
Tratabilidade de Poluentes em Lagoa Fotossintética Acelerada e Aproveitamento do Potencial Protéico de Algas

HIDEO KAWAI (*)
VITO M. GRIECO (*)
PEDRO JUREIDINI (*)

1. INTRODUÇÃO

Com o rápido aumento populacional que se verifica atualmente no mundo, a solução adequada ao saneamento e à produção de material protéico é um dos problemas mais relevantes, principalmente nos países em desenvolvimento como o Brasil.

Os esgotos domésticos e alguns tipos de despejos agropecuários embora se constituam em significativas fontes poluidoras quando lançados nos corpos hídricos, podem se tornar importantes fontes protéicas, uma vez que são resultantes de alimentos, contendo elevada quantidade de materiais nutritivos, utilizados pelos seres vivos — homens e animais.

Uma das soluções propostas para o aproveitamento dessas fontes protéicas e ao mesmo tempo para minimização do potencial poluidor dos esgotos, baseia-se no processo de simbiose entre algas e bactérias.

O sistema de lagoas de estabilização, cujo funcionamento é baseado no princípio de ações de algas e bactérias, está sendo difundido largamente no Brasil para tratamento de águas residuárias. Esta intensa utilização de lagoas de estabilização deve-se principalmente ao baixo custo de constru-

ção e simplicidade da operação e manutenção, em relação a outros sistemas de tratamento secundário.

Entretanto, deve-se destacar que para o emprego do sistema de lagoas são necessárias grandes áreas, o que dificulta sua implantação em regiões onde o custo de terreno é elevado e as condições topográficas desfavoráveis.

Por outro lado, o sistema não leva em consideração o aproveitamento de algas produzidas nas lagoas como fonte protéica. Ao contrário, as algas proliferadas constituem uma nova fonte de poluentes no corpo receptor, ocasionando problemas de odor e gosto desagradável, além de desequilíbrio no balanço de oxigênio. Por esse motivo, a lagoa de estabilização é projetada frequentemente com maior tempo de detenção e profundidade, a fim de minimizar a concentração de algas no efluente.

O sistema alternativo que se propõe no presente estudo, consiste na utilização conjunta de lagoa fotossintética acelerada e flotador com ar dissolvido.

Na lagoa fotossintética acelerada processa-se a intensa produção de algas através da qual é promovida a degradação do material carbonáceo em curto espaço de tempo.

O efluente desta lagoa é encaminhado ao flotador onde se realiza a separação de sólidos em suspensão (algas)

e a eliminação de alguns minerais poluidores de maior significância. Assim, a qualidade do efluente final será bem superior ao do tratamento secundário convencional e se aproxima da qualidade de água obtida no tratamento terciário.

Por outro lado, a massa celular de algas separadas no flotador é aproveitada como fonte de proteína, por exemplo, de ração de animais. Vários tipos de algas, produzidas nas lagoas, contêm cerca de 50% de proteína em peso seco e vários micro elementos essenciais.

No presente trabalho são apresentados os resumos de trabalhos dos experimentos realizados durante dois anos (1979 e 1980), a fim de se verificar a viabilidade técnica e econômica do sistema proposto.

Uma parte do custo da realização do estudo, correspondente a Cr\$ 8.068.038,00 (oito milhões, sessenta e oito mil e trinta e oito cruzeiros) foi financiada pela FINEP — Financiadora de Estudos e Pesquisas.

2. UNIDADES EXPERIMENTAIS UTILIZADAS

Todas as unidades experimentais, utilizadas no presente estudo, foram implantadas na antiga estação de tratamento de esgoto da SABESP, localizada no bairro residencial do Caxin-gui, em São Paulo.

(*) SUPERINTENDÊNCIA DE PESQUISA/ DTD-CETESB.

Esta estação, construída pelo antigo DAE (Departamento de Águas e Esgotos), foi desativada em 1970, sendo cedida à CETESB, a título de empréstimo, para a realização de várias pesquisas, principalmente referentes à recuperação dos esgotos domésticos.

Após reforma geral da estação, foram aproveitados no presente estudo a caixa de areia, a casa de bombas, dois decantadores e o tanque Imhoff, já existentes. Foram construídos: o poço de bombeamento do efluente do decantador para as lagoas, a caixa de distribuição do esgoto, três lagoas experimentais e o galpão experimental, onde foram instalados o flotador, a centrífuga de cesto e o secador.

O fluxograma do sistema experimental é apresentado na Figura 1.

O esgoto doméstico conduzido à estação, após a remoção de sólidos em suspensão na caixa de areia, é recalado aos decantadores, onde se processa o tratamento primário.

O efluente do decantador é bombeado à caixa de distribuição, que distribui o esgoto às três lagoas experimentais conforme as vazões programadas. Construídas em concreto, cada lagoa possui área de 72 m² com profundidades úteis de 0,5, 1,0 e 1,5 m respectivamente. Essas profundidades podem ser ajustadas pelo sistema do "stop log" instalado à saída de cada lagoa. Foram denominadas como lagoa 1, lagoa 2 e lagoa 3, respectivamente, as lagoas com profundidades de 0,5, 1,0 e 1,5 m.

Os efluentes das lagoas são conduzidos separadas ou conjuntamente ao tanque de armazenamento, construído junto ao galpão, de onde serão encaminhados ao flotador, através de bombas tipo moinho.

O flotador utilizado é do tipo "High Floater" com capacidade de tratamento de 1 a 2 m³/h.

As algas separadas no flotador, serão transportadas às centrífugas de cesto para a eliminação de água.

O efluente do flotador é encaminhado ao córrego através do coletor do efluente.

A pasta de algas centrifugadas, após a mistura com as algas já secas, é levada ao secador pneumático com capacidade de secagem de 36 kg/h.

