

210

Utilização do aguapé para tratamento de esgoto doméstico - Estabelecimento de critérios de dimensionamento de lagoa de aguapé e abordagem de alguns problemas operacionais

VO TECNICO

RCET)



11019

020276



CETESB

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL



**CETESB**

**COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL**

(\*) SUPERINTENDÊNCIA DE PESQUISAS DE ÁGUA E RESÍDUOS  
DIRETORIA DE PESQUISA - CETESB

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL  
BIBLIOTECA  
AV. PROF. FREDERICO HERRMANN JUNIOR, 845 CEP 054-89 PINHEIROS  
SAO PAULO - BRASIL

HIDEO KAWAI (\*)

VITO M. GRIECO (\*)

Utilização do aguapé para tratamento de esgoto doméstico - Estabelecimento de critérios de dimensionamento de lagoa de aguapé e abordagem de alguns problemas operacionais

Dezembro/1983

CLASS	
Autor	
FOLIO	20276

5314  
K179u(RCET)  
020276

---

**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*

**Fredmar Corrêa**  
*Diretor de Planejamento Ambiental*

**Paulo Bezerril Júnior**  
*Diretor Financeiro*

**Samuel Murgel Branco**  
*Diretor de Pesquisa*

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL  
BIBLIOTECA

## ÍNDICE

	pág.
Conclusões .....	1
Recomendações .....	3
1. INTRODUÇÃO .....	4
2. PROCEDIMENTO DO ESTUDO .....	5
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	7
3.1. Remoção de cargas orgânicas (DBO) .....	7
3.2. Produtividade do aguapé .....	10
3.3. Composição química do aguapé .....	16
3.4. Remoção de nutrientes .....	18
3.5. Densidade de aguapé e eficiência de trata bilidade .....	25
4. PROBLEMAS OPERACIONAIS .....	27
5. ASPECTOS ECONÔMICOS .....	30
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	43

## CONCLUSÕES

Com base nos experimentos realizados em escala piloto no período de 1981-1982, chegou-se às seguintes conclusões:

- A lagoa de aguapé apresenta um desempenho atraente na remoção de nutrientes.

No entanto, sua eficiência de remoção de DBO mostrou-se inferior à verificada nas lagoas facultativas convencionais.

Assim sendo, a lagoa de aguapé pode constituir-se numa das alternativas para fins de polimento do efluente tratado em nível secundário e para remoção de partículas em suspensão para efluentes de lagoas de estabilização.

- As cargas máximas de nitrogênio e fósforo aplicáveis na lagoa de aguapé, para se manter 80% da eficiência de tratamento, foram avaliadas, respectivamente, em 18 kg/ha.d e 4 kg/ha.d para as condições médias anuais reinantes no Estado de São Paulo. Isto significa dizer que uma lagoa de aguapé, com área de 1 hectare, pode tratar, diariamente, os esgotos correspondentes, aproximadamente, a 2500 habitantes.
- A eficiência de tratamento da lagoa depende pronunciadamente da taxa de crescimento de aguapé a qual, por sua vez, é condicionada pela densidade dessa planta aquática na lagoa. A melhor proporção de área ocupada pelo aguapé, determinada nesse estudo, foi de 70%.
- A produção de aguapé obtida na lagoa, na fase do crescimento exponencial, foi da ordem de 210 a 250 kg/ha.d em peso seco e o tempo de duplicação da massa localizou-se em torno de 14 dias.
- Um dos problemas mais críticos na implantação prática desse sistema é representado pela remoção e disposição final

do aguapé. Não foi ainda satisfatoriamente estabelecida a viabilidade técnica e econômica desses processos, especialmente nas condições brasileiras.

- Alguns estudos econômicos e financeiros realizados em nível exploratório, indicaram uma nítida vantagem da aplicação do sistema conjunto de lagoa facultativa e lagoa de aguapé para tratamento avançado, em relação ao processo convencional. Entretanto, não se encontrou nenhum trabalho comparativo referente ao custo-benefício da lagoa de aguapé e lagoa multicélular, que possivelmente ofereça, maior vantagem econômica devido à sua simplicidade de operação.
- A partir de algumas situações hipotéticas fez-se estimativas de custos e observou-se desvantagem econômica para o sistema de lagoas de aguapé quando comparados com outras alternativas mesmo admitindo a hipótese de utilizar o aguapé para produção de sub-produtos tais como: composto orgânico, ração para gado, produção de carvão vegetal, de gás metânico, etc.
- Além dos problemas básicos de remoção e disposição do aguapé, a proliferação de mosquitos, a infestação da lagoa por vetores de doenças a eventual e destruição da parte vegetativa do aguapé pela geada são alguns outros problemas operacionais que devem ser cautelosamente analisados, antes da implantação de sistemas de aguapé.

## RECOMENDAÇÕES

Em vista dos resultados apresentados e objetivando a utilização do sistema de aguapé para tratamento de águas residuárias, de forma eficiente e segura, recomenda-se a realização de investigações sobre:

- a) processos economicamente viáveis de remoção e disposição final do aguapé;
- b) comportamento hidráulico da lagoa de aguapé;
- c) controle de mosquitos e vetores de doenças que eventualmente proliferem junto às plantas aquáticas.

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização das plantas aquáticas, especialmente do aguapé (Eichornia crassipes), para tratamento de águas residuárias, tem recebido, recentemente, atenção especial devido à sua significativa capacidade assimiladora de alguns tipos de substâncias poluidoras.

O aguapé é uma planta aquática originária da região tropical da América Central, sendo hoje distribuída por mais de 50 países do mundo (1).

Devido ao seu grande potencial de proliferação, sérios problemas operacionais têm sido provocados nos sistemas hídricos onde esta planta foi introduzida, sendo considerada "praga de água".

Tal imagem negativa, entretanto, foi parcialmente alterada pelas várias investigações realizadas nestes últimos anos, em que ficou demonstrado que há boa perspectiva de aproveitamento do aguapé não só para remoção de materiais poluidores mas também como fonte de energia, de proteínas e outras finalidades (2).

Atualmente, são encontradas várias lagoas de aguapé em funcionamento, na maioria dos casos ainda em escala experimental (3).

Apesar de terem sido estabelecidos alguns critérios de dimensionamento desse sistema no exterior, pouco se sabe sobre sua aplicação prática no tratamento de águas residuárias nas condições reinantes em nosso País.

Por esse motivo, procurou-se estabelecer, no presente estudo, critérios de projeto para lagoas de aguapé e os problemas operacionais envolvidos em sua operação, tendo em vista as condições peculiares brasileiras, notadamente no Estado

de São Paulo.

## 2. PROCEDIMENTO DO ESTUDO

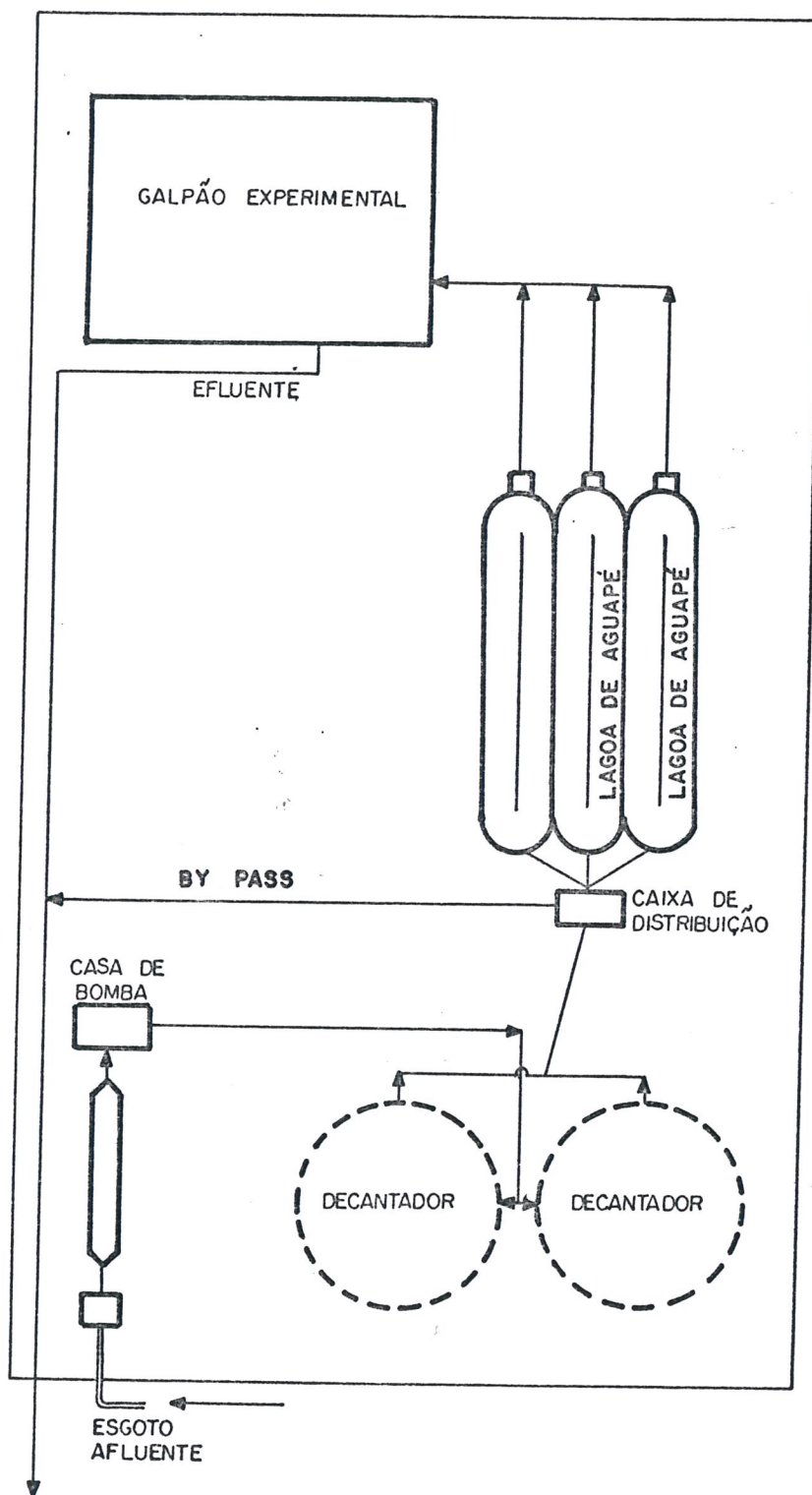
Todos os levantamentos dos parâmetros de funcionamento e de operação foram realizados na antiga Estação Experimental do Caxingui, pertencente à CETESB, no período de 1981 e 1982.

O esgoto afluyente, proveniente de zona estritamente residencial do bairro do Caxingui, passava inicialmente pela caixa de areia e em seguida era bombeado ao decantador primário (vide fluxograma). Após a remoção dos sólidos em suspensão do decantador, o efluente encaminhava-se às duas lagoas experimentais com aguapé. Essas lagoas-piloto, construídas em concreto, possuíam cada uma 72 m<sup>2</sup> de área, sendo a lagoa 1 operada com profundidade de 0,6 m e a lagoa 2 com 1,00 m. A lagoa com profundidade maior foi utilizada para levantamento de parâmetros de funcionamento somente no período final da experiência (julho-dezembro/1982), por ter sido destinada, no período inicial, à investigação do crescimento e produção de aguapé para o processo de secagem.

