variações de inverno, nessa camada, foram quase idênticas, entre 6,3 a 10,0. Na camada de fundo, a mínima obtida foi de 6,1 e a máxima de 9,0, extremos esses ocorridos na estação de inverno. No verão, o pH da camada de fundo quase não variou e manteve-se em torno dos 7,2.

Em março de 1981 e 1982, a máxima variação do pH de superfície foi de 6,5 a 7,2.

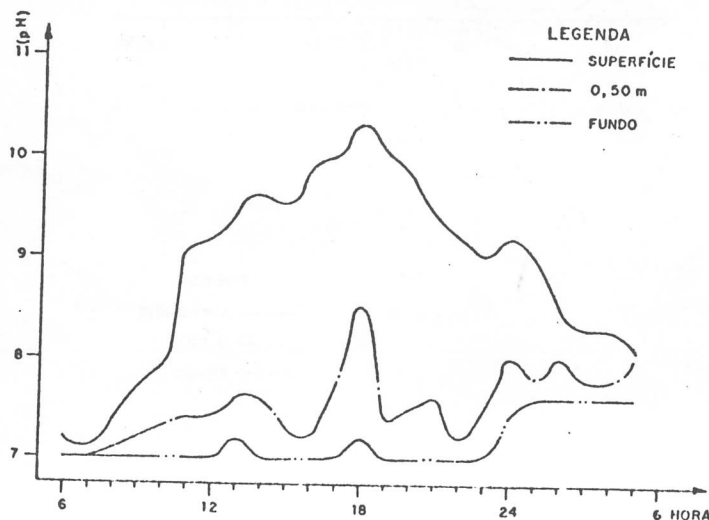


FIGURA 28 - Variação horária do pH em diferentes camadas da lagoa.

Dia: 05/03/83.

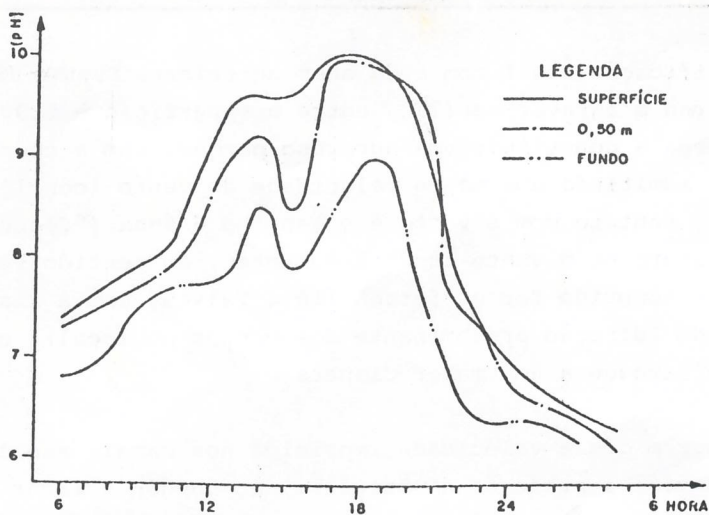


FIGURA 29 - Variação horária do pH em diferentes camadas da lagoa.
Dia: 13/05/83.

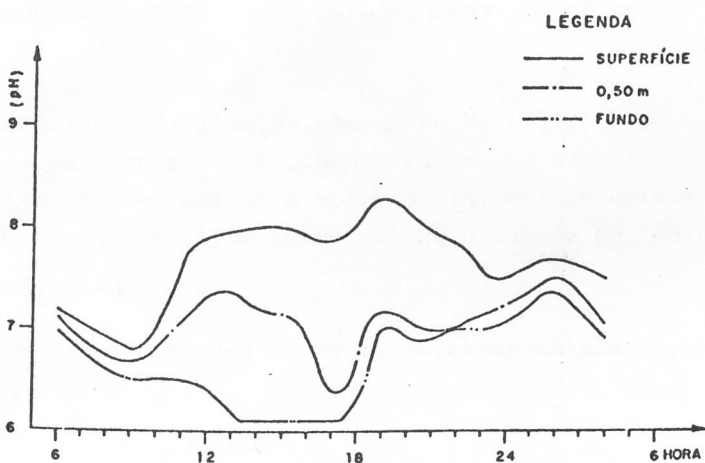


FIGURA 30 - Variação horária do pH em diferentes camadas da lagoa.
Dia: 08/07/83.