3. PRINCIPAIS RESULTADOS OBTIDOS E COMENTÁRIOS

3.1. LAGOAS FOTOSSINTÉTICAS ACELERADAS

3.1.1. DBO

Encontram-se inseridos no Quadro 1, os valores médios de DBO obtidos

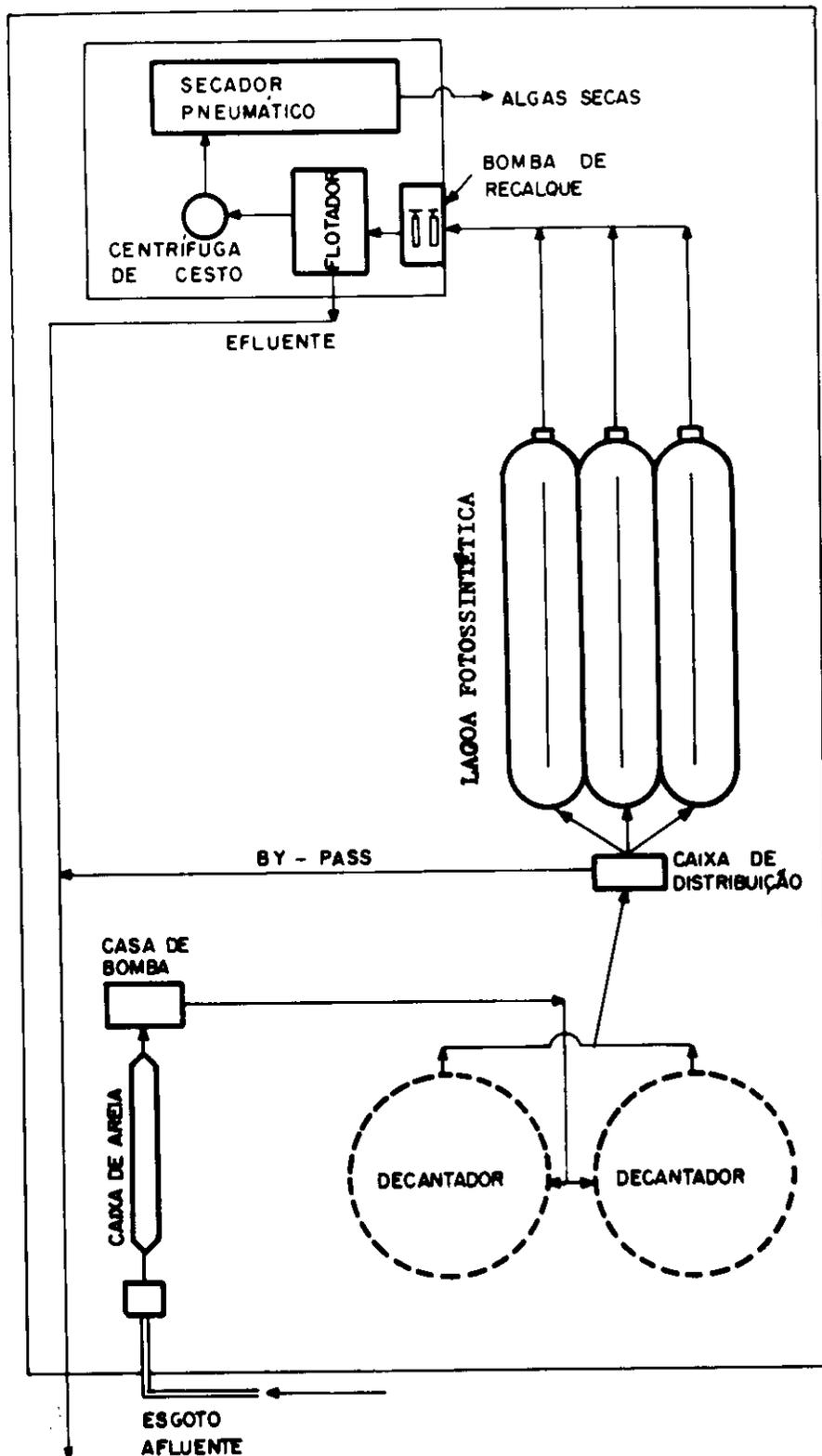


Figura 1 - Fluxograma do Sistema Experimental - Estação Experimental do Caxingui.

em vários tempos de detenção hidráulicos nas 3 lagoas, no período de dez./79 a jul./80. As profundidades das águas mantidas nestas 3 lagoas, durante os experimentos, foram de 0,4, 0,8 e 1,2 m.

Os valores da DBO do esgoto afluente, proveniente do decantador, nas lagoas oscilaram de 104 mg/l a 192 mg/l durante o estudo.

Os tempos de detenção mínimos experimentados nas lagoas 1 e 2 foram de 2,2 dias (carga de 31,2 g

DBO/m²d) e 4 dias (carga de 26,5 g DBO/m²d), respectivamente. Nestes tempos de detenção foram observados: início da mudança da coloração da massa líquida nas lagoas, de verde escuro a verde pálido, e baixa eficiência de DBO (52 e 41% nas lagoas 1 e 2).

A temperatura registrada neste período do experimento foi de 22,6°C (quadro 1).

Não foi possível confirmar este fato na lagoa 3, na mesma época, devido

QUADRO 1

Concentrações médias de DBO nos afluentes e efluentes das lagoas experimentais e eficiências de remoção de DBO em cada campanha de coleta

Lagoa	Tempo de detenção (dias)	Temp. média (°C)	DBO (mg/l)		Carga aplicada (DBO g/m ² .d)	Eficiência de remoção (%)
			Afluente	Efluente		
1	10,0	23,4	182	61	7,9	66
	6,0	26,8	104	39	7,8	62
	4,0	28,3	123	53	12,2	57
	4,0	28,5	131	45	13,0	66
	2,8	23,3	126	36	17,7	72
	2,2	22,7	175	84	31,2	52
	4,0	18,0	192	109	19,0	43
2	9,5	25,9	159	46	13,9	71
	9,0	26,8	104	25	9,0	76
	6,0	28,3	123	49	16,1	60
	5,0	23,3	126	33	20,0	74
	4,0	22,6	134	65	26,5	51
	6,6	18,0	192	86	22,8	55
3	13,9	25,9	159	37	9,7	77
	6,1	28,5	131	40	26,6	69
	8,5	18,0	192	93	19,6	52

a problemas operacionais.

Nos levantamentos realizados na época de inverno (meses de junho e julho/80), com temperatura média de 18°C, foram observados que os mínimos tempos de detenção para as lagoas experimentais foram de 4 dias para a lagoa 1, 6,6 dias para a lagoa 2 e 8,5 dias para a lagoa 3, quando as cargas da DBO foram estimadas em 19,0 g/m²d, 22,8 g/m²d e 19,6 g/m²d respectivamente.

Os melhores rendimentos no funcionamento das lagoas foram observados com os tempos de detenção de 2,8 dias (carga de 17 g DBO/m²d) e 5 dias (carga de 20 g/m²d) nas lagoas 1 e 2 respectivamente, quando foram obtidas eficiências de 72 e 74%, obtendo-se 36 e 33 mg/l de DBO de efluentes respectivamente.

De acordo com os estudos hidráulicos realizados através da técnica de radioisótopo (Br⁸²) no mês de fevereiro/1980, todas as lagoas experimentais apresentaram movimen-

tos da massa líquida bem próximos do tipo "mistura completa". Os índices de dispersão das massas líquidas, calculados segundo procedimento descrito pelo Levenspiel (1) foram de 1,66, 1,60 e 1,45 nas lagoas, 1, 2 e 3, respectivamente, indicando que ocorreram quase os mesmos níveis de circulação na lagoa 1 (profundidade de 0,4 e sem agitação mecânica) e lagoa 2 (profundidade de 0,8 e com agitação mecânica) e ligeiramente menor na lagoa 3. Os valores dos índices referidos acima correspondem à faixa superior de índices estimada nas lagoas de estabilização localizadas em Utah, U.S.A. (2).

Com base neste comportamento hidráulico, foi feita uma comparação da eficiência da remoção da DBO nas lagoas experimentais. Como demonstra o Quadro 2, não se verificou significativa diferença de eficiência da remoção da DBO por unidade de volume (m³/d) nas lagoas 1 e 2, enquanto que as cargas de DBO aplicadas

foram baixas. No entanto, com aumento das cargas aplicadas, as quantidades de DBO removidas (m³/d) na lagoa 1 atingiram quase o dobro da lagoa 2, ou seja, a primeira lagoa assimilou quase a mesma quantidade de carga da DBO aplicada na segunda, embora o volume de água da primeira seja metade da segunda. Este fato demonstra desvantagem da utilização de lagoa com profundidade maior (0,8 m) para a remoção da matéria carbonácea.

3.1.2. Produtividade de algas

Com base nos trabalhos realizados em Singapura, Tailândia, Formosa e Israel (3, 4, 5 e 6), pode-se admitir que as produtividades das algas na lagoa fotossintética acelerada variam de 5 a 30 g/m²d, dependendo da profundidade, tempo de detenção e condições climáticas.

Através da investigação de dados bibliográficos publicados nestes últimos 30 anos, que abrangeram estudos relativos às culturas de diferentes tipos de algas em vários meios de cultura, Goldman (7) concluiu que a máxima produção bruta de algas em ambiente aberto estaria em torno de 30 a 40 g/m²d. A produtividade líquida deve estar em torno de 20 a 30% menor que da bruta (8).

As produtividades verificadas no presente estudo encontram-se dentro da faixa citada acima (Quadro 3). Entre as 3 lagoas com profundidades diferentes, a lagoa com profundidade de 0,8 m apresentou maior produtividade, notadamente na faixa de menor tempo de detenção, embora as concentrações de algas de efluentes tenham sido maiores na lagoa com profundidade de 0,4 m do que da lagoa com 0,8 m de profundidade. De modo genérico, a produção da biomassa tende a ser maior no menor tempo de detenção e maior profundidade, dentro de determinado limite que não provoca o fenômeno de "wash out" de algas (9). A combinação adequada destes dois fatores contribui para a maior produtividade de algas em menor área do terreno. De fato, nota-se a maior produtividade em menor tempo de detenção na lagoa 2, embora não tenha sido evidenciada a mesma tendência nas demais lagoas.

As profundidades utilizadas nas lagoas fotossintéticas aceleradas são normalmente de 0,2 a 0,6 m (4, 10, 11), tendo em vista melhor aproveitamento da energia solar para ação fotossintética. Provavelmente, como foi demonstrado no estudo realizado em Israel, seria o procedimento de operação mais adequada alterar a

QUADRO 3

Produção de algas em função do tempo de detenção, temperatura e radiação solar nas três lagoas experimentais

Lagoa	t (dias)	Quantidade de DBO removida (g/m ³ .d)	Carga aplicada (DBO g/m ² .d)
1	10,0	12,3	7,9
	6,0	8,7	7,4
	4,0	13,2	12,2
	4,0	17,0	13,0
	2,8	30,0	17,7
	2,2	37,7	31,2
2	4,0	22,7	19,0
	9,5	10,5	13,9
	9,0	7,6	9,0
	6,0	10,0	16,1
	5,0	17,6	20,0
	4,0	15,2	26,5
3	6,6	17,0	22,6
	13,9	7,9	9,7
	6,1	9,4	26,6
	8,5	10,9	19,6

QUADRO 2

Quantidades de DBO removidas (g/m³.d) nas 3 lagoas experimentais em diferentes tempos de detenção

profundidade da lagoa, mantendo a vazão constante, dependendo da variação das condições climatológicas, ou seja, durante a época quente manter a profundidade rasa e consequentemente curto tempo de detenção, enquanto que na época de menor intensidade de radiação solar aumentar a profundidade e o tempo de detenção.