Na lagoa 1 foram testadas as eficiências de tratabilidade em cinco diferentes tempos de detenção (portanto cargas poluidoras diferentes) durante um período de 14 meses ( de outubro/81 a dezembro/82) e 3 diferentes tempos de detenção - na lagoa 2, no intervalo de 6 meses.

Normalmente, esperou-se um período de 20 a 30 dias para a estabilização biológica em cada mudança do regime experimental e, em seguida, efetuou-se a coleta de amostras durante um mês. Via-de-regra, foi controlada a densidade do aguapé em cerca de 50% da área da lagoa no início de cada tempo experimental.

As coletas de amostras para análises foram efetuadas duran



FLUXOGRAMA DO SISTEMA EXPERIMENTAL  
 - Estação Experimental do Coxingui -

te um mês em cada tempo de detenção experimental, com intervalos de dois ou três dias em regime de 24 horas. As amostras coletadas em cada hora no afluente e efluente das lagoas formavam uma amostra composta no período da manhã e outra no período da tarde. Todos os parâmetros relativos às características químicas e bioquímicas (DBO, DQO, N, P em suas várias formas químicas) foram realizados nos laboratórios da CETESB, segundo procedimento estabelecido pelo "Standard - Methods" - 13.<sup>a</sup> edição. As medidas de temperatura da água e do ar foram tomadas 4 vezes ao dia (7:00, 9:00, 15:00 e 21:00 h). A intensidade da radiação solar foi medida através de actinógrafo Fuess.

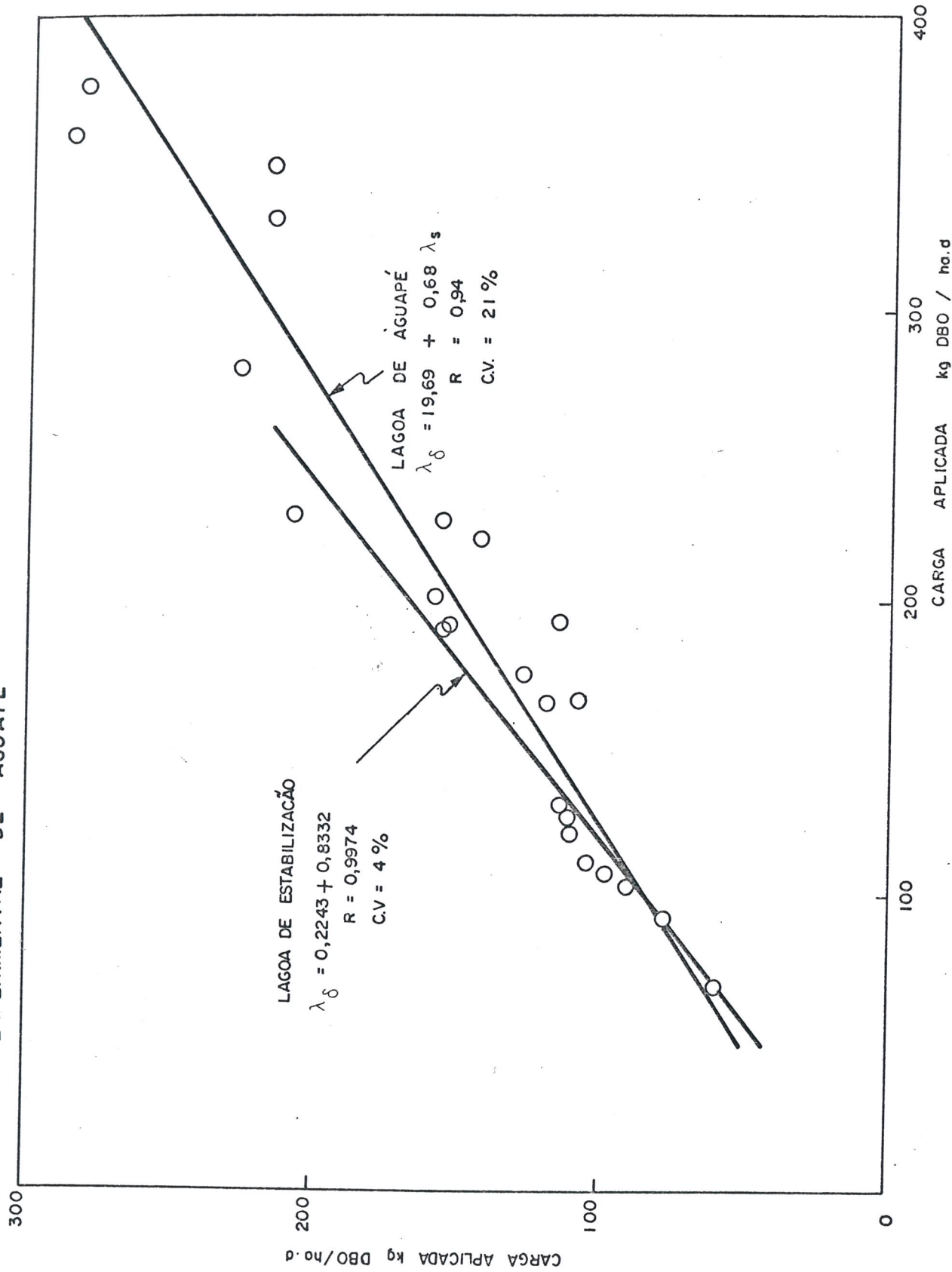
O levantamento dos parâmetros relativos ao crescimento de aguapé foi iniciado em maio de 1981. Este levantamento foi repetido várias vezes, acompanhando basicamente cada carga experimental. Para tanto foi instalado um estrado com área de 1,6 m<sup>2</sup> (dimensões: 2,0 m de comprimento x 0,8 m de largura x 0,5 m de profundidade) em cada lagoa experimental. No início de cada período experimental, foi colocada sobre o estrado, pequena quantidade de aguapé (2 a 3 kg em peso seco) sendo efetuada periodicamente (cada 2 a 4 dias), a medição do peso do estrado com aguapé. Antes de se realizar a pesagem, em uma balança do tipo industrial, esperava-se cerca de 15 minutos a fim de eliminar os gotejos da água aderida nas plantas e no estrado. O peso seco é obtido através da % de umidade média, obtida ao longo dos ensaios.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Remoção de cargas orgânicas (DBO)

Na figura 1 é apresentada a relação das cargas orgânicas aplicadas e removidas, obtidas na faixa de 70 a 380 kg de DBO/ha.d nas duas lagoas experimentais. Os dados plotados representam as médias aritméticas dos

FIGURA 1: RELAÇÃO DE CARGA DA DBO APLICADA E REMOVIDA, DETERMINADA NA LAGOA EXPERIMENTAL DE AGUAPE



valores obtidos durante o período de estudo, em intervalos de uma semana.

A regressão estabelecida com base nesses valores, resulta na seguinte expressão:

$$\lambda_{\delta} = 19,866 + 0,658 \lambda_s \dots\dots\dots (1)$$

R = 0,94 (coeficiente de correlação)

C.V = 21% (coeficiente de variação)

onde:

$\lambda_{\delta}$  = carga de DBO removida (kg/ha.d)

$\lambda_s$  = carga de DBO aplicada (kg/ha.d)

Segundo a expressão apresentada, a eficiência de remoção da DBO decresce à medida que se aumenta a carga aplicada. A carga máxima orgânica aplicável para manter a eficiência acima de 80% é de 130 kg DBO/ha.d. Acima desse valor, a eficiência diminui gradativamente, obtendo-se apenas 70% de remoção com uma carga de 300 kg/ha.d.

O valor da carga máxima aplicável nesse sistema é significativamente menor se comparado com o verificado no sistema de lagoa de estabilização convencional. De acordo com estudo realizado anteriormente na CETESB(19), a carga máxima aplicável na lagoa facultativa (unice-lular) na região de São Paulo, foi estimada em 250kg/ha.d, o que corresponde a quase duas vezes a carga do sistema de aguapé.

Várias informações disponíveis na literatura, citam vários valores de carga aplicável sob várias condições Middlebrooks (3), por exemplo, através de pesquisa bibliográfica, concluiu que a capacidade assimiladora

de matéria orgânica da lagoa de aguapé é comparável a da lagoa convencional de baixa carga e fixou 50 kg de DBO/ha.d como critério para dimensionamento da lagoa de aguapé para as regiões de clima quente com um efluente de DBO < 10 mg/l.

O baixo rendimento no tratamento da matéria carbonácea na lagoa de aguapé em relação à lagoa facultativa convencional, poderia ser atribuído, principalmente, à diferença de intensidade das atividades metabólicas dos microrganismos que atuam nos dois sistemas de tratamento, condicionada pela presença ou não de oxigênio dissolvido na água.

Na lagoa de aguapé, a ação biológica de microrganismos, que proliferam especialmente junto às raízes da vegetação, é exercida predominantemente em condição anaeróbia, principalmente quando a mesma for utilizada para fins de tratamento primário e secundário, enquanto que a lagoa facultativa funciona, durante grande parte do tempo, em condição aeróbia, graças à ação fotossintética de algas.