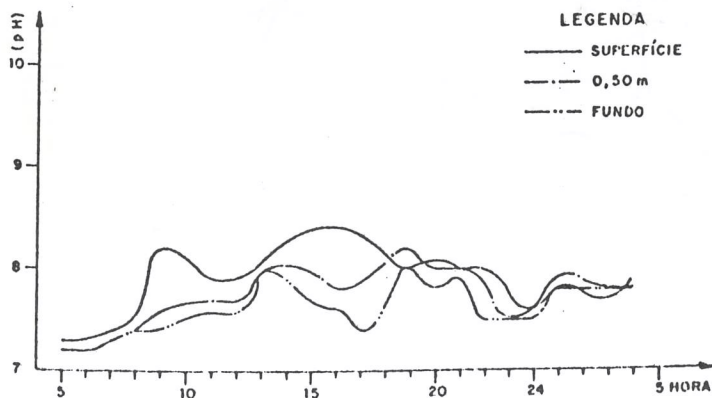


FIGURA 31 - Variação horária do pH em diferentes camadas da lagoa.
Dia: 03/08/83.

Remoção de DBO

Nos quadros 9, 10 e 11, estão apresentadas as concentrações médias de DBO, de 4 amostras compostas, em regime de 24 horas, coletadas na entrada da lagoa e saídas das diversas chicanas. Considerando que esses valores sejam representativos do período amostrado, verifica-se que a partir da 3.^a cortina (detenção de aproximadamente 10 dias) o grau de tratamento (em relação à DBO filtrada), prevista no projeto original, foi alcançado. O significativo declínio na concentração da DBO afluente deve-se, certamente, a predominância de altos valores de K nas duas primeiras chicanas e os efeitos da taxa de sedimentação de sólidos no primeiro canal. Da 5.^a chicana em diante, a DBO filtrada declina lentamente, mantendo-se praticamente uniforme. Em relação à DBO total, o comportamento diferencia um pouco, em decorrência das algas nas determinações da DBO. Aparentemente, agosto foi o mês de menor eficiência, todavia as determinações de OD e fitoplancton revelaram alta produção de oxigênio e predominância de algas pertencentes ao grupo fitoflagelados, o que evidencia a fragilidade dos testes de DBO, como um parâmetro de medida de avaliação do comportamento de uma lagoa de estabilização.

Os valores mais elevados de DBO na saída das chicanas, ocorridos em setembro, justificam-se pela ocorrência de chuvas durante a realização das coletas.

QUADRO 9 - EFICIÊNCIAS MÉDIAS DE REMOÇÃO DE DBO₅ NA SAÍDA DAS CHICANAS - PERÍODO: MARÇO DE 1983

SAÍDA DE CHICANAS	CONCENTRAÇÃO DE DBO EFLUENTE (mg/l)	% DBO REMANESCENTE Se/Sa	TEMPO DE DETENÇÃO (DIAS)	CARGA GLO BAL DBO ₅ APLICADA (kg DBO/ha.Dia 20°C)	CARGA GLO BAL DBO _U APLICADA (kg DBO _U /ha.Dia 20°C)	CARGA GLO BAL DBO _U APLICADA (Kg DBO _U /ha.Dia 28,6°C)	EFICIÊNCIA GLO BAL DE TERMIN. %	TAXA DE REMOÇÃO DBO (Kp) DIAS ⁻¹ 29,6°C	NÚMERO PROVÁVEL DE DISPERSÃO d
	TOTAL								
	FILTRADA								
1	57	0,1932	3,16	1.120	1.638,0	1.920,0	80,68	-	-
	36	0,122					87,80		
3	46	0,1559	9,48	374	546,0	640,0	84,41	0,23	0,92
	36	0,1220					87,80		
5	41	0,139	15,8	224	328,0	384,0	86,10	0,22	0,55
	36	0,122					87,80		
7	25	0,0847	22,12	160	234,0	274,0	91,53	0,193	0,39
	21	0,0712					92,88		
9	25	0,0847	28,4	125	182,0	213,3	91,53	0,174	0,305
	18	0,610					93,90		
Saída Facult. (sem chic.)	32	0,1085	45,5	78	114,0	133,3	89,15	-	-
	18	0,0610					93,90		
Saída maturação	20	0,0678	14,6	22	-	-	93,22	-	-
	13	0,0441					95,59		

NOTAS:

Profundidade da lâmina d'água: 1,20 m
 Vazão média tratada no período: 133 m³/dia
 Temperatura média da lagoa: 28,6°C
 DBO média do afluente: 295 mg/l