A faixa de variação de profundidade e o tempo de detenção na região de São Paulo, segundo dados obtidos, deveria ser em torno de 0,3 a 0,8 m e 3 a 6 dias respectivamente.

Tomando por base a concentração de algas de 150 mg/l na lagoa fotossintética e contribuição de esgoto de 250 l/hab.d, estima-se que a produção de algas seja de 37 g/hab.d.

Segundo análises realizadas em laboratório, as algas produzidas nas lagoas experimentais apresentam poder calorífico de 5.200 Kcal por grama, em peso seco. Baseando-se nos dados da produção máxima, obtida anteriormente nas três lagoas e as intensidades de radiação solar registradas nos mesmos períodos dessas produções, estimaram-se eficiências de conversão de energia solar, conforme as lagoas experimentais como é apresentado no quadro 4.

Tais valores são comparáveis com os obtidos no experimento realizado na lagoa fotossintética de Israel (12) e muito mais elevados do que os encontrados normalmente nos produtos agrícolas que se situam em valores abaixo de 0,1% (13).

Lagoa	Período de levantamento (1980)	Tempo de detenção (dias)	T (°C)	Radiação solar (Cal/cm ² .d)	Produção de algas	
					(mg/l)	(g/m ² .d)
1	FEV.	6	26,8	454	160	10,5
	MAR.	4	28,3	395	168	16,6
	ABR.	4	28,5	351	145	14,4
	MAI.	2,8	23,3	301	109	15,3
	JUN.	2,2	22,7	205	80	14,3
	JUL.	4,0	18,0	225	98	9,7
	OUT.	6,0	20,8	389	157	9,9
	NOV.	6,3	21,8	443	188	11,6
	DEZ.	4,0	22,3	417	159	15,7
	DEZ.	2,8	25,6	471	134	15,6
2	DEZ.-JAN.	9,5	25,9	432	106	9,2
	MAR.	6,0	28,3	454	135	16,8
	MAI.	5,0	23,3	395	124	20,1
	MAI.	4,0	22,6	301	121	24,0
	JUL.	6,6	18,0	225	118	14,0
	NOV.	7,9	22,4	528	146	14,5
3	DEZ.-JAN.	14,0	25,9	434	126	9,1
	MAR.-ABR.	6,1	28,5	257	143	27,5
	JUL.	8,5	18,0	225	113	15,6
	SET.-OUT.	11,9	16,0	406	153	15,2
	NOV.-DEZ.	12,0	21,9	418	169	16,7

QUADRO 4

Eficiências de conversão de energia solar estimadas nas lagoas experimentais (%)

Lagoa	Eficiência de conversão de energia solar	
	Baseado na energia solar aproveitável para fotossíntese	Baseado na energia solar total
1	3,7	2,0
2	6,7	3,6
3	6,2	3,3

3.2. SEPARAÇÃO DE ALGAS

Dentre os vários processos aventados para separação de algas, foi escolhida a flotação com ar pressurizado. Esta escolha foi motivada não só pela eficiência segura de separação de algas como pela elevada tratabilidade

do efluente das lagoas, possibilitando assim manter um nível de tratamento equivalente ao terciário através do sistema conjunto de lagoa fotossintética e flotor.

O controle do valor do pH, a relação de ar/sólido, a concentração e o ti-

po de coagulante químico, e a vazão afluente são os fatores determinantes para o funcionamento do flotor.

As melhores condições operacionais observadas no teste de otimização foram de: manter o pH em torno de 3,5, a relação ar/sólido acima de 0,25, a carga superficial de 4,6 m/h, a relação de água pressurizada/afluente em torno de 50% (vide Figuras 2, 3, 4, 5 e 6).

A adição de sulfato de alumínio com 50 mg/l demonstrou melhoria na eficiência da remoção de algas, principalmente na remoção de fósforo, DBO, etc. Acima desta concentração não foi observada melhoria efetiva da qualidade do efluente do flotor.

As concentrações de espuma variaram de 40 a 50 g/l. Foi obtida, de maneira geral, maior concentração da espuma com menor vazão afluente do flotor. A adição de alumínio não resultou em melhoria na produção de maior concentração de sólidos na espuma. A menor velocidade de rotação da escumadeira proporcionou maior concentração de sólidos no intervalo de 8 a 35 cm/min.

A operação experimental de longo período sob condição ótima, determinada previamente, foi conduzida no período de março a dezembro de 1980.

Um dos aspectos relevantes notado durante esta operação foi a sensível variação do rendimento da remoção de sólidos em função dos tipos de algas que proliferam nas lagoas. Enquanto mantêve-se predominância de dois tipos de algas, *Chlorella* sp e *Scenedesmus* sp no efluente das lagoas experimentais, obtêve-se 80 a 90% de remoção de SS, com ajuste do pH a 3,5 sem adição de alumínio, e cerca de 4% de sólidos em suspensão na espuma.

Entretanto, no período em que ocorreu proliferação maciça de *Chlamidomonas* sp (setembro e outubro/80) nas lagoas, houve queda brusca de eficiência. A adição de sulfato de alumínio com concentração de 50 mg/l, nesta condição, provocou melhoria no rendimento do funcionamento do flotor, atingindo eficiência de remoção de 90% de SS.

No Quadro 5, a seguir, são apresentados os resultados típicos da eficiência de funcionamento do flotor experimental, operando sem e com coagulante.

A qualidade do efluente, operando só com controle do pH correspondente àquela encontrada em sistema de

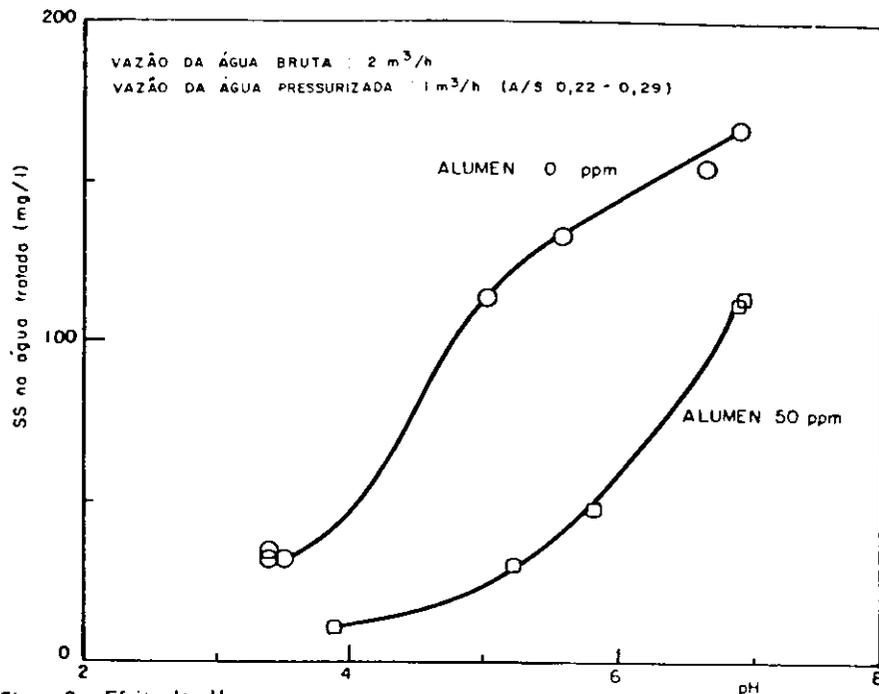


Figura 2 - Efeito do pH.