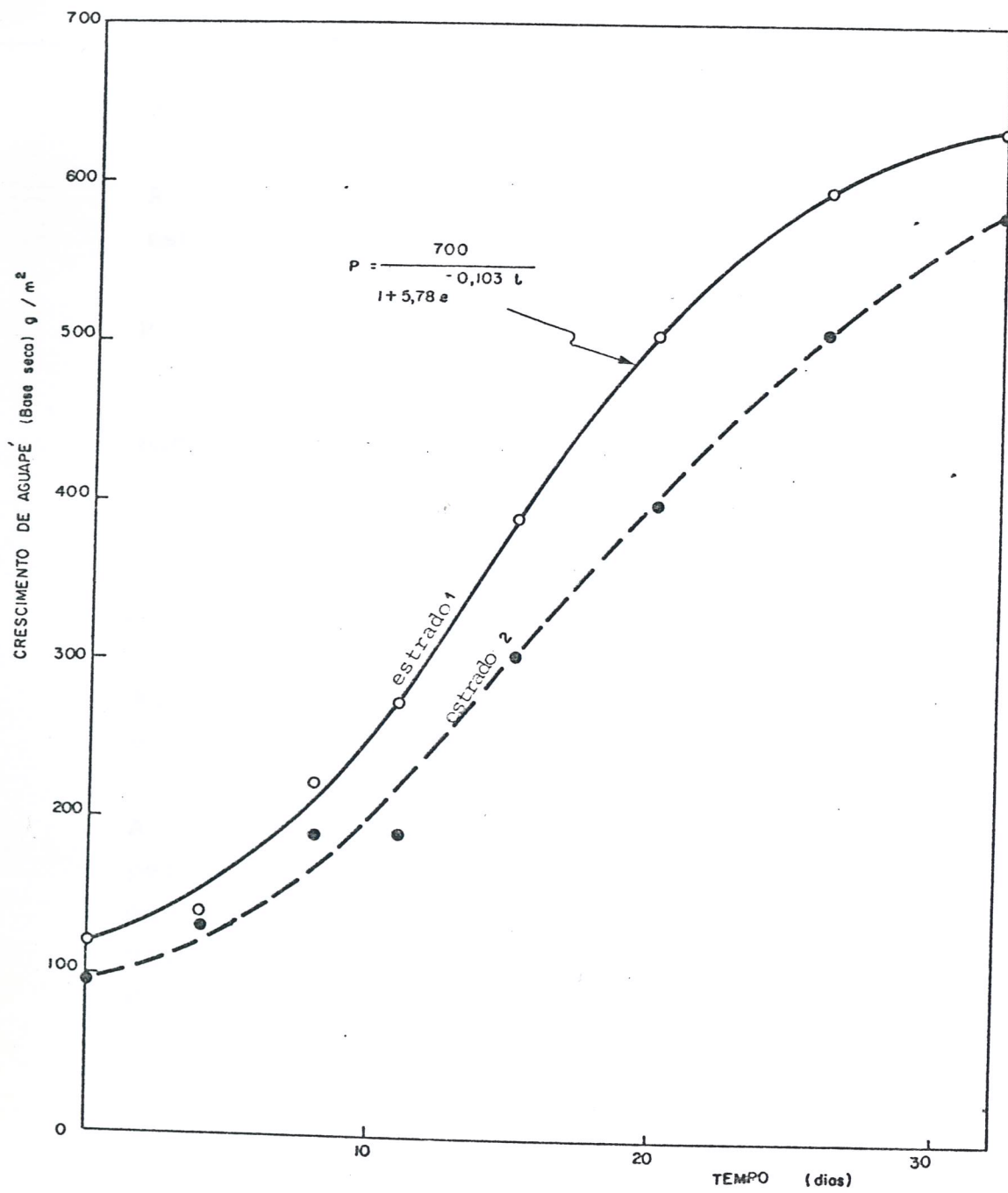
Desta maneira, mesmo admitindo que os tipos e tamanhos das populações de microrganismos reinantes nesses dois sistemas sejam iguais, a eficiência da estabilização da matéria processada na lagoa facultativa é bem superior a da lagoa de aguapé.

Quanto à capacidade assimiladora da DBO pela absorção direta da planta aquática, as experiências realizadas por Wolverton (4) mostraram que essa capacidade é bastante restrita, não podendo se constituir em processo responsável pela remoção da DBO na lagoa de aguapé.

### 3.2. Produtividade do aguapé

O crescimento representativo do aguapé obtido durante

FIGURA 2 : CRESCIMENTO DO AGUAPE´ DETERMINADO NAS LAGOAS EXPERIMENTAIS.  
 PERÍODO 24/09 a 26/10/81



o período do experimento é mostrado na figura 2. O crescimento do aguapé é expresso em gramas de material seco por unidade de área do estrado. Os dados utilizado nessa foram levantados nos meses de setembro e outubro de 1981 na lagoa 1 (estrado 1) e na lagoa 2 (estrado 2). A temperatura média do ar, medida durante a investigação, foi de 22°C. Em ambos os estrados experimentais, observou-se crescimento de aguapé de forma sigmóide. Após, aproximadamente 8 a 10 dias da fase de adaptação, observou-se um crescimento exponencial durante, aproximadamente, 10 dias, sucedido por fase estacionária de crescimento.

A expressão matemática que representa os dados levantados no estrado 1 é:

$$P = \frac{700}{1 + 5,78 e^{-0,103 t}} \dots\dots\dots (2)$$

onde:

P = produção de aguapé (g/m<sup>2</sup>.d)

t = tempo (dias)

estrado: estrutura ou quadro de controle construído de madeira para acompanhar o crescimento do aguapé.

As taxas de crescimento avaliadas na fase exponencial e na estacionária foram de 5% e 1,3%, respectivamente.

A produtividade média da biomassa, estimada durante o período de crescimento exponencial nos dois estrados, oscilou na faixa de 210 a 250 kg/ha.d em peso seco e o tempo de duplicação da massa de aguapé foi em torno de 14 dias.

O aguapé é uma planta bastante sensível às variações de temperatura. A temperatura ótima para crescimento, localiza-se na faixa de 21 a 30°C (3). Em temperaturas inferiores a 10°C, o crescimento da planta fica praticamente paralisado e sua parte vegetativa é facilmen-

te destruída com temperaturas próximas de  $0^{\circ}\text{C}$  (5).

Devido a tais características fisiológicas, a aplicação do aguapé para tratamento de poluentes deve ser limitada às regiões tropical e subtropical.

Dados de crescimento exponencial típico do aguapé, em função da variação da temperatura, foram apresentados por Wolverton e McDonald (6) com base nos experimentos realizados no período de maio a julho no Estado de Mississippi, Estados Unidos, quando a temperatura média mensal oscilou de  $16,3$  a  $26,3^{\circ}\text{C}$ . Os coeficientes de temperatura estimados mediante esses dados, variaram de  $1,041$  a  $1,050$  na faixa de temperatura mencionada.

Segundo experimentos realizados por Bock (7), em câmara de temperatura constante, a máxima taxa de crescimento de aguapé (cerca de 5% ao dia) foi obtida na temperatura de  $26,7^{\circ}\text{C}$ , enquanto que na temperatura de  $4,4^{\circ}\text{C}$ , praticamente não se observou crescimento da planta aquática. Porém, em condições naturais, no sistema experimental de tratamento, Yount e Crossman (8), obtiveram taxas de crescimento diárias de 1,78 a 4,08% nos meses de inverno, com temperaturas mais elevadas que as normalmente registradas naquela região ( $15^{\circ}\text{C}$ ).

Uma alta taxa de crescimento (7% ao dia) foi registrada no levantamento efetuado por Conwell (9) em 3 lagoas experimentais no período de abril a maio, no Estado da Flórida. O tempo de duplicação da área ocupada, calculado com base nos dados experimentais, foi de 6,2 dias.

A taxa de crescimento do aguapé é muito dependente também do espaço livre disponível na lagoa de tratamento. Conforme consta no trabalho de Bock (7), foi possível manter a taxa de crescimento acima de 5% ao dia somente nos períodos iniciais dos estudos, enquanto havia -

à disposição muito espaço na lagoa. Ao longo do experimento, com a diminuição do espaço, essa taxa caiu para 1,8% ao dia. As investigações conduzidas pelo autor citado anteriormente, em lagoa experimental com área aproximada de 1.000 m<sup>2</sup>, demonstraram que o aumento da área ocupada pelo aguapé se dá em forma sigmóide, indicando considerável interferência do espaço livre na taxa de crescimento. De fato, toda a área da lagoa ficou repleta de aguapé após os 55 dias de duração do experimento.

O mesmo comportamento de crescimento foi verificado no presente estudo. As taxas de crescimento do aguapé nos estrados experimentais começaram a declinar consideravelmente após, aproximadamente, 20 dias do início do estudo, quando se observou significativa diminuição do espaço entre as plantas aquáticas.

Com relação à produtividade da massa biológica, vários investigadores apresentam-na em termos da unidade peso (área da lagoa.tempo). De acordo com estudos realizados por Ornes e Suttor (10), em Fort Landerdall, Flórida, no sistema experimental em regime descontínuo, alimentado pelo efluente do tratamento secundário no período quente (maio a julho), a máxima produtividade do aguapé determinada foi de 137 kg/ha.d em base seca. Como acontece, normalmente, na unidade piloto com regime estático, a produtividade foi caindo gradativamente no decorrer do tempo, acompanhando a diminuição da concentração de nutrientes no meio de cultura.

Nas investigações desenvolvidas pela NASA, Estados Unidos (1), numa lagoa com área de 0,22 ha, a produtividade máxima foi estimada em 154 t/ha por ano, com base úmida, na hipótese de se proceder à remoção periódica do aguapé para manter a maior taxa de crescimen

to. Esta quantidade, corresponde, aproximadamente a 210kg/ha.d em peso seco, se for adotado um teor de 95% de umidade.

Yount e Crossman (8), realizaram estudos com o objetivo de verificar a relação entre produtividade e remoção de nutrientes no sistema de lagoa de aguapé. Os resultados deste estudo demonstraram que a produtividade de líquida da biomassa representa o parâmetro mais adequado para avaliar a eficiência de remoção de nutrientes. A máxima produtividade obtida neste estudo na época quente foi de 290 kg/ha.d, porém na época fria este parâmetro permaneceu bastante reduzido (50 kg/ha.d). Durante as investigações, 50% da área da lagoa foi mantida livre através da remoção periódica de aguapé.

Para efeito de comparação, são resumidos no quadro 1 - as produtividades da biomassa encontradas nas várias referências bibliográficas.

#### QUADRO 1

Produtividades de aguapé encontradas nas referências bibliográficas.

<u>AUTOR</u>		<u>PRODUTIVIDADE</u> (kg/ha.dia)	<u>PERÍODO</u>
Yount e Crossman	(8)	50	Época fria
		290	Época quente
Orms e Sutton	(10)	140	Primavera
Penfoud e Earle	(11)	40	Época fria
		280	Época quente
Boyd	(12)	177 - 276	agosto/setembro
NASA	(1)	210	Média anual
CETESB		200 - 250	Período de setembro e outubro/81

De acordo com todos os dados levantados, considera-se razoável adotar as taxas de crescimento de 5%/d e 200 kg/ha.d como média anual na região do Estado de São Paulo para o sistema de lagoa de aguapé, caso as plantas sejam mantidas em fase de crescimento exponencial.

### 3.3. Composição química do aguapé

A composição química do aguapé, associada à sua taxa de crescimento é um fator fundamental para qualquer alternativa de utilização do sistema de aguapé para remoção de nutrientes (13).

No quadro 2 são indicados os resultados médios de N, P e C analisados no aguapé, incluindo as partes vegetativas e raízes, produzido nas duas lagoas experimentais durante cerca de um ano, com diferentes cargas aplicadas

QUADRO 2

Composição química do aguapé produzido nas lagoas experimentais do Caxingui.

PARÂMETROS	PORCENTAGEM (%)
N	3,1
P	0,54
C	37,0
Proteína	17,5
Fibra	29,0
Celulose	29,0
Lignina	15,0

As proporções quantitativas de C, N e P do aguapé, segundo dados apresentados no quadro 2, são de 68,6:5,7:1. Com base nos dados que aparecem nas várias referências bibliográficas, O'Brien (2) resumiu as concentrações de C, N e P do aguapé que prolifera nos vários sistemas de tratamento de esgoto, como pode ser verificado no Quadro 3. As proporções quantitativas de C, N e P são de 77,1:4,6:1, tomando-se as concentrações médias. Essas concentrações coincidem satisfatoriamente com as que foram determinadas no presente estudo.