QUADRO 10 - EFICIÊNCIAS MÉDIAS DE REMOÇÃO DE DBO₅ NA SAÍDA DAS CHICANAS - PERÍODO: AGOSTO DE 1983

SAÍDA DAS CHICANAS	CONCENTRAÇÃO DE DBO EFLUENTE (mg/l)	% DBO REMANESCENTE Se/sa	TEMPO DE RETENÇÃO (DIAS)	CARGA GLO BAL DBO ₅ APLICADA (kg DBO ₅ /ha.Dia) 20°C	CARGA GLO BAL DBO _U APLICADA (kg DBO _U /ha.Dia) 20°C	CARGA GLO BAL DBO _U APLICADA (kg DBO _U /ha.Dia) 19,8°C	EFICIÊNCIA GLO BAL DE TERMIN. %	TAXA DE REMOÇÃO DBO (kp) (DIAS ⁻¹) 19,8°C	NÚMERO PROVÁVEL DE DISPERSÃO
	TOTAL								
1	84	0,3818	3,31	798,30	1.168,4	1.164,8	61,82	-	-
	57	0,2591					74,09		
3	74	0,3364	9,92	266,10	389,47	388,26	66,36	0,172	0,96
	46	0,2091					79,09		
5	76	0,3455	13,23	199,57	292,10	291,20	65,45	0,1554	0,72
	41	0,1864					81,36		
7	65	0,2955	23,15	114,04	166,91	166,39	70,45	0,1235	0,41
	25	0,1136					88,64		
9	34	0,1545	29,76	88,70	129,82	129,42	84,55	0,11	0,32
	25	0,1136					88,64		
Caixa de saída facultativa (sem chicanas)	31	0,1409	47,62	55,44	81,14	80,89	85,91	-	-
	32	0,1455					85,45		
Caixa de maturação	22	0,10	15,28	20,3	-	-	90,0	-	-
	20	0,0909					90,91		

NOTAS: Profundidade de lâmina d'água: 1,20 m; Vazão tratada no período: 127 m³/dia; temperatura média da lagoa: 19,8°C; DBO média do afluente: 220 mg/l.

QUADRO 11 - EFICIÊNCIAS MÉDIAS DE REMOÇÃO DE DBO₅ NA SAÍDA DAS CHICANAS - PERÍODO: SETEMBRO DE 1983

SAÍDA DE CHICANAS	CONCENTRAÇÃO DE DBO EFLUENTE (mg/l)	% DBO REMANESCENTE Se/Sa	TEMPO DE DETENÇÃO (DIAS)	CARGA GLO BAL DBO ₅ APLICADA (kg DBO/ha.Dia) 20°C	CARGA GLO BAL DBO _U APLICADA (kg DBO/ha.Dia) 20°C	CARGA GLO BAL DBO _U APLICADA (kg DBO/ha.Dia) 22,1°C	EFICIÊNCIA GLO BAL DE TERMIN. %	TAXA DE REMOÇÃO DBO (kp) DIAS ⁻¹ 22,1°C	NÚMERO PROVÁVEL DE DISPERSÃO d
	TOTAL								
1	71	0,2886	3,23	913,71	1.337,14	1.392,86	71,14	-	-
	42	0,1707					82,93		
3	99	0,4024	9,70	304,57	445,71	464,29	59,76	0,107	0,94
	42	0,1707					82,93		
5	63	0,2561	16,15	182,74	267,43	278,57	74,39	0,163	0,56
	35	0,1423					85,77		
7	71	0,2886	22,62	130,53	191,02	198,98	71,14	0,142	0,40
	32	0,1301					86,99		
9	71	0,2886	29,08	101,52	148,60	154,76	71,14	0,127	0,31
	35	0,1423					85,77		
Cx. saída facultativa (sem chicanas)	79	0,3211	46,52	63,45	92,86	96,73	67,89	-	-
	38	0,1545					84,55		
Cx. maturação	25 (1)	0,1016	14,92	52,94	-	-	89,84	-	-

NOTAS: (1) DBO Total; Profundidade de lâmina d'água: 1,20 m; Vazão tratada no período: 130 m³/dia; Temperatura média da lagoa: 22,1°C; DBO média do afluente: 246 mg/l.

Para se avaliar as condições reais das eficiências determinadas nos levantamentos com as eficiências prováveis do modelo cinético de Wehner e Wilhelm (Equação 3), elaborou-se o Quadro 12, cujo número de dispersão foi estimado a partir da dispersão axial (D) proposto por Arceivala. Os pontos utilizados, para fins comparativos das eficiências foram as saídas das cortinas 3, 5, 7 e 9.

QUADRO 12 - EFICIÊNCIAS VERIFICADAS E TEORICAMENTE ESPERADAS NA SAÍDA DAS CHICANAS

PERÍODO: MARÇO DE 1983				PERÍODO: AGOSTO DE 1983				PERÍODO: SETEMBRO DE 1983			
SAÍDA DE CHICANAS	EFICIÊNCIA DE TERMINADA (%)	EFICIÊNCIA CALCULADA WEHNER E WILHELM	EFICIÊNCIA CALCULADA REGRES. (%)	SAÍDA DE CORTINAS	EFICIÊNCIA DE TERMINADA (%)	EFICIÊNCIA CALCULADA WEHNER E WILHELM	EFICIÊNCIA CALCULADA REGRES. (%)	SAÍDA DE CORTINAS	EFICIÊNCIA DE TERMINADA (%)	EFICIÊNCIA CALCULADA WEHNER E WILHELM	EFICIÊNCIA CALCULADA REGRES. (%)
3	87,80	74,5	86,5	3	79,09	68,1	81,74	3	82,93	67,4	83,37
5	87,80	87,0	88,7	4	81,36	74,1	81,40	5	85,77	81,2	83,91
7	92,88	91,9	92,2	7	88,64	84,6	83,23	7	96,99	87,1	86,07
9	93,90	94,7	96,9	9	88,64	88,5	86,83	9	85,77	90,7	89,85