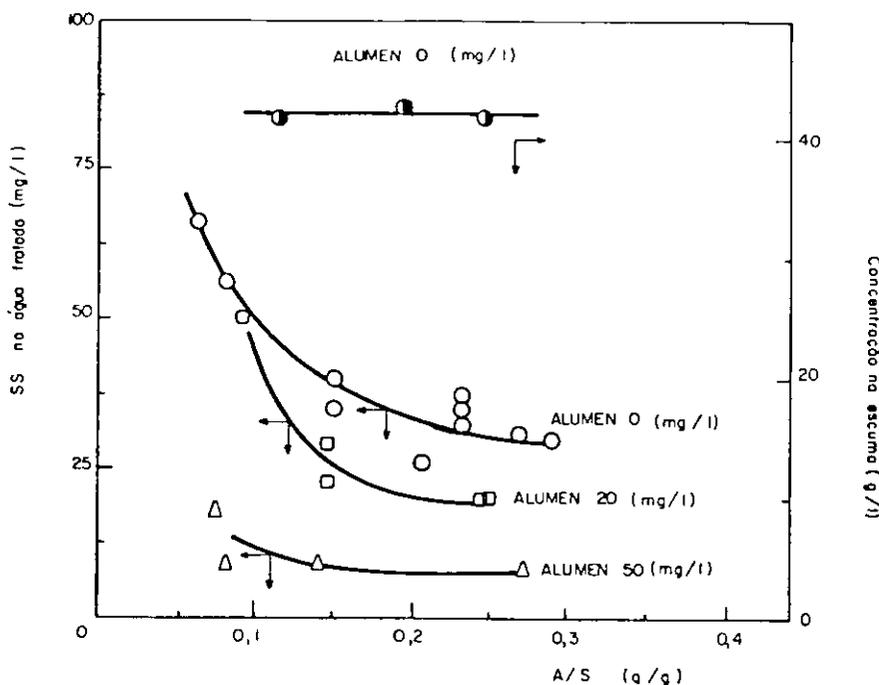


Figura 3 - Efeito da relação ar/sólidos - Vazão de água bruta: 2 m³/h.

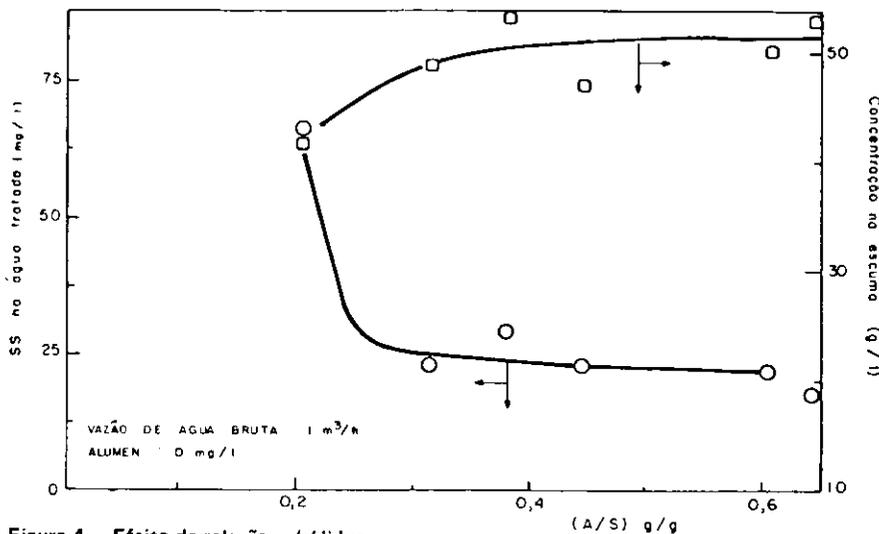


Figura 4 - Efeito da relação ar/sólidos.

QUADRO 5
Eficiência de tratamento do flotaador, operando sem e com alúmen

Parâmetro (mg/l)	Operação sem alúmen		Operação com alúmen 20 a 40 mg/l	
	Afl.	Eff.	Afl.	Eff.
DBO	77,0	25,5	46,4	7,6
DQO	217,0	161,7	231,3	57,3
P. Total	5,40	4,76	5,73	0,39
N. Total	30,47	25,50	40,00	27,00
SS	107,0	74,0	130,0	74,0

lodo ativado e se mostra superior à lagoa de estabilização convencional. Nota-se, entretanto, que ocorre sensível melhoria da qualidade quando se adiciona sulfato de alumínio na operação.

A fim de ser ter uma idéia da tratabilidade do esgoto no sistema conjunto de lagoa fotossintética (decantador, lagoa fotossintética acelerada e flotaador), são apresentadas no Quadro 6 as eficiências de remoções para cada parâmetro em estudo.

QUADRO 6

Tratabilidade de esgoto no sistema conjunto da lagoa fotossintética acelerada

Parâmetro (mg/l)	Operação sem alúmen (%)	Operação com alúmen (%)
DBO	87	96
DQO	76	98
P. Total	16	94
N. Total	23	33

Para efeito de cálculo, foram utilizadas concentrações de 192 mg/l, 768 mg/l, 33 mg/l e 5,1 mg/l para DBO, DQO, N e P obtidos no esgoto afluente da estação no mês de janeiro/81.

Embora a qualidade do efluente tratado com coagulante químico se aproxime daquela verificada no tratamento terciário, será necessário a introdução de tratamento adicional, como por exemplo o processo de filtro, carvão ativo, para que se utilize o referido efluente para abastecimento industrial, o qual requer concentrações menores que 5 mg/l de DBO e 10 mg/l de DQO.

3.3. SECAGEM DE ALGAS

Após a investigação de vários processos de desaguamento e secagem realizados em escalas de laboratório e piloto, tais como filtração por gravidade, filtro-prensa, centrifugação, secador de tambor rotativo, secador de leite fluidizado, etc., selecionou-se, no presente estudo, o processo composto de centrífuga de cesto e secador pneumático.

Os principais motivos da escolha deste processo são o baixo custo de investimento e a simplicidade de operação, além de se ter comprovado, por ensaios preliminares, a boa aplicabilidade nas massas celulares das algas.

As algas encontradas no flotaador possuem, ainda, mais de 95% de umidade, sendo necessário eliminar mais

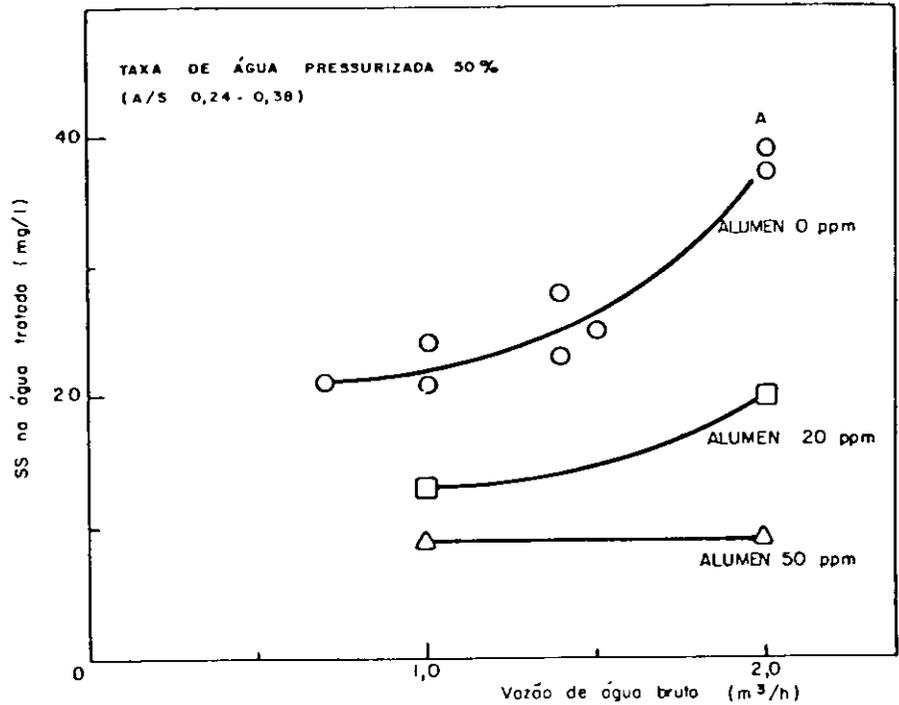


Figura 5 - Efeito da vazão de água bruta.