QUADRO 3

Composição química do aguapé (%)  
apresentada por O'Brien

	MÉDIA	FAIXA DE VARIACÃO
Carbono	44,80	36,90 - 51,60
Nitrogênio	2,90	1,56 - 3,94
Fósforo	0,63	0,31 - 0,89

Tal como ocorre com as plantas terrestres, a composição química das plantas aquáticas varia de acordo com as características ambientais. Via de regra, maiores teores de componentes minerais são encontrados em águas poluídas do que em ambientes preservados das atividades humanas. O levantamento realizado em 16 lagoas naturais com pouca influência de cargas poluidoras, localizadas no Estado da Flórida, Estados Unidos, resultou em níveis apreciavelmente mais baixos de nitrogênio e fósforo no aguapé (1,6% e 0,3% respectivamente) se comparados com os resultados em ambiente aquático poluído.

Com relação aos íons metálicos, as concentrações encontradas no aguapé no presente estudo, como é indicado no quadro 4, são bem inferiores às concentrações que apresentam efeitos tóxicos agudos para galinhas, por exemplo.

QUADRO 4

Concentrações de íons metálicos no aguapés cultivado nas lagoas e seus níveis tóxicos para galinhas,

Íons Metálicos	Concentração encontrada na planta	Nível Tóxico	Efeito toxicológico	Ref.
Cromo total (mg/kg)	4,7	120	diminuição no crescimento	14
Cobre (mg/kg)	10,4	130		
Chumbo (mg/kg)	20,0	778		
Zinco (mg/kg)	182,0	606		
Cádmio (mg/kg)	0,48	22		
Mercúrio (mg/kg)	0,13	1,3		

#### 3.4. Remoção de nutrientes

São apresentados nos quadros 5a e 5b, as cargas aplicadas e removidas e a eficiência média da remoção de nitrogênio e fósforo total determinada em diferentes tempos de detenção nas lagoas experimentais.

De modo geral, as eficiências de remoção de N e P apresentam uma tendência de melhoria com o aumento do tempo de detenção. As máximas eficiências obtidas na lagoa 1 para N e P foram de 52% e 58%, respectivamente, com tempo de detenção de 10 dias período de dezembro e janeiro e mínimas de 12% e 14% com tempo de detenção

Quadro 5a. - CARGA E EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE NITROGÊNIO TOTAL DETERMINADAS NAS LAGOAS EXPERIMENTAIS

Período	Tempo de detenção (dias)	Conc. média (mg/l)			Carga kg/ha.d				Eficiência (%)		T (°C)
		Afl.	Efl.L <sub>1</sub>	Efl.L <sub>2</sub>	Lagoa 1		Lagoa 2		Lagoa 1	Lagoa 2	
					Apl.	Remov.	Apl.	Remov.			
OUT-NOV/81	10	38,8	18,5		23,3	12,2			52		22,6
FEV-MAR/82	5	25,9	16,1		31,1	11,8			38		25,5
ABR-MAI/82	2,5	33,0	29,1		79,2	9,4			12		19,7
JUL-AGO/82	5	41,0	28,0	33,5	49,2	15,6	98,4	18,0	32	18	19,0
SET-OUT/82	7	68,4	59,1	59,1	57,5	7,8	114,7	13,9	14	12	20,0
NOV-DEZ/82	7	56,8	38,9	43,4	47,7	15,0	95,4	22,5	32	24	22,6

Quadro 5b. - CARGA E EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE FOSFORO TOTAL DETERMINADAS NAS LAGOAS EXPERIMENTAIS

Período	Tempo de detenção (dias)	Conc. média (mg/l)			Carga kg/ha.d				Eficiência (%)		T (°C)
		Afl.	Efl.L <sub>1</sub>	Efl.L <sub>2</sub>	Lagoa 1		Lagoa 2		Lagoa 1	Lagoa 2	
					Apl.	Remov.	Apl.	Remov.			
OUT-NOV/81	10	6,6	2,8		4,0	2,3			58		22,6
FEV-MAR/82	5	6,5	4,5		7,8	2,4			31		25,5
ABR-MAI/82	2,5	7,8	6,7		18,7	2,6			14		19,7
JUL-AGO/82	5	8,5	5,0	6,3	10,2	4,2	20,4	5,3	41	26	19,0
SET-OUT/82	7	10,8	6,0	7,7	9,1	5,0	18,1	5,2	44	29	20,0
NOV-DEZ/82	7	11,1	8,6	9,6	9,3	2,1	18,7	2,5	23	14	22,6

Obs.: T = temperatura média  
 Afl. = esgoto afluente  
 Efl.L<sub>1</sub> = efluente da lagoa 1  
 Efl.L<sub>2</sub> = efluente da lagoa 2  
 Apl. = carga aplicada  
 Remov. = carga removida

de 2,5 dias nos meses de abril e maio.

Na lagoa 2 com profundidade maior (1,0 m), as eficiências de remoção tanto de nitrogênio como de fósforo são menores que as da lagoa 1, com menor profundidade (0,6 m). Em termos de cargas de nutrientes por unidade de área, não houve correlação significativa entre a quantidade de nutrientes aplicada e removida.

As cargas removidas de nitrogênio total durante o experimento na lagoa 1 oscilaram entre 7,8 kg/ha.d e 15,6 kg/ha.d, e foram de 2,1 kg/ha.d a 5,0 kg/ha.d para fósforo total.

As cargas removidas na lagoa 2 apresentaram-se maiores quando comparadas com as da lagoa 1, tanto de nitrogênio como de fósforo, embora as eficiências de remoção em termos de porcentagem fossem sempre menores na segunda lagoa que apresenta maior profundidade.

No quadro 6 encontra-se o resumo dos resultados relativos à remoção de nutrientes obtidos em várias lagoas experimentais, com base em referências bibliográficas, comparado com os resultados relativos a remoção média dos nutrientes obtidos pela CETESB.

Observa-se que podem ser obtidas eficiências de 64 a 96% de remoção de nitrogênio com as cargas aplicadas - numa faixa de 11 a 19 kg/ha.d, e com os tempos de detenção de 4 a 6 dias. Embora se tenha utilizado longo tempo de detenção no sistema experimental do Laboratório Nacional de Tecnologia Espacial (54 dias) e consequentemente baixas cargas aplicadas, foram registrados apenas 72 e 57% de remoção de nitrogênio total e fósforo total, respectivamente. Os resultados obtidos no LNTE (Laboratório Nacional de Tecnologia Espacial) mostram que um prolongado tempo de detenção nem sempre oferece melhor eficiência de tratabilidade.

Quadro 6  
REMOÇÃO DE NUTRIENTES NO SISTEMA DE AGUAPÉ PARA TRATAMENTO DE ESGOTO

LOCAL	ÁREA DA LAGOA (ha)	PROFUNDIDADE (m)	TEMPO DE DETENÇÃO (d)	CARGA ORGÂNICA (kgDBO/ha x d)	CARGA DE NUTRIENTES (kg/ha.d)				EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO (%)		REF.
					NITROGÊNIO		FÓSFORO		N	P	
					APLICADA	REMOVIDA	APLICADA	REMOVIDA			
Williamson Creek, Texas 1.ª fase da exp. 2.ª fase da exp.	0,059	1,0	5,3	43	15,3	10,7			70		15
	0,059	0,85	4,5	89	18,5	11,8			64		
Coral Spring, Flórida	0,50	0,4	6,0	31	19,5	18,7	4,8	3,2	96	67	16
Lab. Nac. de Tec. Espacial	2,0	1,22	54,0	26	2,9	2,1	0,9	0,5	72	57	4
CETESB	0,008	0,6	2,5-10	-	48,0	12,5	9,9	3,1	34	35	-
		1,1	2,5-10	-	102,8	18,1	19,1	4,3	18	23	-

A remoção de nutrientes na lagoa de aguapé é realizada, basicamente, pelos processos de absorção pelas plantas e sedimentação e/ou eliminação ao ar livre através de nitrificação e denitrificação, no caso específico de compostos nitrogenados.

Não é provável que tenha ocorrido eliminação significativa de nitrogênio em forma de gás, devido à predominante condição anaeróbia e ao baixo valor de pH ( $\sim 7$ ) durante o período de estudo.

Admitindo-se que a remoção de nutrientes seja processada somente pela absorção do aguapé proporcionalmente à sua composição química, com base na produtividade de 200 kg/ha.d determinada no presente estudo, as quantidades removidas de N e P podem ser estimadas, respectivamente, em 6,0 kg/ha.d e 1,1 kg/ha.d. Esses valores correspondem, aproximadamente, a 50 e 35%, respectivamente, dos valores médios das cargas removidas totais, obtidas na lagoa 1 (12,0 kg N/ha.d e 3,1 kg/P/ha.d). A diferença entre as cargas totais removidas e as fixadas pelas plantas pode ser atribuída à eliminação pelos processos físicos e químicos - que se verificam normalmente no sistema de lagoa de estabilização.

Com relação à remoção de nutrientes nas lagoas de estabilização convencionais e nos reservatórios eutrofizados, existem numerosos trabalhos publicados, de acordo com os quais pode-se admitir que a remoção às vezes excede a eficiência de 70% de nitrogênio total e 50% de fósforo total, dependendo do tempo de detenção aplicado e outros fatores ambientais (3 e 17).

Para se ter uma idéia comparativa sobre a eficiência de remoção de nutrientes, são apresentados no quadro 7, os dados determinados no experimento em uma lagoa

fotosintética. Esse experimento foi realizado no período de 1978 a 1980 na mesma lagoa utilizada para o aguapé, operando com profundidade de 0,5m, em diferentes tempos de detenção (14).

Embora não sejam iguais os tempos de detenção testados nos dois sistemas experimentais, observa-se que as quantidades de nutrientes removidas na lagoa fotosintética são menores que na lagoa de aguapé, principalmente no que diz respeito ao fósforo total.

#### QUADRO 7

Comparação da eficiência média de remoção de N e P na lagoa fotosintética e lagoa de aguapé (%)

Parâmetro	Lagoa Fotosintética			
	Tempo de detenção ( dias )			
	10	6	4	2,8
N. Total	32	40	17	14
P. Total	35	18	18	8
Parâmetro	Lagoa de Aguapé			
	Tempo de detenção ( dias )			
	10	7	5	2,5
N. Total	52	23	35	12
P. Total	58	39	36	14

O mesmo tipo de resultado foi verificado no experimento realizado nas lagoas de maturação sem e com aguapé, paralelamente, em escala piloto, em Brasília (18). Como está indicado no quadro 8, as eficiências de tratabi-

lidade de fósforo e nitrogênio da lagoa de aguapé são, aproximadamente, 20 a 25% superiores às da lagoa sem aguapé.

## QUADRO 8

Dados comparativos sobre as eficiências de tratabilidade nas lagoas de maturaçãõ sem e com aguapé.

Lagoa	P Total	N Total	Algas	Coli. Fecal	OD	Transpa rência
Maturação sem aguapé	54%	51%	aumentou	96%	9,0mg/ℓ	26cm
Maturação com aguapé	70%	63%	91%	97%	2,9mg/ℓ	56 cm

FONTE: MOSSÉ, R.A. (18)

Esses fatos sugerem a vantagem da utilização da lagoa de aguapé em comparação à lagoa de estabilização convencional, quanto à remoção de nutrientes.