Observa-se, pelo Quadro 12, que a maior discrepância, entre a eficiência real e a calculada, ocorre na saída da Cortina 3, onde a carga de DBO_u excede aos limites preconizados por Arceivala para avaliação do K_p (taxa de remoção de DBO global). Mesmo incluindo este ponto discrepante, o coeficiente de variação calculado para as eficiências estimadas pelo modelo cinético é 9,8%, podendo ser considerado satisfatório. Eliminando os dados de DBO da 3ª chicana, o coeficiente de variação é de apenas 4,9%, o que demonstra a boa aplicabilidade do modelo elaborado por Wehner e Wilhelm e a boa aproximação com os dados de K_p , d e D , propostos por Arceivala.

Para complementar o comportamento das eficiências determinadas em campo com os modelos estatísticos, estabeleceu-se da 3ª a 9ª chicanas, uma correlação linear, através do emprego de regressão múltipla, entre a carga removida, carga aplicada, tempo de detenção e temperatura.

A regressão estabelecida, com um coeficiente elevado de correlação de 0,9985 e baixo valor do coeficiente de variação (3,5%) foi a seguinte:

$$C_R = -47,088 + 0,856 C_A + 0,572R + 1,573 T \quad (\text{Equação 6})$$

onde:

- C_R = carga de DBO_5 removida, kg/ha.dia
- C_A = carga de DBO_5 aplicada, kg/ha.dia.
- R = tempo de detenção em dias.
- T = temperatura média da lagoa, °C.

A equação 6, deve ser limitada à faixa de carga aplicada de 89 a 374 kg DBO /ha.dia, temperatura de 19,8 a 28,6°C e tempo de detenção de 9,5 a 30 dias. As eficiências calculadas por esta regressão constam também no Quadro 12.

Nitrogênio

Pode-se constatar, pelo Quadro 13, que a remoção do nitrogênio amoniacal foi crescente com a diminuição das cargas aplicadas, sendo mais sensível a eficiência, a partir da 3ª chicana, alcançando-se, na saída da 9ª cortina, uma eficiência de 64% e a máxima remoção na saída da maturação (84%).

Para insuficiência de número de amostras, não se pode estabelecer conclusões a respeito da redução dos outros compostos da série nitrogenada.

QUADRO 13 - REMOÇÃO DO NITROGÊNIO AMONIAAL NAS DIFERENTES CHICANAS - AGOSTO DE 1983

CHICANAS	% REMANESCENTE	EFICIÊNCIA %	kg DBO ₅ /ha.Dia	RETENÇÃO (DIAS)
3	76,0	24,0	266,10	9,92
5	69,0	31,0	199,57	16,55
7	38,0	62,0	114,04	23,15
9	36,0	64,0	88,70	29,76
Saída Maturação	16,0	84,0	20,3	15,28

Temperatura média da lagoa: 19,8°C.

Concentração nitrogênio amoniacal inicial: 55 mg/l.

Remoção de Sólidos em Suspensão

As determinações de sólidos em suspensão foram realizadas em todas as saídas das chicanas, apenas na estação de inverno, conforme consta no Quadro 14. Esses números são ainda insuficientes para se tirar maiores conclusões porque, flutuações maiores serão esperadas na estação de verão, devido ao maior crescimento de algas e eles serem formados por células de algas. É provável que haja também no verão uma resuspensão dos sólidos sedimentados no fundo, principalmente considerando que com o emprego das chicanas, o efeito de sedimentação foi melhorado.

A remoção de sólidos em suspensão, em relação ao SS do esgoto bruto, varia ao longo das chicanas e em todo o sistema foi de 85,4%, inferior ao verificado em algumas chicanas precedentes.