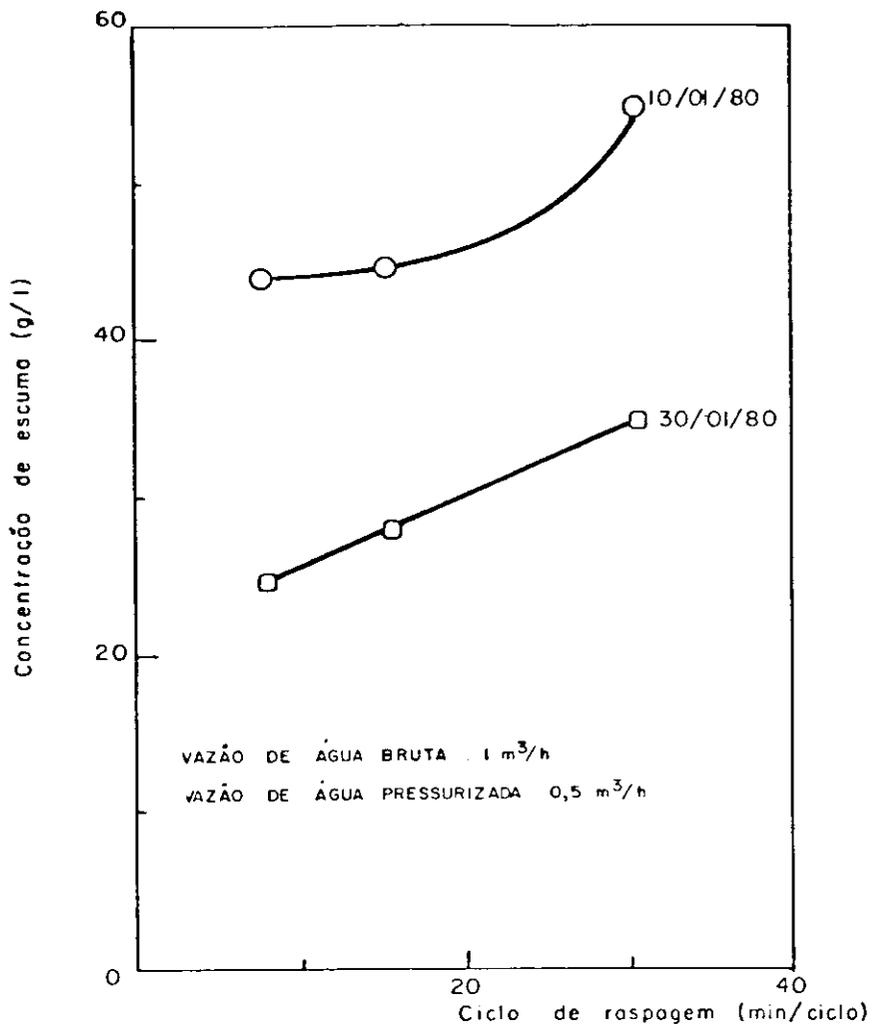


Figura 6 - Efeito do ciclo de raspagem de escuma.

água para tornar econômica sua secagem no sistema pneumático.

O processo de centrifugação é

muito utilizado, de forma contínua ou descontínua, para separar líquidos de diferentes densidades e concentrar

e separar sólidos. Dentre os vários tipos de funcionamento descontínuo de centrífugas, encontra-se a centrífuga de cesto de eixo vertical, podendo ser apresentada com vários diâmetros e com rotação variando de 1.000 a 2.000 rpm.

No processo de desaguamento de sólidos por centrifugação, o fenômeno é puramente físico e geralmente envolve pequenos gastos de energia. Por esta razão e pela simplicidade de operação, foi utilizada a centrifugação antes da secagem em secador pneumático.

A secagem pneumática ou "flash drying" é caracterizada pelo estabelecimento de uma suspensão de partículas de material úmido transportada por uma corrente de ar quente, geralmente ar aquecido por gases de combustão. A secagem pneumática aplica-se a materiais úmidos em forma de pó fino ou granulado, mesmo àqueles que contenham altos teores de umidade. O método é impróprio para materiais que aderem nas paredes, que causem excessiva erosão e ainda aqueles que não possam ser reduzidos a grãos ou desagregados nos sistemas de alimentação no momento da introdução na corrente de ar quente. Outras limitações do método se apresentam quando o material contém óleos ou gorduras, ou quando a substância submetida a secagem é tóxica, considerando-se a emissão de poeiras durante a operação.

Foram obtidos os seguintes resultados nos ensaios realizados nas unidades pilotos, centrífuga de cesto e secador pneumático:

- O sistema acoplado da centrífuga de cesto e secador se ajustou perfeitamente às condições básicas exigidas para a secagem das algas, ou seja, processo simples e econômico, no qual se conserva o valor nutritivo das algas, uma vez que o processo proposto não deveria atingir altas temperaturas.
- A torta centrifugada apresentou umidade média de 81,5%, o que significa economia de energia para evaporação de aproximadamente 13 kg de água para produção de 1 kg de algas secas (com 10% de umidade).
- De acordo com o levantamento de parâmetros de otimização da operação desta unidade, concluiu-se que a umidade do material a ser alimentado no secador deve estar em torno de 30% (base úmida).

- A temperatura mais indicada para a secagem da torta de algas, centrifugada com umidade de 80%, deve ser em torno de 200°C (vide Quadro 7).

O sistema de alimentação, inicialmente projetado para o secador, funcionava como misturador do material úmido (proveniente da centrífuga) com o material seco (reciclo), obtendo-se uma umidade em torno de 50% (base úmida). Este sistema foi desativado face a problemas operacionais e substituído por um misturador de pás descontínuo, operando durante 30 minutos de mistura e obtendo-se uma mistura de 30% (base úmida). Este tipo de misturador, em escala industrial, poderia ser contínuo e acoplado ao secador.

O secador foi projetado para produzir 10 kg de algas/hora com 14% de umidade (base úmida) partindo-se de uma umidade inicial de 75%. Durante os ensaios conseguiu-se uma produção de 32 kg/h de alga seca a 15% de úmida, porém com umidade inicial de somente 30% (base úmida) e com uma taxa de evaporação de 7,38 kg de água/hora.

A taxa de evaporação de projeto do secador é de 27 kg de água evaporada/hora. Para esta taxa de evaporação seria necessário alimentar o secador com material a 75% de umidade (base úmida). Para esta taxa de evaporação, o consumo de GLP (Gás Liquefeito de Petróleo) é de 4 kg/h, ou seja, 1.500 kcal/kg de água evaporada.

Não foi possível determinar experimentalmente o consumo de energia por umidade de água evaporada, mas acredita-se que o secador opere com um gasto de energia bem menor que aquele preconizado em projeto. Para efeito de análise econômica, pode ser considerado 1.200 kcal/kg de água evaporada.

3.4. VALOR NUTRITIVO E UTILIZAÇÃO DE ALGAS

As investigações sobre a utilização de algas unicelulares como fonte de

proteína foram iniciadas na Alemanha durante a II Guerra Mundial.

Desde o início da década de 1950, o Japão concentrou grandes esforços para a industrialização de algas mediante o uso de meio de cultura pura. Atualmente, nesse país, encontram-se instaladas 6 indústrias, totalizando uma produção aproximada de 400 t/ano.

As numerosas pesquisas realizadas nos últimos 30 anos, permitiram constatar que as células de *Chlorella* sp, produzidas em meio de cultura adequado, contêm, além de proteína, elevadas concentrações de sais minerais, complexos vitamínicos, substâncias clorofiladas e fatores de crescimento que apresentam apreciáveis efeitos de proteção à saúde humana e ao tratamento de alguns tipos de doenças^(14, 15, 16). Graças a esses efeitos benéficos, o mercado de utilização das algas foi sensivelmente ampliado, tendo motivado, inclusive, intenso desenvolvimento das indústrias de algas, como foi relatado anteriormente.

O uso de algas produzidas no esgoto, através de lagoa fotossintética, está limitado, até o presente momento, na investigação da determinação da potencialidade da sua substituição por alguns componentes de ração animal convencional.

Estudos realizados na Universidade de Califórnia, em Davis, E.U.A.⁽¹⁷⁾, permitiram a substituição aproximada de 20% de ração basal por algas sem qualquer efeito negativo, e foi verificado, ainda, que o valor protéico de algas é semelhante ao do feijão soja. Foi esclarecido também que o pigmento (caroteno e xantofila) contido nas algas é 4 vezes maior do que o apresentado na alfafa.

Segundo experimentos realizados por Combs⁽¹⁸⁾, a inclusão de 10% de *Chlorella* na ração basal em substituição ao feijão de soja, marcou sensível melhoria no crescimento e eficiência de conversão do alimento nas aves. Esta melhoria foi atribuída,

QUADRO 7

Resumo dos resultados obtidos nos ensaios do secador pneumático

Temperatura de secagem °C	Número de determinações	Alimentação kg/h	Umidade inicial (% B.U.) média	Umidade final (% B.U.) média	Produção material seco kg/h	Água evaporada kg/h
200	14	20	29,4	10,4	15,76	4,24
	7	10	30,9	10,5	7,72	2,28
150 a 180	4	40	31,1	15,5	32,62	7,38
	8	20	30,5	13,3	16,03	3,97
110 a 130	14	10	30,2	11,9	7,92	2,08
	2	20	29,9	16,5	16,79	3,21

primariamente, às elevadas quantidades de riboflavina e caroteno contidas nas algas.