É importante salientar que, além da capacidade assimiladora de nutrientes, o aguapé remove de forma eficiente partículas em suspensão na água (algas, por exemplo), através da ação física do sistema de raízes (vide quadro 8). Por esse motivo, a lagoa de aguapé é um sistema atrativo para tratamento avançado, quando o

mesmo for utilizado combinado com a lagoa de estabilização convencional, especialmente nas regiões de clima quente.

Pelos dados expostos anteriormente, parece razoável adotar cargas de 18 kg/ha.d para nitrogênio e 4 kg/ha.d para fósforo em projetos de lagoas de aguapé, para se obter uma eficiência de remoção de 80%, nas condições climáticas médias anuais no Estado de São Paulo. Conforme levantamentos efetuados em 7 lagoas de estabilização, localizadas em cidades do interior do Estado de São Paulo (19), foram estimadas as contribuições diárias de nitrogênio e fósforo por habitante, respectivamente de 7g e 1,4g.

Associando-se esses valores com as cargas de projeto indicadas anteriormente, avalia-se que a lagoa de aguapé, com área de 1 hectare, pode tratar, diariamente, os esgotos correspondentes a 2.500 habitantes, com eficiência aproximada de 80% em remoção de nutrientes.

### 3.5. Densidade de aguapé e eficiência de tratabilidade

Como foi discutido no item anterior, quando o aguapé ultrapassa uma determinada densidade na lagoa, sua taxa de crescimento tende a decrescer e, conseqüentemente, diminuem suas atividades biológicas relacionadas à assimilação de substâncias poluidoras. Por esse motivo, do ponto de vista da operação prática da lagoa, é necessário efetuar um controle constante da quantidade de aguapé para manter melhor rendimento na eficiência de tratabilidade do sistema.

A fim de se determinar a quantidade de aguapé necessária para o funcionamento da lagoa de forma eficiente, foram estabelecidas duas curvas, sendo que uma, denominada potencial de tratabilidade, representa o produto da taxa de produtividade pela quantidade de aguapé

em cada instante do crescimento e a outra mostra a evolução da porcentagem da área coberta pelo aguapé - na lagoa, em função da variação do potencial de tratabilidade.

O potencial de tratabilidade (8) foi avaliado pela seguinte fórmula:

$$\xi = \alpha P \dots\dots\dots (3)$$

onde:  $\alpha$  = taxa de produtividade em cada instante do crescimento (%/d).

P = quantidade do aguapé produzido até o instante considerado. ( $\text{g}/\text{m}^2$ ).

O cálculo da taxa de produtividade foi efetuado através da seguinte equação:

$$\frac{dP}{dt} = \frac{W a E e^{-Et}}{(1 + a e^{-Et})^2} \dots\dots\dots (4)$$

onde: W = quantidade máxima de aguapé produzida - ( $\text{g}/\text{m}^2$ ); adotou-se  $700 \text{ g}/\text{m}^2$  em peso seco para esse parâmetro.

$$a = \frac{W - P_0}{P_0}$$

$P_0$  = quantidade inicial de aguapé ( $\text{g}/\text{m}^2$ ).

E = coeficiente.

t = tempo de crescimento (dias)

A quantidade de aguapé (P) na equação (3) foi extraída de dados levantados no estrado experimental 1 no pre

sente estudo.

A porcentagem da área da lagoa ocupada pelo aguapé em função do tempo foi avaliada a partir do valor (P) admitindo-se que 700 g de aguapé/m<sup>2</sup>, adotado no presente estudo como máxima quantidade produzida, corresponde a 100 % da área da lagoa coberta pelo aguapé.

Como se verifica na figura 3, o ponto que apresenta maior valor do potencial de tratabilidade (556 g/m<sup>2</sup>,d) coincide com uma área que representa cerca de 70% da área total coberta pelo aguapé.

Isto significa que pode ser obtido um melhor rendimento de tratabilidade do sistema, mantendo 70% da área da lagoa com aguapé e 30% em área livre, através da remoção periódica das plantas aquáticas. Deve-se ressaltar que essa proporção de área ocupada e não ocupada por aguapé, deve ser de forma intercalada para poder manter espaço livre entre a vegetação referida.

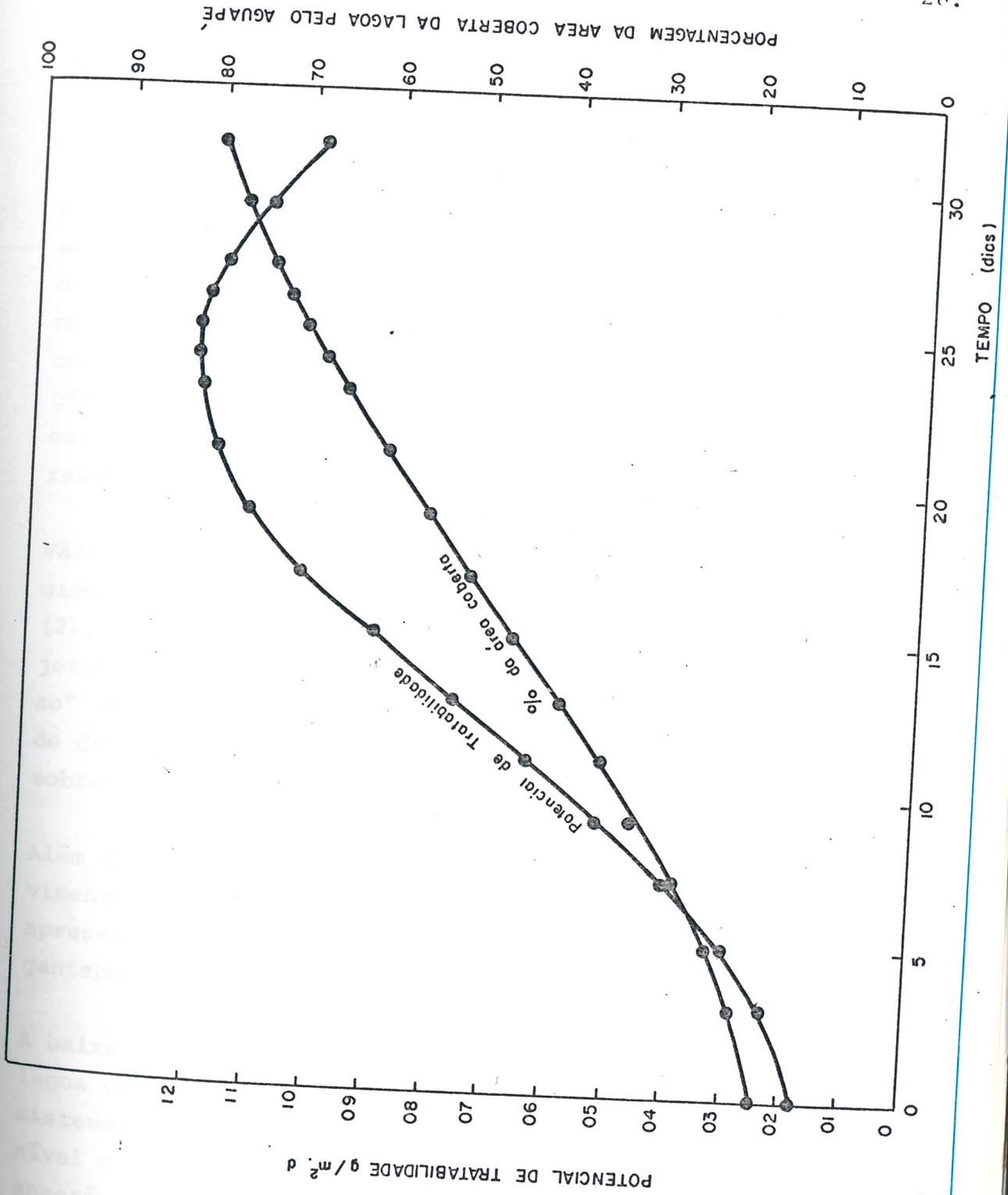
A quantidade de aguapé que deve ser recolhida diariamente nessa situação operacional é estimada em torno de 20 g/m<sup>2</sup> ou 200 kg/ha para as condições climáticas médias anuais no Estado de São Paulo.

#### 4. PROBLEMAS OPERACIONAIS

A remoção do aguapé constitui um dos problemas mais críticos na operação do sistema.

Como foi referido anteriormente, a presença de quantidade excessiva de aguapé na lagoa prejudica a eficiência do funcionamento da mesma, não só pela redução da capacidade assimiladora das plantas aquáticas mas também pelo acréscimo de mate

FIGURA 3 : RELAÇÃO DO POTENCIAL DE TRATABILIDADE E PORCENTAGEM DA ÁREA COBERTA DA LAGOA PELO AGUAPÉ



riais poluidores no sistema, resultantes da decomposição de biomassa morta.

A proliferação de mosquitos deve ser destacada como outro fator importante na aplicação do sistema em estudo.

Embora alguns investigadores não tenham encontrado problemas causados por mosquitos, a maioria dos técnicos recomenda a adoção de algumas medidas de controle desses insetos, no programa de operação das lagoas (3). Além do natural desconforto causado às populações circunvizinhas, a proliferação de mosquitos pode assumir características mais graves em caso de presença de espécies ligadas à veiculação de parasitoses.

Vários pesquisadores sugerem a utilização do controle biológico por meio do emprego de peixes como *Gambusia* e *Astyarax* (2). Recentemente, a CETESB iniciou investigações com o objetivo de verificar a viabilidade do uso do "peixe do paraíso" (*Macropodus opercularis*) que apresenta enorme capacidade de alimentação com larvas de mosquitos e que, inclusive, sobrevive em águas poluídas.

Além de se constituírem em ambientes propícios ao desenvolvimento de larvas de mosquitos, as lagoas de aguapé poderão apresentar condições favoráveis ao crescimento de outros organismos indesejáveis em termos de saúde pública.

A baixa concentração de oxigênio dissolvido no efluente da lagoa de aguapé constitui outro aspecto negativo deste sistema. Quando essa lagoa for utilizada para tratamento em nível secundário, funcionará predominantemente em condições anaeróbias, ocasionando problemas de maus odores, dependendo das cargas poluidoras e condições climáticas.

Por outro lado, como o aguapé é uma planta originária de região tropical, sua parte vegetativa é bastante sensível às

baixas temperaturas, sendo prejudicado o funcionamento normal do sistema de tratamento com a ocorrência de geadas.

## 5. ASPECTOS ECONOMICOS

Embora existam vários estudos referentes aos aspectos econômicos e financeiros da implantação de sistemas de tratamento por lagoas de estabilização, pouco se conhece sobre a economicidade do sistema de aguapé em nosso País. Alguns estudos citados em bibliografia, embora a nível exploratório, analisam comparativamente os sistemas de tratamento avançado e os de aguapé, em relação à remoção de nutrientes.