QUADRO 14 - % DE REDUÇÃO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO AO LONGO DAS CHICANAS - PERÍODO: AGOSTO DE 1983

CHICANAS	TAXA GLOBAL kg DBO/ha.Dia	RETENÇÃO (DIAS)	% REMOÇÃO S.S.	% REMOÇÃO S.S.V.	% REMOÇÃO S.S.F.
1	798,3	3,31	71,9	81,95	46,15
3	266,10	9,92	82,2	85,71	73,10
5	159,70	16,53	77,8	81,95	67,31
7	114,04	23,15	87,0	92,23	71,15
9	88,70	29,76	90,3	95,50	76,92
cx. saída facult.	55,40	47,62	87,6	90,98	78,85
cx. saída matur.	20,30	15,28	85,41	91,73	69,20

NOTAS: Vazão média: 127 m³/dia; DBO do influente: 220 mg/l; Profundidade da lagoa 1,20 m; Temperatura média na lagoa; 19,8°C; Do esgoto afluente - SS: 185 mg/l; SSF: 133 mg/l; SSV: 52 mg/l.

Coliformes Fecais

As amostragens para determinação de coliformes fecais, restringiram-se ao esgoto bruto, caixas de saída da facultativa e da lagoa de maturação. As concentrações obtidas, mostraram que as reduções de bactérias fecais, guardam nítida associação com as detenções e variações de temperatura (Lei de Chick). Remoções superiores a 99,9% foram alcançadas, o que confirma as lagoas com ótimos redutores de coliformes. No Quadro 15, constam as eficiências encontradas na redução de coliformes fecais e DBO total, de 1980 a 1983.

QUADRO 15 - EFICIÊNCIAS MÉDIAS DE REMOÇÃO DE DBO (TOTAL) E COLIFORMES FECAIS

PERÍODO	AFLUENTE DA LAGOA FACULTATIVA		EFLUENTE DA LAGOA FACULTATIVA				EFLUENTE DA LAGOA DE MATURACÃO				EFICIÊNCIA GLOBAL DO SISTEMA	
	DBO TOTAL (mg/l)	COLIFORMES FECAIS (NMP/100ml)	DBO TOTAL (mg/l)	EFICIÊNCIA CIA (%)	COLIFORMES FECAIS (NMP/100ml)	EFICIÊNCIA CIA (%)	DBO TOTAL (mg/l)	EFICIÊNCIA CIA (%)	COLIFORMES FECAIS (NMP/100ml)	EFICIÊNCIA CIA (%)	DBO TOTAL (mg/l)	COLIFORMES FECAIS (NMP/100ml)
novembro 1980 *	250	$2,4 \times 10^7$	142	43	$4,99 \times 10^6$	79,2	71	50	$2,05 \times 10^5$	95,9	72	99,15
fevereiro 1981 *	344	$1,5 \times 10^8$	61	82	$2,2 \times 10^6$	98,5	36	41	$6,5 \times 10^4$	97,0	88	99,96
março 1982 **	246	$1,1 \times 10^8$	37	85	$4,9 \times 10^5$	99,6	48	-	$4,9 \times 10^4$	90,0	80	99,96
março 1983	220	$2,4 \times 10^5$	31	86	$7,9 \times 10^4$	67,1	22	29	$2,2 \times 10^2$	99,7	90	99,91
agosto 1983	285	$3,5 \times 10^7$	32	89	$7,9 \times 10^4$	99,8	20	38	$2,3 \times 10^3$	97,1	93	99,99

* Média de amostras instantâneas.

** Funcionavam as lagoas como sistema australiano.

Fitoplâncton

Para que as amostras analisadas pudessem ser representativas das condições reais das lagoas, foram coletadas em vários pontos, da 5ª cortina até a maturação, em diferentes horários e profundidades.