Em Israel, o efeito da adição de algas na coloração foi notado na criação de aves⁽¹¹⁾. Neste caso, a coloração da pele das aves e da gema dos ovos foi acentuada e proporcional ao aumento da porcentagem de mistura das algas.

Realizaram, também, em Singapura⁽³⁾, experimentos referentes ao valor nutritivo de algas cultivadas com esgoto utilizando-se de aves. A alta taxa de substituição da soja por algas provocou reduzida eficiência da alimentação e aumento da mortalidade. Entretanto, foi possível substituir um terço da soja por algas sem que houvesse diferença significativa na eficiência da alimentação e na mortalidade.

Em Israel^(11,19), as algas secas em secador rotativo serviram de alimento aos peixes de água doce: *Cyprinus carpio* e *Tilapia galilea*. Neste estudo, as algas foram adicionadas à farinha de peixe na ração peletizada. A taxa de crescimento, o ganho de peso e o aspecto fisiológico desses peixes foram iguais ou superiores aos peixes alimentados com ração comercial.

A substituição da soja por algas para ração de porcos foi testada em Singapura⁽³⁾. Os animais alimentados com ração contendo 52% de algas, apresentaram ganho idêntico daqueles alimentados com ração convencional.

Embora se mostre resultados satisfatórios nos testes de alimentação em animais, é importante considerar alguns aspectos toxicológicos e patogênicos, especialmente sobre efeito crônico para utilização de algas em nível comercial.

Em estudos realizados com porcos em Singapura⁽³⁾ e com aves em Israel⁽¹¹⁾, não foram encontrados componentes tóxicos na biomassa das algas ou em carnes e órgãos comestíveis dos animais testados.

O nível de ácido nucleico nas algas é baixo (4 a 6%), em relação às outras fontes alimentares de organismos unicelulares. Esta substância, em conformidade com a concentração no alimento, poderia se constituir na causa do aumento de ácido úrico e formação posterior de pedras nos rins em seres humanos. Porém, mesmo que a quantidade de ácido nucleico nas algas atinja o nível crítico, a utilização de algas é destinada aos animais e não aos seres humanos⁽⁵⁾.

3.4.1. Composição química de algas

A análise da biomassa seca, cons-

tituída em grande parte por *Chlorella* sp e *Scenedesmus* sp, produzida em sistema experimental no presente estudo, resultou na seguinte composição química:

Proteína 52,81%
Fibra bruta 3,55%
Extrato etereo 10,13%
Matéria mineral 8,07%
Carboidratos totais 18,46%
Umidade 6,98%

Minerais:

Cálcio 0,14%

Magnésio 0,15%
Potássio 0,92%
Ferro 0,59%
Manganês 0,04%

Vitaminas:

Pro-Vitamina A 6,53 mg/100 g
Vitamina B₁ 0,64 mg/100 g
Vitamina B₂ 2,10 mg/100 g

No Quadro 8 são apresentadas as composições de amino-ácidos encontrados em algas e em alguns produtos convencionais utilizados para ração de animais.

QUADRO 8

Comparação de composições de amino-ácidos entre algas e alguns produtos utilizados para ração convencional (g/100 g de proteína)

	Algas	Farinha de soja	Grão de milho	Farinha de peixe (sardinha)
Lisina	5,00	6,59	2,44	9,08
Histidina	3,78	2,50	2,11	2,77
Arginina	5,03	7,72	16,87	4,16
Ácido aspártico	9,74	—	—	—
Treonina	5,76	3,86	3,77	4,00
Serina	4,74	—	—	—
Ácido glutâmico	20,58	—	—	—
Prolina	5,05	—	—	—
Glicina	5,88	5,45	3,66	6,92
Alanina	8,72	—	—	—
Cistina	1,17	1,52	1,44	1,23
Valina	6,99	5,45	4,66	5,23
Metionina	2,36	1,48	1,88	3,08
Isoleucina	4,43	5,68	4,11	5,08
Tirosina	8,68	—	—	—
Fenilalanina	5,14	5,00	15,98	3,08
Triptofano	1,57	1,59	1,00	0,77
Leucina	8,81	7,72	11,11	5,85

Pelos resultados apresentados no Quadro 8, pode-se observar que as algas obtidas no presente estudo são caracterizadas pelos ricos teores em proteínas e sais minerais. Os três tipos de vitaminas analisados (A, B₁ e B₂) também apresentam-se em quantidades significativas. Ao mesmo tempo, a maioria dos tipos de amino-ácidos verificados nas algas são quase equivalentes aos da farinha de peixe (sardinha) e farelo de feijão.

Por outro lado, como é indicado no Quadro 9, as concentrações dos principais íons metálicos, determinadas nas algas, são bem menores do que o nível crítico que apresenta efeito tóxico no frango, excetuando a de alumínio.

A concentração de alumínio nas algas corresponde a cerca de 18 vezes mais do que a do nível crítico indicado.

3.4.2. Contaminação bacteriana nas algas

Embora ocorra destruição de bactérias patogênicas na lagoa fotossintética acelerada por meio da ação de radiação solar e de oxidação, constata-se, ainda, elevada quantidade de bactérias no efluente.

O sistema de esterilização adotado no presente estudo, é um processo combinado do controle de pH e tratamento térmico.

Como foi explicado no item anterior, obteve-se melhor rendimento de separação de algas no flotor com pH em torno de 3,5. Este baixo pH apresenta efetivo poder bactericida. Vários experimentos realizados comprovam que um meio com pH inferior a 4 é letal à maioria das células vegetativas das bactérias patogênicas transmitidas pelos alimentos (20, 21). Ao mesmo

QUADRO 9

Concentrações de íons metálicos encontrados nas algas e seus níveis tóxicos para aves

	Conc. encontrada nas algas (ppm)	Nível tóxico (ppm)	Tipo de ave	Efeito toxicológico	Referência
Zinco	122	606	galinha	diminuição no crescim.	Roberson & Schaible, 1960
Cobre	60	130	galinha	idem	Poupolis & Jensen, 1976
Cádmio	1	22	galinha	idem	Hill, 1974
Chumbo	30	778	galinha	idem	Damron et al., 1969
Cromo Total	20	120	galinha	idem	Kunishisa, 1966
Mercurio	1,3	270	galinha	idem	Hill, 1964
Alumínio	2.800	160	galinha	idem	Storen & Nelson, 1968

tempo, não há reprodução de bactérias esporuladas em baixo valor de pH. O *Clostridium botulinum* não se reproduz em alimentos com pH inferior a 4,6. Este grau de acidez inibe também a proliferação de *Clostridium perfringens* e do *Bacillus cereus*, ainda que esta última bactéria se reproduza em certos tipos de alimentos com pH de 4,4(22).

Por outro lado, o tempo de mortandade necessário para as bactérias vegetativas está na faixa de alguns minutos a 60 minutos, em temperatura de 47 a 67°C, ou 5 minutos a 70°C(22). Quanto aos parasitas, a destruição da *Trichina* e vários outros é conseguida na temperatura de 58°C(20).

A temperatura do ar quente que se injeta no secador pneumático escolhido no presente trabalho é aproximadamente 200°C. Porém, a temperatura da torta de algas, que circula na torre do secador, gira em torno de 70°C e seu tempo de permanência em 3 a 7 segundos.

A fim de garantir a esterilização do produto final de algas secas, construiu-se um aquecedor rotativo com regulagem do tempo de permanência de material na saída do secador pneumático experimental (vide item 3.3).

Os exames bacteriológicos nas algas, realizados durante o estudo, apresentaram 20 a 1.300 coliformes fecais/g de algas secas e 400 a 3.300 colônias de fungos/g de algas secas. Não foram detectadas *Salmonella* sp e *Shigella* sp. A análise demonstrou ausência de aflatoxinas no material, que poderiam estar eventualmente presentes, devido a existência de fungos produtores dessa substância.