Embora o custo de um sistema de tratamento para remoção de nutrientes através de aguapé, dependa principalmente da carga de nutrientes das águas residuárias em estudo, para uma avaliação de custos da lagoa de aguapé deverão ser considerados outros fatores importantes dos quais se destacam: colheita, processamento, manuseio, transporte e disposição das plantas, custos de construção da lagoa, etc.

Existem várias alternativas para o processamento e destinação final das plantas de aguapé, entre as quais podem ser citadas: compostagem para obtenção de composto orgânico para agricultura, secagem para alimentação de gado, prensa para posterior disposição no solo, digestão para obtenção de metano, produção de papel, produção de etanol, produção de carvão. Entretanto, não se deve esquecer, em qualquer análise técnica, que a viabilidade econômica constitui um fator fundamental para a implantação do projeto.

A nível exploratório, os estudos de viabilidade econômica realizados por ROBINSON (20) indicaram que, para o Estado da Flórida nos Estados Unidos, sistemas de aguapé seriam mais econômicos para remoção de nitrogênio que as técnicas convencionais de tratamento avançado de despejos.

Ainda, a título de referência, são resumidos comparativamente no quadro 9, os custos estimados por Crites (21) para os vários processos de tratamento que resultam na qualidade dos efluentes, correspondentes ao nível avançado, para uma vazão de 3.785 m<sup>3</sup>/dia. Os custos a seguir apresentados são referentes a julho de 1983.

QUADRO 9

Comparação de custos para várias alternativas de tratamento avançado. (Valor da UPC em Julho de 1983 = cr\$ 4.554,05)

SISTEMA DE TRATAMENTO	CUSTOS TOTAIS Cr\$ /m <sup>3</sup>
- Lagoa de oxidação combinada com lagoa de aguapê	156
- Tratamento por aplicação no solo, combinado com lagoa de aguapê	166
- Tratamento por aplicação no solo	242
- Tratamento avançado convencional I	274
- Tratamento avançado convencional II	505

FONTE: Crites (21)

O sistema de tratamento através de lagoa de oxidação combinada com lagoa de aguapê, apresentado no quadro, consiste em um tratamento preliminar com caixa de areia, seguida por lagoa facultativa convencional e lagoa de aguapê, operados em série. O aguapê removido é disposto em terrenos para compostagem ou para secagem e armazenagem.

O sistema de tratamento por aplicação no solo, combinado com lagoa de aguapé, consiste em um gradeamento preliminar e remoção de areia, adição de cloreto férrico ou alúmen, seguido por uma disposição no solo e lagoa com aguapé.

O sistema de tratamento avançado convencional I é composto de lodo ativado, seguido por filtração em camada dupla enquanto que o sistema II é composto de lodo ativado, precipitação química para remoção de fósforo, nitrificação biológica seguida por denitrificação e filtração em meio misto.

Taylor e Stewart (22) realizaram algumas comparações de ordem econômica, levando em conta inclusive, retornos econômicos advindos do aproveitamento de subprodutos. Segundo os autores, o custo total para sistemas com aguapé, considerando o aproveitamento de subprodutos, pode ser representado pela seguinte expressão:

$$P = A_C + A_{OM} + B_C + B_{OM} + a (C_C + C_{OM})$$

onde:

$P$  = Valor presente do custo total do sistema.

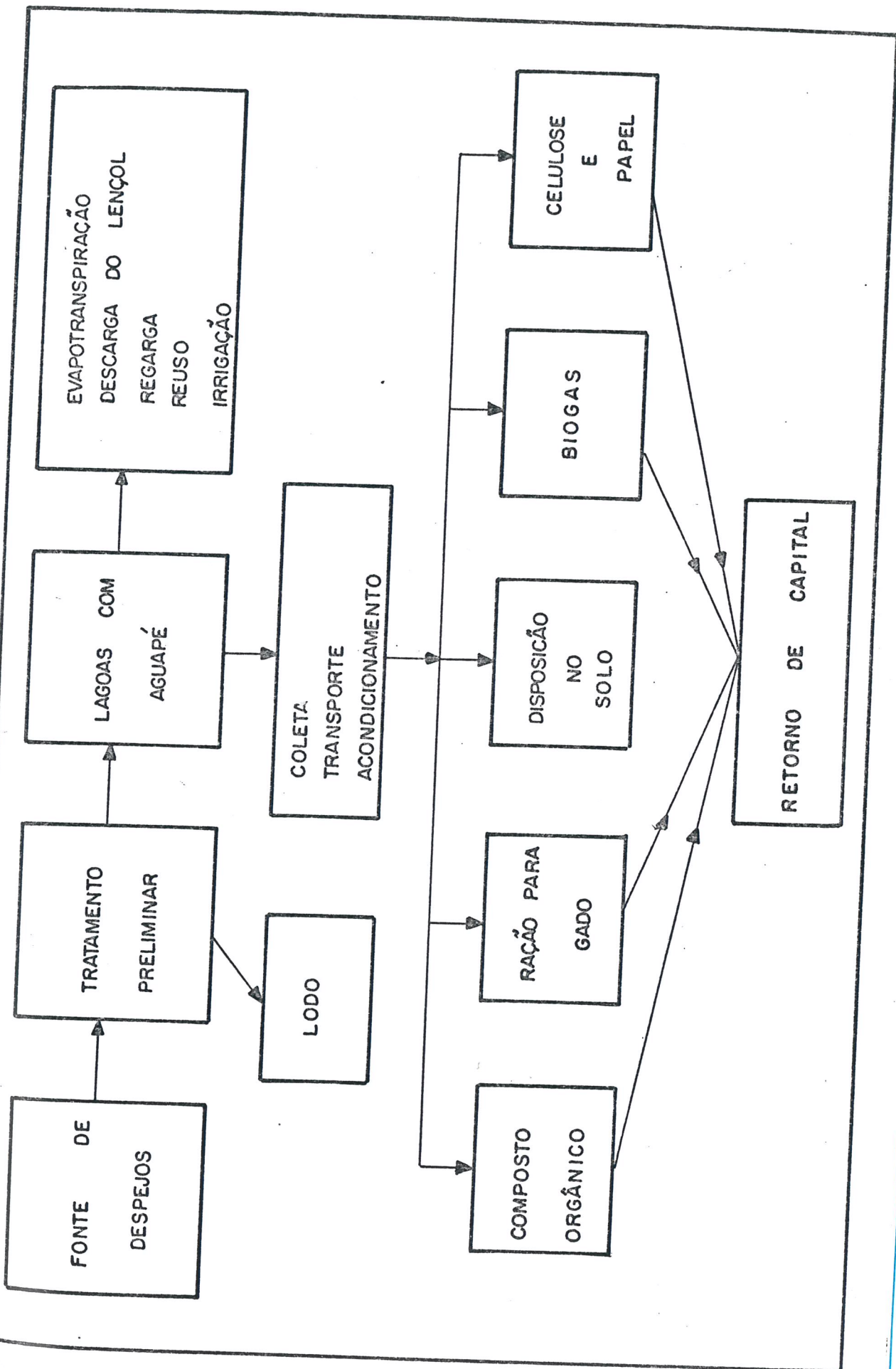
$A_C$  = Custo de investimento do sistema de tratamento preliminar (antes da lagoa de aguapé).

$A_{OM}$  = Valor presente dos custos de operação e manutenção (O&M) do sistema de tratamento que antecede a lagoa de aguapé para remoção de nutrientes.

$B_C$  = Custos de investimentos da lagoa de aguapé e do equipamento para a colheita destas plantas.

$B_{OM}$  = Valor presente do custo de O&M da lagoa de aguapé e equipamento de colheita.

QUADRO 10 : PROCESSAMENTO E MANUSEIO DE SISTEMA DE AGUAPÉ



$C_C$  = Custo de investimento do sistema de processamento e manuseio das plantas de aguapê.

$C_{OM}$  = Valor presente do custo de O&M do sistema de processamento e manuseio das plantas de aguapê.

Observações:

1) O processamento e manuseio dos sistemas a serem adotados para o aguapê são:

- compostagem
- produção de alimentos
- prensagem e disposição no solo
- produção de gás metano
- produção de carvão
- produção de celulose e papel
- outros

2) A parcela a  $(C_C + C_{OM})$  pode ser utilizada para um ou mais sistemas acima citados.

A representação esquemática do exposto acima pode ser ilustrada pelo quadro 10.

Os custos designados como  $A_C$  e  $A_{OM}$  são aqueles advindos de qualquer sistema de tratamento em águas residuárias que antecede o tratamento nas lagoas com aguapê. No caso da não existência deste tratamento preliminar,  $A_C$  e  $A_{OM}$  assumem o valor zero, ou seja, as lagoas de aguapê recebem o esgoto bruto. O valor de  $A_C$  pode ser formulado através de uma equação exponencial em função da vazão das águas residuárias. O valor de  $A_{OM}$ , da mesma forma, será função também da vazão, sendo que os valores dos custos da Operação e Manutenção deverão ser referidos à data da formulação da análise de custos, resultando na dependência da fixação da taxa de desconto e do período de vida útil do sistema.

O custo designado como  $B_C$  é aquele referente à construção e instalação de equipamentos de colheita e transporte e dos valores inerentes ao local de implantação do sistema, ou seja, custos do terreno a ser desapropriado, dos volumes de escavação e aterro, etc., enquanto que os custos designados como  $B_{OM}$  são representados pela somatória dos custos de energia para colheita do aguapé, a mão-de-obra necessária para operação de todo o sistema, custo de manutenção, custos administrativos, etc.

Para efeito de ilustração, uma das parcelas de  $B_C$  relativa à coleta de aguapé, para uma população hipotética de 150.000 habitantes ( $38 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{dia}$ ), representaria um custo de investimento da ordem de Cr\$  $30.400 \times 10^6$  para um sistema do tipo "Draglines" ou Cr\$  $800 \times 10^6$  para o sistema "Barscreen". Já o custo operacional ( $B_{OM}$ ) do "Draglines" é de Cr\$  $0,032 \times 10^6$  ha.dia, enquanto Ronald Crites (23) cita valores da ordem de Cr\$  $0,2 \times 10^6$  ha.dia.

O custos designados como  $C_C$  e  $C_{OM}$  são aqueles referentes ao processamento e manuseio dos aguapés recolhidos. As parcelas que constituirão estes custos não dependem da escolha do sistema de tratamento.

Para compostagem, pode-se utilizar o lodo biológico em adição às plantas de aguapé. Os custos de investimento ( $C_C$ ) incluem os referentes aos equipamentos de desidratação do lodo. Os custos de operação e manutenção ( $C_{OM}$ ) correspondem à soma das parcelas relativas ao consumo de energia, à mão-de-obra, etc. Para uma vazão de  $38 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{dia}$  os custos de investimentos para a produção de composto orgânico são da ordem de Cr\$  $7.344 \times 10^6$ , enquanto que os custos operacionais são de Cr\$  $240 \times 10^6/\text{ano}$ .

A venda de composto orgânico pode atingir Cr\$  $288 \times 10^6/\text{ano}$ ,

a preço de mercado brasileiro e, segundo Ronald Crites (23), a Cr\$  $1.152 \times 10^6$  no mercado dos Estados Unidos.