GRÁFICO 10 - RESULTADOS DAS CONCENTRAÇÕES DE FITOPLANCTON (ONG X 10⁶/L) E % EM RELAÇÃO AO TOTAL

GRUPO	GENERO	LAGOA FACULTATIVA												LAGOA DE MATURAÇÃO											
		FEV/81		MAR/82		MAR/83		AOC/83		SET/83		FEV/81		MAR/82		MAR/83		AOC/83		SET/83					
		Nº ORG.	%	Nº ORG.	%	Nº ORG.	%	Nº ORG.	%	Nº ORG.	%	Nº ORG.	%	Nº ORG.	%	Nº ORG.	%	Nº ORG.	%	Nº ORG.	%				
Cianofitas	Chlorococcales	0,117	-	-	-	0,14	0,10	-	-	-	-	0,117	0,06	0,109	0,10	0,24	1,5	-	-	-	-				
	Oscillatoria spp	-	17,29	15,7	3,70	3,65	3,70	0,10	0,31	0,66	0,08	-	-	54,55	62,9	1,42	8,7	-	-	-	-				
	Lyngbya spp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,236	0,3	-	-	-	-	-	-				
	Synedrycystis spp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4	2,4	-	-	-	-				
Cloroalgaes	Axistrodismus gracilis	-	-	-	-	0,04	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
	Axistrodismus contortum	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
	Axistrodismus spp	-	0,22	0,2	0,13	0,1	-	-	-	-	-	-	-	9,23	56,3	-	-	0,22	0,09	-	-				
	Axistrodismus falcatus	1,795	65,95	59,8	74,92	76,8	4,49	13,85	3,30	4,66	206,39	99,29	12,22	14,1	6,7	0,87	0,38	1,60	2,14	-	-				
	Axistrodismus minutum	-	0,236	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
	Chlorococcales sp	0,295	0,02	0,380	0,3	0,2	0,2	0,64	1,97	7,27	10,26	0,18	0,09	0,355	0,40	0,25	1,5	-	-	11,52	8,22				
	Chlorella sp	-	-	-	-	-	-	-	-	3,31	4,67	-	-	-	-	-	-	0,54	0,24	-	-				
	Scenedesmus acuminatus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	0,14	4,48	3,20				
	Scenedesmus armatus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,22	0,09	-	-				
	Scenedesmus bicaudatus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,65	0,28	-	-				
Scenedesmus quadricauda	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,22	0,08	7,2	5,14					
Coelastrum	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,97	2,59	69,76	49,67					
Fitoflagelados	Cryptomonas sp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
	Fitoflagelado N. identificado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
	Phacus sp	0,351	0,02	5,1	4,6	2,93	3,0	1,82	5,61	-	-	-	-	3,31	4,67	-	-	1,30	0,57	-	-				
	Euglena spp	-	1,27	1,2	0,88	0,9	0,21	0,65	0,26	0,37	0,936	0,45	1,04	1,2	0,35	2,1	-	-	-	-	4,0	2,85			
	Euglena viridis	-	18,62	16,9	6,22	6,4	22,65	69,84	14,62	20,64	-	-	10,24	11,8	1,11	6,8	-	-	-	-	0,64	0,46			
	Pantoclis sp	-	-	-	-	-	-	-	-	4,76	6,72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,76	6,72			
	Trachelomonas spp	-	0,52	0,5	0,31	0,3	0,14	0,43	1,02	1,44	-	-	3,22	3,7	0,09	0,5	-	-	-	-	-	-			
	Chlamydomonas spp	-	0,36	0,3	-	-	1,11	3,42	0,38	0,54	-	-	0,23	0,3	-	-	-	-	0,11	0,05	-	-			
	Chlamydomonas spp	-	0,118	0,1	-	-	-	-	-	15,28	21,57	-	-	0,118	0,1	-	-	-	-	-	-	0,80	0,57		
	Eubacteria sp	-	-	-	-	-	-	-	-	17,11	24,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16,64	11,87	
	Spandymonum sp	-	-	-	-	-	-	-	0,11	0,34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Uva spp	-	0,118	0,1	-	-	-	-	0,26	0,80	-	-	-	-	-	-	-	-	0,65	0,28	-	-	-		
	Pyrobolus sp	-	-	-	-	-	-	-	0,75	2,32	0,13	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Fungos	Navicula spp	-	0,116	0,1	-	-	-	0,15	0,46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Leucoflagelados		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
TOTAL		100,0	110,3	100,0	97,73	100,0	32,43	100,0	70,84	100,0	207,86	100,0	86,75	100,0	16,4	100,0	230,23	100,0	140,16	100,0					

O quadro 16, mostra a variação de gêneros do fitoplâncton predominante em número de organismos e porcentagem em relação ao total, levantados durante 5 campanhas nas estações de verão e inverno.

A partir de 1982, observa-se que ocorreram mudanças na população desses organismos quer em número e diversidade. As algas predominantes foram as mais comumente encontradas como, *Ankistrodesmus* sp. Em agosto de 1983, fim da estação de inverno, passou a predominar, a alga do grupo fitoflagelado, tais como *Euglena* sp, *Chlamydomonas* sp, que são as mais desejáveis pela sua motilidade e alta capacidade de resistência para alterações ambientais, durante o período de estratificação (4).

Uma particularidade que nos chamou a atenção e precisa ser melhor investigada é a mudança na tonalidade do líquido, entre diversas chicanas, ao longo das horas da luz do dia, principalmente no verão. A espessura da zona fótica (medida pelo disco de Secchi) aumenta significativamente, chegando a alcançar 0,80 a 1,0 m, e tudo leva a crer que seja decorrência de uma estratificação térmica (agravada pelo chicanamento), embora se detecte algas em regiões mais profundas da lagoa, em maiores quantidades que na superfície. Podem estar ocorrendo 2 fenômenos, simultaneamente: uma sedimentação das algas, por efeito da diferença de densidades do líquido (correntes mais quentes em cima e frias embaixo), ou algas móveis que fogem da zona superficial mais aquecida e de intensa radiação solar.

Suspeitando-se que as algas em zonas mais profundas, fora da ação de luz, estivessem inativas, determinou-se a variação de clorofila-a (Quadro 17), em vários horários. Os resultados mostram que, pela proporção de clorofila-a e feofitina-a, há uma degradação desprezível da clorofila-a, indicando boa condição fisiológica do fitoplâncton.