A fonte de contaminação de coliformes mencionada acima, deve ser considerada como consequência

de contaminação posterior ao processo da secagem, decorrente da manipulação de algas secas para estocagem, pois, as amostras coletadas para exame foram retiradas do recipiente — depósito de algas — não diretamente da saída do secador pneumático. Este argumento pode ser justificado pela ausência de coliformes fecais nas algas separadas no flutador.

Mesmo que permaneça a contaminação após a flotação ou durante a secagem no secador pneumático, os microorganismos em nível de contaminação relativamente baixa, como foi visto acima, podem ser eliminados mediante esterilização no secador rotativo.

3.4.3. Verificação do valor nutritivo das algas

Com o objetivo de verificar o valor nutritivo das algas para ração animal, foi efetuado experimento biológico utilizando-se pintos no Centro de Pesquisa da "Duratex S.A. — Rações Anhangüera", em Campinas.

Procedimentos:

Foram utilizados 352 pintos de 1 dia, sexados da linhagem Hubbard, sendo 176 machos e 176 fêmeas. As aves foram divididas em 16 parcelas de 22 aves. Esse número, embora considerado pequeno, foi determinado em função da quantidade de algas disponível para o experimento.

O experimento foi efetuado em blocos causalizados, sendo 4 tratamentos com 4 repetições.

As aves permaneceram até 28 dias em bateria, passando, posteriormente, ao piso com cepilho de madeira onde permaneceram até 49 dias de idade, obedecendo a mesma distribuição ini-

cial da bateria.

Cada tratamento recebeu ração com a seguinte proporção de algas.

Tratamento A — Ração basal sem adição de algas.

Tratamento B — Ração basal com adição de 2% de algas.

Tratamento C — Ração basal com adição de 4% de algas.

Tratamento D — Ração basal com adição de 6% de algas.

As quantidades de proteína provenientes dos acréscimos de algas foram substituídas por proteína de soja de ração basal.

As composições de rações fornecidas no período inicial (1 até 28 dias) e final (29 até 49 dias) para cada tratamento são demonstradas nos Quadros 10 e 11.

Foram efetuadas coletas dos seguintes dados:

- Pesagem individual das aves aos 21, 28 e 29 dias.
- Pesagem coletiva das aves aos 14 e 42 dias.
- Controle de ração nos períodos de pesagem.
- Anotação da mortalidade; de todas as aves que morreram durante o experimento foram anotados o peso e a "causa mortis".
- No último dia do experimento (49º dia) foram observados pigmentação, emplastamento da cloaca, umidade e nível de amônia nas camas.

Todos os dados coletados foram submetidos a uma análise de variância para um delineamento experimental em blocos casualizados.

Em caso de significância, a nível de 5%, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey.

3.4.4. Resultados obtidos e discussão

Todos os dados levantados no teste biológico estão inseridos no Quadro 12.

Embora não seja significativo estatisticamente, observou-se, no primeiro período do estudo, um decréscimo do peso médio das aves, à medida que se aumentou a proporção da adição de algas na ração basal.

Esta diminuição tende a minimizar no decorrer do tempo do experimento entre os tratamentos A, B e C.

No tratamento D, que recebeu maior porcentagem de algas (6%), o peso médio permaneceu baixo até o final do 1º período do experimento. Deve-se mencionar que desde o início deste tratamento as aves de uma das parcelas mostraram-se

QUADRO 10

Composição percentual das rações experimentais (período inicial)

TRATAMENTOS	A	B	C	D
INGREDIENTES				
F. milho	62.30	62,60	62,90	63,20
F. soja	24.00	22.00	20.00	18.00
F. algas	—	2.00	4.00	6.00
F. carne	2.50	2.125	1.750	1.375
Calcário	0.95	1.10	1.25	1.40
Fosfita (fostato bicálcico)	0.95	0.94	0.88	0.86
F. sangue	2.50	2.375	2.250	2.125
F. trigo	2.00	2.00	2.00	2.00
Protenose	2.50	2.50	2.50	2.50
Caulin	1.05	1.11	1.22	1.29
Sal comum	0.25	0.25	0.25	0.25
Premix(*)	1.00	1.00	1.00	1.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

(*) Mistura de vitaminas + microminerais + aditivos (medicamentos, pigmentos, etc.)

QUADRO 11

Composição percentual das rações experimentais (período final)

TRATAMENTOS	A	B	C	D
INGREDIENTES				
F. milho (9% de proteína)	66.50	66.65	66.85	67.00
F. soja (46,94% de proteína)	18.35	16.30	14.20	12.15
F. algas	—	2.00	4.00	6.00
F. carne	2.50	2.25	2.00	1.75
F. amendoim	5.00	5.00	5.00	5.00
Calcário	1.25	1.40	1.50	1.65
Fosfita	0.56	0.50	0.43	0.36
F. trigo	3.50	3.50	3.50	3.50
Protenose	0.30	0.30	0.30	0.30
Caulin	0.79	0.85	0.97	1.04
Sal	0.25	0.25	0.25	0.25
Premix	1.00	1.00	1.00	1.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

heterogêneas, apresentando-se com baixo peso e baixo consumo de ração, havendo, inclusive, mortalidade de algumas aves.

As variações nos consumos de ração não foram estatisticamente significativas entre os tratamentos.

No segundo período de experimento ocorreram maiores taxas nos aumentos de peso para os tratamentos que receberam 2 a 4% de algas, em relação à testemunha e ao tratamento D. Desta maneira, os pesos médios

das aves pertencentes aos tratamentos B e C que eram ligeiramente menores do que os da testemunha no primeiro período, atingiram os mesmos níveis da testemunha.

Os valores de conversão alimentar não apresentaram variação significativa entre os tratamentos A, B e C.

As mortalidades das aves nos tratamentos B e C foram baixas, podendo ser consideradas índice normal, enquanto que a mortalidade de

testemunha foi alta, sem que, no entanto, possa ser relacionada com problema nutricional. A mortalidade do tratamento D foi bastante alta e a maior parte das aves apresentaram um baixo desenvolvimento desde o início do experimento.

Com relação à característica das fezes das aves, no 49º dia notou-se que os tratamentos que receberam adição de algas apresentaram, de modo geral, um aumento de aderência das fezes na cloaca das aves, não tendo chegado ao estado de umidade a cama desses tratamentos.

Pelos resultados dos experimentos apresentados anteriormente, acredita-se que as algas produzidas com esgoto sejam perfeitamente aproveitáveis em níveis de 2 a 4%, dando impressão, com base nos dados obtidos do segundo período de experimento, melhoria mais acentuada no crescimento das aves dos tratamentos B e C, prolongando-se o prazo do experimento, ou seja, a utilização de aves com maiores idades. De fato, as experiências realizadas no Instituto de Tecnologia e Ciência do Governo Japonês⁽²³⁾ utilizando-se aves de 31 dias de idade, registraram incremento de peso com cerca de 9% a mais, após 60 dias do experimento, no tratamento que recebeu 2% de adição de algas em relação à testemunha, isto é, aquelas que eram alimentadas com ração convencional.

No tocante ao baixo crescimento observado no tratamento que recebeu ração com 6% de algas, podem ser consideradas três causas possíveis. Primeiramente, quando ultrapassado certo nível da mistura de algas na ração basal, pode ocasionar dificuldades na alimentação das aves, devido à natureza higroscópica das algas. Segundo estudo de Combs⁽¹⁸⁾, verificou-se impacto no bico das aves já com mistura de 2 1/2% de algas, porém provocando visível depressão no crescimento com a proporção de 20% de mistura.