O aguapé pode ser usado também para alimentação de gado, sendo que o seu conteúdo pode representar até 30% da dieta total. Para isto, o aguapé necessita passar por uma operação de desidratação e secagem. Quanto a esta última, pode-se utilizar energia solar.

Sendo necessários de 5 a 6 dias de exposição e uma taxa de  $12 \text{ kg/m}^2$  para uma vazão de  $3,8 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{dia}$  e uma área produtiva de 60 ha, os custos de investimentos ( $C_C$ ) são da ordem de Cr\$  $264 \times 10^6$  e os custos operacionais ( $C_{OM}$ ) da ordem de Cr\$  $288 \times 10^6/\text{ano}$ .

Supondo que a ração possa ser incorporada ao farelo de soja e a mistura vendida a preço de mercado (julho/83), o retorno estimado seria da ordem de Cr\$  $232 \times 10^6/\text{ano}$ .

Outro aproveitamento para o aguapé é o seu lançamento em aterros, ajustes de terrenos ou, de maneira geral, para disposição no solo. Os custos ( $C_C$  e  $C_{OM}$ ) são aqueles resultantes da operação de se tratar os aguapês como resíduo sólido, basicamente prensagem para reduzir peso e para permitir melhor manuseio, transporte e disposição adequada no solo. Os custos de investimento ( $C_C$ ), para uma vazão de  $38 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{dia}$ , é da ordem de Cr\$  $7.000 \times 10^6$  e os custos de operação e manutenção ( $C_{OM}$ ) atingem valores de Cr\$  $13.632 \times 10^6$ .

As figuras 4 e 5 mostram os custos de investimentos e de operação e manutenção para sistema de tratamento com aguapé, em comparação com sistema convencional para tratamento de despejos.

O quadro 11 mostra o custo de algumas atividades para uma vazão de  $38 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{dia}$  utilizando-se tratamento por aguapé.

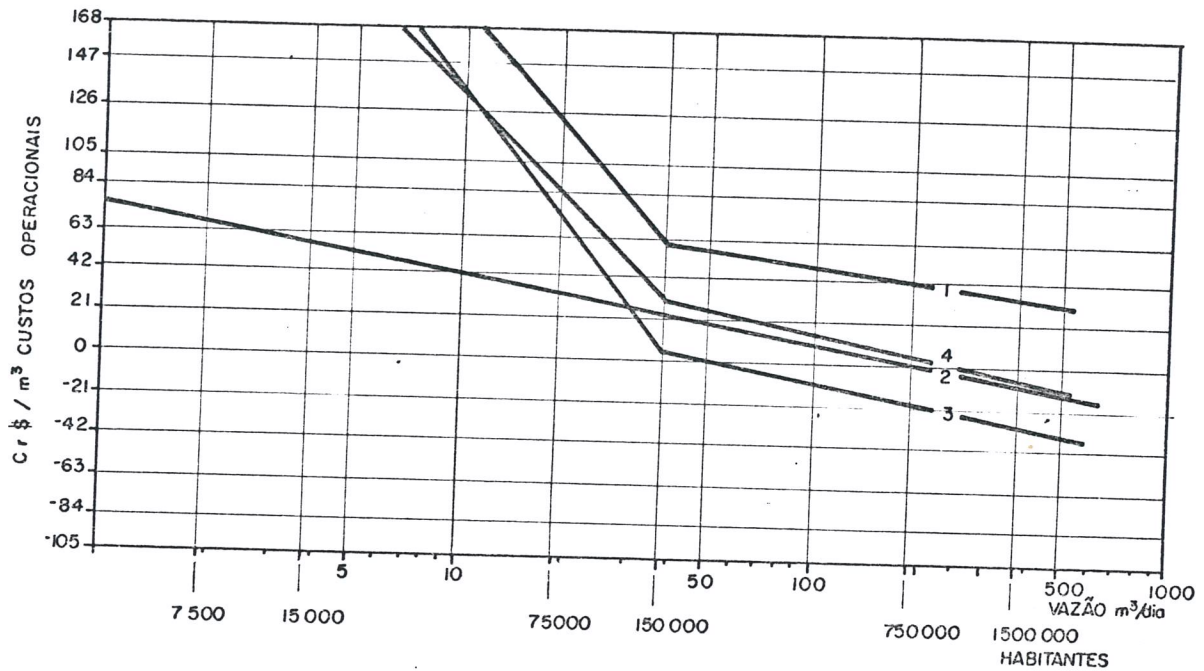


FIGURA 4: CUSTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO. ESTIMATIVAS PARA SISTEMAS DE TRATAMENTO COM AGUAPÉ EM COMPARAÇÃO A SISTEMA CONVENCIONAL PARA TRATAMENTO DE DESPEJOS

1. Tratamento avançado convencional de esgoto (tratamento secundário seguido de remoção de nutrientes por processo Físico-Químico).
2. Tratamento secundário e aplicação do efluente em irrigação. Retorno de Cr\$ 110/m<sup>3</sup>.ano na Colheita.
3. Sistema de tratamento com aguapé com taxa de colheita de 26 kg úmidos/m<sup>3</sup>. Retorno de Cr\$ 20x10<sup>3</sup>/ton. a 15% de umidade para alimentação de gado (tratamento secundário preliminar).
4. Sistema de tratamento com aguapé com taxa de colheita de 26 kg úmidos/m<sup>3</sup>.dia. Retorno de Cr\$ 16x10<sup>3</sup>/ton. a 40% de umidade, para compostagem. (tratamento secundário preliminar).

Fonte: TAYLOR and STEWART (22)

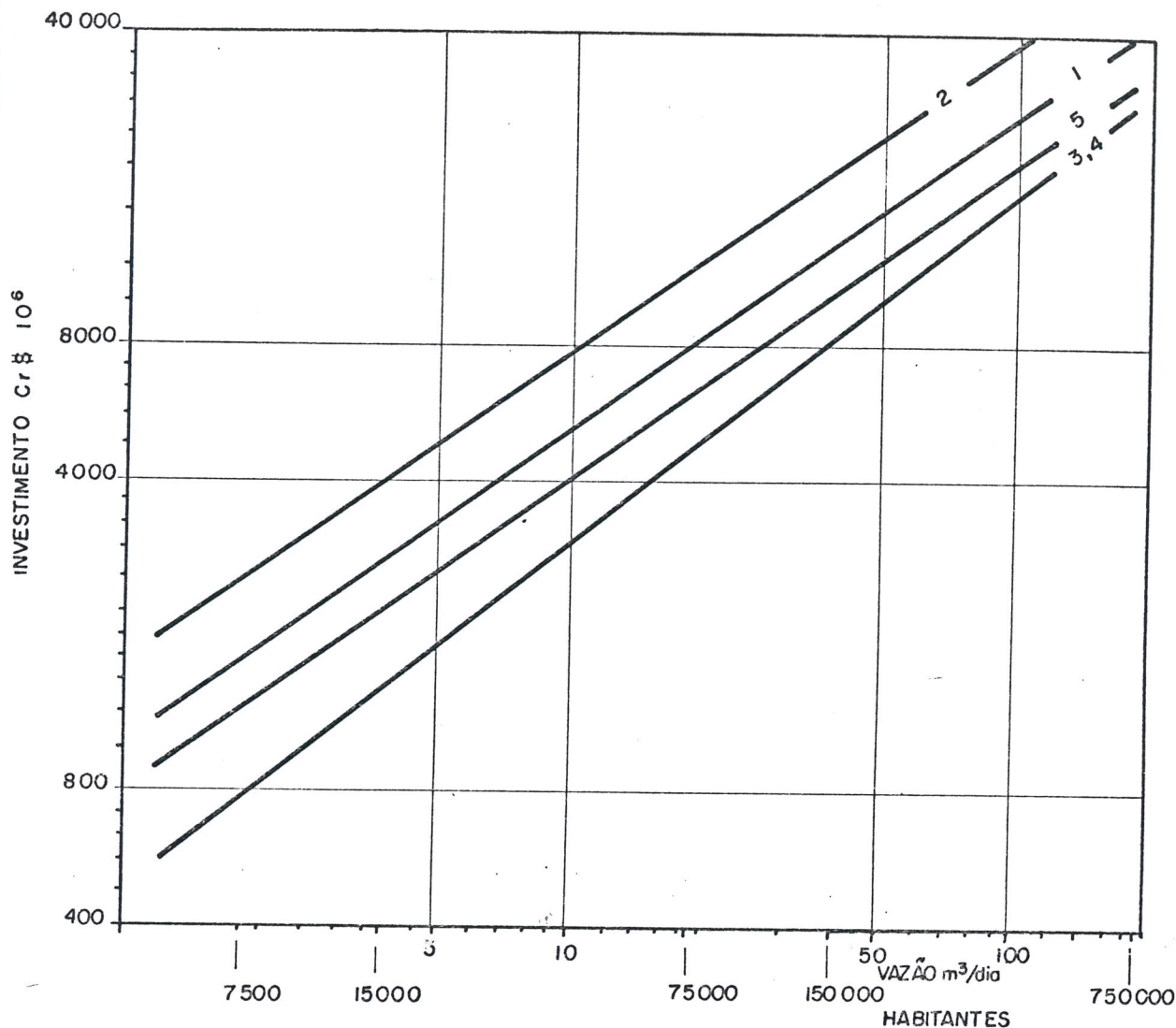


FIGURA 5 : CUSTOS DE INVESTIMENTOS ESTIMATIVOS PARA SISTEMAS DE TRATAMENTO COM AGUAPÉ EM COMPARAÇÃO A SISTEMAS CONVENCIONAIS PARA TRATAMENTO DE DESPEJOS

1. Tratamento avançado convencional.
2. Tratamento Secundário e aplicação do efluente em irrigação.
3. Tratamento secundário preliminar (Cr\$  $80 \times 10^6$ /ano) com o sistema de Aguapé.
  - ração animal  $2 \text{ ha/m}^3/\text{dia}$
  - efluente com  $0,3 \text{ mg/l}$  de fósforo total e  $0,6 \text{ mg/l}$  de nitrogênio total
4. Tratamento secundário preliminar (Cr\$  $8 \times 10^6$ /ano) com o sistema de aguapês.
  - composto orgânico  $\approx 2 \text{ ha/m}^3/\text{dia}$
  - efluente com  $0,3 \text{ mg/l}$  fósforo total  $0,6 \text{ mg/l}$  nitrogênio total
5. Idem aos sistemas 3 e 4, com uma taxa de  $\approx 8 \text{ ha/m}^3/\text{dia}$

Fonte: TAYLOR and STEWART (23)

QUADRO 11 - Custo de algumas atividades para um exemplo de vazão de  $38 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{dia}$  utilizando-se aguapé.