Ressalta-se todavia que, como as chicanas não chegaram a minimizar os fenômenos da estratificação térmica, a sedimentação de algas, no verão, poderá agravar-se e o transporte de algas não móveis, abaixo do termoclima, pode levá-las à morte, por falta de luz (16).

Uma resuspensão desses sólidos, realimentando a lagoa com uma carga adicional de matéria orgânica, pode levá-la a uma diminuição da eficiência. Tais fenômenos serão investigados na 2ª etapa desse trabalho.

QUADRO 17 - RESULTADOS DE CLOROFILA-a e FEOFITINA-a NA LAGOA FACULTATIVA EM AGOSTO DE 1983

PONTO DE AMOSTRAGEM	HORA	TEMPERATURA		CLOROFILA-a (µg/l)	FEOFITINA-a (µg/l)
		ÁGUA (°C)	AR (°C)		
Saída da cortina 3	10:00	18,0	20,0	987,94	16,47
	15:00	21,0	22,0	2.603,50	60,94
Saída da cortina 5	10:00	18,0	20,0	1.137,63	185,61
	15:00	21,0	22,0	2.202,55	201,81
Saída da cortina 6	10:00	18,5	20,0	1.152,60	37,42
	17:15	21,5	22,5	2.854,76	157,71
Saída da cortina 7	10:00	18,5	20,0	1.242,41	38,92
	15:00	21,0	22,0	1.729,97	245,92
Saída da cortina 9	10:00	18,5	20,0	765,55	35,28
	15:00	21,0	22,0	434,10	29,94
Caixa de saída	10:00	18,5	20,0	280,13	14,76
	17:00	21,5	22,5	1.745,47	63,88

Comportamento da 1ª Chicana

Um outro aspecto a ser considerado em futuros projetos de lagoas, com o emprego de chicanas, é a sobrecarga da primeira câmara. Sendo ela a principal responsável pela sedimentação da carga de sólidos, embora desempenhe um papel significativo na redução da DBO (30 a 40% por simples efeito de sedimentação), nessa região predominam processos típicos da digestão, exalando sempre odores à noite e primeiras horas da manhã. Em Santa Fé do Sul, como as temperaturas médias observadas estão em torno dos 23°C, e a carga aplicada é superior a 700 kg DBO/ha.dia, uma boa parte dessa DBO passa a forma gasosa. A liberação desses gases para a atmosfera ocorrem mais facilmente porque trata-se de uma lagoa relativamente rasa (1,20 m).

No momento, a situação está sendo contornada através de recirculação de algas para cabeceira da 1ª chicana. A recirculação ora feita é com um motor-bomba de pequena capacidade ou pela ação natural, de deslocamentos de massa de algas pela ação do vento. A nossa proposta, ao Serviço Autônomo local é aprofundar as duas 1ªs câmaras para 2,5 m mínimo ou construir, em torno do tubo de alimentação afluente, um fosso com profundidade semelhante. Espera-se manter um nível d'água suficiente sobre a camada de lodo, reduzindo esses incômodos e a liberação das "placas" de lodos.

CONCLUSÃO

As alterações no regime de fluxo das lagoas de estabilização de Santa Fé do Sul, até então de caráter experimental e envolvendo riscos de insucessos, levaram a resultados surpreendentes e atenderam aos principais objetivos de tratamento: reduzir a carga de DBO em um menor tempo de detenção.

A eficiência alcançada na remoção da DBO foi, em média, de 86,5%, carga de DBO₅ global aplicada de 190 kg DBO/ha.dia, com uma detenção de 16 dias. Eficiências de 83,7% foram alcançadas em 9,7 dias e carga de 314 kg DBO₅/ha.dia.

A velocidade de escoamento nos canais constituídos pelas chicanas de fluxo horizontal, não foi suficiente para diminuir a estratificação térmica de verão. A mistura pela ação do vento é indispensável na homogeneização das camadas da massa líquida de uma lagoa.

A má localização das lagoas, em relação aos ventos predominantes, é um fato inquestionável.

O modelo cinético do fluxo disperso, desenvolvido por Wehner e Wilhelm, mostra-se de aplicabilidade satisfatória para o projeto de lagoas de estabilização. A sua utilização deve ser difundida e melhor investigada porque leva, totalmente, à redução da área de tratamento das lagoas.

As dificuldades na obtenção de K_p e d , que limitavam o uso da fórmula proposta por Thirumathi são, no momento, facilmente superáveis com as formulações propostas por Arceivala. Evidente que, maiores investigações na obtenção de d , R e, em consequência, a taxa de remoção de DBO, irão aperfeiçoar ainda mais as informações disponíveis.

A comparação das eficiências verificadas com as eficiências prováveis pelo modelo cinético desenvolvido por Wehner e Wilhelm e as do modelo estatístico, elaborado no presente estudo, mostra uma boa compatibilidade entre a teoria e a prática.

Na segunda fase da investigação, que já se encontra em andamento, serão determinados os números de dispersão, tempo médio de retenção, K_p e outros arranjos de chicanas (fluxo horizontal/vertical).

A aplicação do modelo cinético para fluxo disperso parece ser ainda mais eficiente tratando do esgotos mais concentrados (prevalência de altos valores de K_p).

RECOMENDAÇÕES

No emprego de chicanas em lagoas de estabilização recomenda-se que as 2 primeiras chicanas tenham uma maior profundidade (mínima de 2,5 m) que as demais, mantendo assim, um selo hídrico adequado sobre a camada de lodo.

Investigar a possibilidade de locar a maior dimensão das cortinas no sentido do vento predominante, da saída para entrada dos fluxos. É provável que o vento canalizado nos canais eleve o número de dispersão (aumento do grau de mistura) sem, necessariamente, requerer maiores tempos de detenção como nos reatores de mistura completa.

A localização de uma lagoa em relação aos ventos predominantes, a geometria do tanque, números de entrada e saída, zonas mortas e curto-circuitos são fatores tão importantes na hidráulica e eficiência do tratamento, que não devem ser negligenciados no projeto, por mais perfeito que seja o emprego das variáveis utilizadas nos diferentes modelos cinéticos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Santa Fé do Sul, em especial ao Senhor Joel Peres Mariano e Senhorita Leniuda David Rosa, pela valiosa colaboração prestada na primeira etapa das investigações.

Estendemos também nossos agradecimentos aos engenheiros Márcio Luciano Moretto Collucci, Alberto Degrecci Neto e ao Biólogo Eduardo Kato, pelo apoio prestado na elaboração de programas de computação, revisão de diversos conceitos técnico-científicos do trabalho e apoio logístico à confecção dos gráficos, tabelas e desenhos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. KÖPPER, W.; Classificação de Clima pelo Sistema de Köpper citado no Atlas Climatológico e Ecológico do Estado de São Paulo. Comissão Interestadual da Bacia do Paraná e Uruguai, 1966.
2. DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA; Dados hidrometeorológicos da rede básica do Estado de São Paulo, Centro Tecnológico de Hidráulica, 1970 a 1981.
3. SENA, O.L.S.; Lagoas de Estabilização, início de seu uso no Brasil, Anais do I Simpósio de Engenharia Sanitária, São Paulo, 1966.
4. KAWAI, H. e outros; Estabelecimento de Critérios para Dimensionamento de Lagoa de Estabilização. Revista DAE nº 127, dezembro de 1981.
5. OSWALD, W.J.; Production of Biomass from fresh Water Aquatic Systems - Concepts of large-scale Bioconversion Systems using microalgal. Proceedings of Fuels from Biomass Symposium, University of Ill, Champaign, Ill. Apr 18-19, 1977.
6. OSWALD, W.J.; A Syllabus on Waste Ponde Fundamentals, University of California Berkely, 1976.
7. SMITH, J.M.; Chemical Engineering Kinetics, 2nd Edition, Mc Graw-Hil Kogakusha Ltd., 1970.
8. THIRUMURTHI, D.; Design Criteria for Waste Stabilization Ponds. Journal WPCF, vol. 46, nº 9, september 1974, 2094 a 2106.
9. LEVENSPIEL, O.; Chemical Reation Engineering, John Wiley e Sons, Inc. New York, 2^a ed., 1972.
10. THIRUMURTHI, D.; Design Principles of Waste Stabilization Ponds. Jour. of the Sanitary Engineering Division, Proc. A.S.C.E., 95, SA 2, 1969.
11. ARCEIVALA, S.J.; Wastewater Treatment and Disposal Engineering and Ecology in Polution Control, Marcel Dekker, Inc. New York, 1981.
12. SIDDIGI, R.H.; and B.K. Handa - Evaluation of Some Stabilization ponds in India. Journal of Sanitary Engineering Division. Vol. 97, nº S.A., 1971.
13. MC GAUHEY, P.H., 1968 - Engineering Management of Water Quality. New York. Mc Graw-Hill.
14. MARA, D.D. e SILVA, S.A.; Tratamentos Biológicos de Águas Residuárias, Lagoas de Estabilização, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, 1969.
15. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - Superintendência de Pesquisa - Condições de Funcionamento de Sete Lagoas de Estabilização no Estado de São Paulo, Revista DAE nº 124, 1981.
16. MARAIS, G.V.R.; A Dynamic Theory for Design of Oxidation Ponds, Apostila de curso realizado na CETESB, 1976.