ATIVIDADE	CUSTO DE INVESTIMENTO CR\$/ANO	CUSTO DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO CR\$/ANO	RETORNO COM VENDA DE SUB-PRODUTO CR\$/ANO
Colheita de aguapé com "Draglines"	$30.400 \times 10^6$	$1680 \times 10^6$	-
Colheita de aguapé com "Barscreen"	$800 \times 10^6$	-	-
Sistema de tratamento com lagoas de aguapé e colheita	$8640 \times 10^6$	$2488 \times 10^6$	-
Compostagem	$7344 \times 10^6$	$240 \times 10^6$	$288 \times 10^6$
Ração para gado	$264 \times 10^6$	$288 \times 10^6$	$232 \times 10^6$
Disposição no solo	$7000 \times 10^6$	$13632 \times 10^6$	-
Produção de energia (carvão vegetal)	-	-	$640 \times 10^6$
Produção de gás metano Uso doméstico	-	-	$720 \times 10^6$

- Obs.: 1) Os valores apresentados no quadro 11 tiveram como base uma área de 150 ha, necessária para reduzir a DBO de 200 mg/l para 3 mg/l.
- 2) Os valores referentes ao retorno de capital com a venda de subproduto, foram estimados com base nos preços de venda no mercado de produtos similares.
- 3) Produção de aguapé: 200 kg massa seca/dia.

O quadro 12, compara os sistema de lagoas de aguapé apresentado por Taylor e Stewart (22) e os estudos de lagoas fotossintéticas aceleradas desenvolvidas pela CETESB (14). Quanto aos aspectos técnicos, os dois sistemas são praticamente similares, com desvantagem para as lagoas de aguapé quanto às áreas envolvidas. Quanto aos aspectos econômicos, observa-se que a lagoa fotossintética oferece sensíveis vantagens com relação aos custos de operação e manutenção e de investimentos. O retorno com a venda de subprodutos são basicamente equivalentes.

Não foi possível encontrar trabalho comparativo referente aos custos e benefícios de lagoas de maturação e lagoas de aguapé, ambas alternativas de tratamento de lagoas de estabilização.

Como foi discutido no item anterior, apesar de obter-se resultados de tratabilidade de lagoas de maturação relativamente superiores aos de lagoas de aguapé, as primeiras não apresentam implicação econômica quanto à disposição final da biomassa, que constitui significativa parcela dos custos operacionais nas lagoas de aguapé. Assim sendo, a vantagem de tratabilidade destacada em lagoas de aguapé poderia ser, eventualmente, anulada pela vantagem econômica oferecida pelas lagoas de maturação.

- Obs.: 1) Os valores apresentados no quadro 11 tiveram como base uma área de 150 ha, necessária para reduzir a DBO de 200 mg/l para 3 mg/l.
- 2) Os valores referentes ao retorno de capital com a venda de subproduto, foram estimados com base nos preços de venda no mercado de produtos similares.
- 3) Produção de aguapé: 200 kg massa seca/dia.

O quadro 12, compara os sistema de lagoas de aguapé apresentado por Taylor e Stewart (22) e os estudos de lagoas fotossintéticas aceleradas desenvolvidas pela CETESB (14). Quanto aos aspectos técnicos, os dois sistemas são praticamente similares, com desvantagem para as lagoas de aguapé quanto às áreas envolvidas. Quanto aos aspectos econômicos, observa-se que a lagoa fotossintética oferece sensíveis vantagens com relação aos custos de operação e manutenção e de investimentos. O retorno com a venda de subprodutos são basicamente equivalentes.

Não foi possível encontrar trabalho comparativo referente aos custos e benefícios de lagoas de maturação e lagoas de aguapé, ambas alternativas de tratamento de lagoas de estabilização.

Como foi discutido no item anterior, apesar de obter-se resultados de tratabilidade de lagoas de maturação relativamente superiores aos de lagoas de aguapé, as primeiras não apresentam implicação econômica quanto à disposição final da biomassa, que constitui significativa parcela dos custos operacionais nas lagoas de aguapé. Assim sendo, a vantagem de tratabilidade destacada em lagoas de aguapé poderia ser, eventualmente, anulada pela vantagem econômica oferecida pelas lagoas de maturação.

QUADRO 12 - Comparação entre os sistemas de lagoas de aguapé e lagoas fotossintéticas aceleradas.

Sistema de Tratamento	Aspectos Técnicos						Aspectos Econômicos			
	DBO mg/l		P <sub>T</sub> (mg/l)		NT		ÁREA (ha)	Investimento CR\$	Custo Operação e Manutenção Cr\$/ANO	Retorno com verba de sub- produto CR\$/ANO
	AFLUEN TE	EFLUEN TE	AFLUEN TE	EFLUEN TE	AFLUEN TE	EFLUEN TE				
Sistema de tratamento com lagoas de aguapé e colheita	200	3	10	0,3	25	0,6	150	3640x10 <sup>6</sup>	2488x10 <sup>6</sup>	288x10 <sup>6</sup>
Lagoa fotossintética acelerada (Estudos desenvolvidos pela CETESB) (14)	192	7,6	5,1	0,3	33	22	42	16000x10 <sup>6</sup> *	2728x10 <sup>6</sup>	232x10 <sup>6</sup>
								8904x10 <sup>6</sup> **	2116x10 <sup>6</sup>	296x10 <sup>6</sup>

\* - Obtenção de composto orgânico

\*\* - Obtenção de ração animal

As conclusões do seminário promovido pela EPA em 1980 (23) sobre sistemas de tratamento de águas residuárias por aquacultura, indicam que, embora este sistema ainda esteja em estudo de desenvolvimento, oferece soluções de baixo custo e pequeno consumo de energia para o tratamento de águas residuárias. Não se deve esquecer, entretanto, que ainda não foram resolvidos os problemas técnicos para remoção adequada e de baixo custo para o aguapé. Como foi mostrado, os custos são bastante elevados, havendo necessidade de desenvolver tecnologia mais econômica para a colheita.

De maneira geral, para a formulação de custos, o analista deverá ter como base algum manual ou índice que forneça uma base de valores, que possa auxiliar na composição final dos preços. No Brasil, não se tem informações suficientes que possam abranger os termos da equação apresentada, tendo-se conhecimento que a EPA possui um índice de construções que pode ter validade nesta análise. É evidente que, para uma estimativa de custos é necessário ter-se um projeto bem elaborado e que, às vezes, as áreas envolvidas para implantação do sistema são grandes e o custo de desapropriação pode atingir valores que inviabilizam o projeto.

Ainda com relação à área desapropriada, a determinação da área superficial necessária para a implantação do sistema de tratamento será função dos teores de DBO, nitrogênio e fósforo presentes na água residuária e do nível de remoção desejado para estes parâmetros.

Finalmente, os custos envolvidos para lagoa de tratamento com aguapés, devem ser admitidos como estimativa, devendo-se usá-los com reservas para emissão de conclusões finais, uma vez que esta tecnologia ainda encontra-se em fase de desenvolvimento e existem poucos dados levantados em unidades existentes em escala real.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. WOLVERTON, B.C. The water Hyacinth: From prolific pest to potencial provider. AMBIO Vol. VIII 1979.
2. O'BRIEN, W.J. Use of Aquatic plant systems for wastewater treatment: An Engineering Assessment. EPA 430/9-90-007 1980.
3. MIDDLEBROOKS, E.J. Aquatic process assessment. Aquaculture systems for wastewater treatment: An Engineering Assessment. EPA 450/9-80-007 1980.
4. WOLVERTON, B.C. Engineering design data for small vascular plant aquatic plant wastewater treatment systems.  
Aquaculture systems for wastewater treatment. Seminar Proceedings and Engineering Assessment. EPA 130/9-80-008 1979.
5. PENFOUND, W.T. and AERLE, T.T. The biology of the water hyacinth. Ecological Monographs. (USA) v. 18 (4) 1948.
6. WOLVERTON, B.C. and Mc DONALD, R.C.. Water Hyacinths for upgrading sewage lagoons to meet advanced wastewater treatment standards. Part II TMX-72730 NASA, NSTL 1976.
7. BOCK, J.H. An Ecological study of Eicchornia Crassipes with especial emphasis on its reproductive biology. University of California, Berkeley. CA. 1966.

8. YOUNT, J.L. and. CROSSMAN, R. A.. Eutrophication control by plant harvesting JWPCF vol. 42 1970.
9. CORWELL, D.A. et al. Nutrient removal by water hyacinths JWPCF 1977.
10. ORNES, W.H. and SUTTON, D.L. . Removal of Phosphorus from static séwage effluent by water hyacinth. Hyacinth control Journal 13,1975.
11. PENFOUD, W.T. and EARLE, T.T.. The biology of the water Hyacinth. Ecol. Mono. vol. 18,1948.
12. BOYD, C.E. Vascular aquatic plants for mineral nutrient removal from polluted waters. Economy Botany 24 1970.
13. DYMOND, G.G. The water hyacinth cinderella of the plant world. Soil Fertility and Sewage. Doner Publication, New York 1948.
14. KAWAI, H., GRIECO, V.M. e JUREIDINI P. Tratabilidade de poluentes em Lagoa Fotossintética Acelerada e aproveitamento do potencial protéico de algas. Revista DAEE nº 128 1982.
15. DINGES, R. Development of hyacinth wastewater treatment systems in Texas. Aquaculture Systems for Wasterwater Treatment. Seminar Proceedings and Engineering Assessment. EPA 130/9-80-006 1979.

16. SWETT, Dan., A water hyacinth advanced wastewater treatment systems. Aquaculture Systems and Engineering Assessment. EPA 130/9-80-006 1979.
17. OSWALD, N.J., M. AARON, M. and ZABAT, M.D. Designing waste ponds to meet water quality criteria. In: International symposium for waste treatment lagoons. Missouri basin engineering health. 1973
18. MOSSÉ, R.A. CHAGAS, J.M.C. e TERRA, A.R.S. Utilização de lagoas de maturação com aguapé (Eichhornia crassipes) na remoção de algas e coliformes em efluentes da lagoa de estabilização. Engenharia Sanitária v. 19:1 1980.
19. CETESB/BNH. Condições de funcionamento de sete lagoas de estabilização no Estado de São Paulo. Revista DAE nº 124 1981.
20. ROBINSON, A.C., et al. (JAN 1976) An analysis of the Market Potential of water Hyacinth Based Systems for Municipal Wastewater Treatment. Report nº 3 CL-04-TFR-76-5, Battelle, Columbus, OH.
21. CRITES, R.W., "Economics of Aquatic Treatment Systems" Seminar on Aquaculture Systems for Wastewater Treatment, University of California, DAVIS (1979).

22. TAYLOR, J.S. and STEWART, E.A., chapter Hyacinths extracted by "Advances in water and wastewater Treatment Biological Nutrient Removal - Martin P. Wanielista, W. Wesley, Eckenfelder, ANN ARBOR SLINCE (1978).
  
23. CRITES, Ronald W., Economic Aquatic Treatment Systems Aquaculture Systems for Wastewater Treatment - Seminar Proceeding and Engineering Assessment - EPA 430/9-80-006.

Data Aquis.:	4/0/91
Indic.:	doçaz A. c.
Livraria:	ROSSIN
Preço:	Cr\$
Data Tomba:	4/2/91



**CETESB**

**Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental**  
Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345 - Pinheiros  
Fone: 210.1100 - Telex (011) 222-46-CTS - BR  
CEP 05459 - São Paulo - SP - Brasil