Outra hipótese aventada, seria referente à concentração excessiva de alumínio nas algas. Como foi demonstrado no Quadro 9, a concentração de alumínio, determinada nas algas utilizadas no experimento, foi quase 18 vezes superior ao nível crítico. Mesmo computando diluição deste elemento na mistura com a ração basal, as concentrações de alumínio nos tratamentos B, C e D deverão estar em torno de 56, 112 e 168 ppm respectivamente, havendo maior possibilidade de ocasionar efeito tóxico,

QUADRO 12

Resultados obtidos no experimento realizado com aves (peso = kg)

PERÍODO (dias)	TRATAMENTOS				
	PARÂMETROS	A	B	C	D
	Peso médio misto inicial	0.0388	0.0386	0.0388	0.0389
14º	Peso médio machos	0.280	0.266	0.243	0.227
	Peso médio fêmeas	0.273	0.249	0.239	0.222
	Peso médio misto	0.275 ^a	0.258 ^{ab}	0.241 ^{ab}	0.224 ^b
	Consumo de ração	0.395 ^a	0.373 ^{ab}	0.385 ^{ab}	0.353 ^b
	Conversação alimentar 1:	1.438 ^a	1.450 ^a	1.599 ^a	1.597 ^a
	Eficiência (%)	19.12	17.79	15.07	14.03
	Ganho de peso	—	—	—	—
	Mortalidade (%)	—	—	—	—
21º	Peso médio machos	0.515	0.513	0.480	0.450
	Peso médio fêmeas	0.492	0.468	0.463	0.435
	Peso médio misto	0.504 ^a	0.491 ^a	0.471 ^a	0.442 ^a
	Consumo de ração	0.787 ^a	0.769 ^a	0.781 ^a	0.756 ^a
	Conversão alimentar 1:	1.562 ^b	1.567 ^b	1.657 ^{ab}	1.720 ^a
	Eficiência (%)	32.27	31.33	28.42	25.70
	Ganho de peso	0.229	0.233	0.230	0.218
	Mortalidade (%)	2.27	—	—	3.41
28º	Peso médio machos	0.817	0.800	0.768	0.718
	Peso médio fêmeas	0.742	0.698	0.713	0.653
	Peso médio misto	0.779 ^a	0.749 ^a	0.740 ^a	0.685 ^a
	Consumo de ração	1.330 ^a	1.311 ^a	1.331 ^a	1.280 ^a
	Conversação alimentar 1:	1.709 ^a	1.754 ^a	1.799 ^{ab}	1.873 ^b
	Eficiência (%)	45.58	41.70	41.13	36.57
	Ganho de peso	0.275	0.258	0.269	0.243
	Mortalidade (%)	3.41	—	—	3.41
42º	Peso médio machos	1.667	1.669	1.664	1.544
	Peso médio fêmeas	1.403	1.389	1.392	1.300
	Peso médio misto	1.534 ^a	1.529 ^a	1.527 ^a	1.422 ^a
	Consumo de ração	3.018 ^a	3.061 ^a	3.104 ^a	2.965 ^a
	Conversação alimentar 1:	1.968 ^a	2.002 ^{ab}	2.033 ^{ab}	2.089 ^b
	Eficiência (%)	77.95	76.37	75.11	68.07
	Ganho de peso	0.755	0.780	0.787	0.737
	Mortalidade (%)	4.54	1.14	1.14	7.95
49º	Peso médio machos	2.147	2.134	2.137	1.971
	Peso médio fêmeas	1.744	1.747	1.752	1.651
	Peso médio misto	1.945 ^a	1.490 ^a	1.944 ^a	1.811 ^a
	Consumo de ração	4.086 ^a	4.138 ^a	4.191 ^a	4.033 ^a
	Conversão alimentar 1:	2.101 ^a	2.133 ^a	2.156 ^a	2.228 ^b
	Eficiência (%)	92.57	90.95	90.17	81.28
	Ganho de peso	0.411	0.411	0.417	0.389
	Mortalidade (%)	4.54	2.27	1.12	0.09
VALOR MÉDIO DO PRIMEIRO PERÍODO					
1º a 28º	Peso médio machos	—	—	—	—
	Peso médio fêmeas	—	—	—	—
	Peso médio misto	—	—	—	—
	Consumo de ração	1.330 ^a	1.311 ^a	1.331 ^a	1.280 ^a
	Conversação alimentar 1:	1.709 ^a	1.754 ^a	1.799 ^{ab}	1.873 ^b
	Eficiência (%)	45.58	42.70	41.13	36.57
	Ganho de peso	0.275	0.258	0.269	0.243
	Mortalidade (%)	—	—	—	—
VALOR MÉDIO DO SEGUNDO PERÍODO					
29º a 49º	Peso médio machos	—	—	—	—
	Peso médio fêmeas	—	—	—	—
	Peso médio misto	—	—	—	—
	Consumo de ração	2.756 ^a	2.826 ^a	2.859 ^a	2.753 ^a
	Conversação alimentar 1:	2.313 ^a	2.372 ^a	2.376 ^a	2.447 ^a
	Eficiência (%)	—	—	—	—
	Ganho de peso	1.166 ^a	1.191 ^a	1.204 ^a	1.125 ^a
	Mortalidade (%)	—	—	—	—

rente da própria natureza de algumas aves escolhidas casualmente para uma das parcelas do tratamento D, pois, como já foi revelado anteriormente, as aves de uma das parcelas deste bloco apresentavam-se, desde o início, heterogêneas, com baixo peso e baixo consumo de ração.

No presente trabalho não foi possível efetuar investigação com galinhas poedeiras. Entretanto, encontram-se informações interessantes nas referências bibliográficas referentes aos efeitos de algas na eficiência de aumento da taxa de postura e na coloração da gema dos ovos. Nas aves alimentadas com nível de 2% de mistura de algas, houve melhoria gradativa na eficiência da postura, no período de 30 a 90 dias após o início da produção de ovos, atingindo diferença de até 35% na eficiência entre aves alimentadas com algas e testemunha⁽²³⁾.

Com referência à cor da gema do ovo, as aves alimentadas com 5, 10 e 15% de algas apresentaram distinta diferença de cor nos ovos, sendo mais intensas a cor amarela, a medida em que se eleva a proporção da mistura de algas⁽²⁵⁾.

O experimento biológico efetuado no presente estudo demonstrou boa perspectiva na utilização das algas produzidas no sistema de tratamento de lagoa fotossintética como um dos componentes da ração para aves.

No entanto, é necessário reconhecer que requer experimento em escala maior e a longo prazo não só para aves como para outros animais, a fim de estabelecer sua utilidade prática em nível comercial com maior segurança.

3.5. ESTUDO ECONÔMICO PARA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE LAGOA FOTOSSINTÉTICA ACELERADA E PRODUÇÃO DE ALGAS PARA RAÇÃO DE ANIMAIS

Neste capítulo procurou-se reunir as bases preliminares de um "projeto padrão", com a finalidade de demonstrar a viabilidade econômico-financeira na implantação de uma Estação de Tratamento de Esgotos pelo sistema de lagoa fotossintética acelerada e aproveitamento de sub-produtos (algas) para ração animal em uma comunidade de aproximadamente 100.000 habitantes. Procurou-se, portanto, determinar, além dos benefícios sociais inerentes à implantação de uma estação de tratamento, o custo de sub-produto com vistas a avaliar a economicidade

principalmente, no tratamento que recebeu 6% de algas. Entretanto, ao contrário do que foi mencionado acima, experimentos realizados em Israel⁽¹¹⁾ e nos Estados Unidos⁽²⁴⁾,

utilizando-se algas coaguladas com sulfato de alumínio de 100 a 150 mg/l, não resultaram evidência de caráter tóxico.

Outra causa possível seria decor-

de de sua produção em escala comercial.

Posteriormente, para efeito ilustrativo, foram comparados os investimentos e custos operacionais entre sistema de lagoa fotossintética acelerada e sistema convencional (lodo ativado).

3.5.1. Critérios adotados

A estimativa dos investimentos, bem como os custos operacionais do sistema proposto, foi realizada com base nas seguintes premissas:

- cidade com uma população de 100.000 habitantes;
- contribuição de esgotos 250 litros/hab.dia;
- produção líquida de algas secas 30 g/hab.dia;
- os dados de investimentos e custos são baseados no primeiro trimestre de 1981;
- produção de gás metano: 25 /hab. dia;
- calor de combustão do gás pobre: $5,774 \text{ Kcal/m}^3 / (65\% \text{ CH}_4)$.

Foram propostas duas alternativas para o sistema de tratamento de esgoto e suas respectivas implicações.

O sistema de tratamento de esgoto proposto na alternativa 1 é composto de decantador primário para a retirada de sólidos e o efluente é encaminhado à lagoa fotossintética acelerada. O lodo decantado é enviado para um digestor que tem por finalidade produzir gás metano. O lodo digerido será seco ao ar livre em leitos de secagem e o sobrenadante será recirculado. O gás metano produzido será utilizado para obtenção de energia para a secagem de algas através da queima em uma câmara de combustão.

A alternativa 2 propõe a substituição do decantador primário e do digestor por uma lagoa anaeróbia, obtendo-se dessa forma 2 lagoas em série, a primeira anaeróbia e a segunda fotossintética acelerada.

O sistema de separação de algas é composto de um flotor de ar dissolvido e é o mesmo considerado nas alternativas 1 e 2. O flotor deverá operar com ar dissolvido a 5 atm, com 50% de recirculação do efluente e deverá ser adicionado 50 mg/ℓ de sulfato de alumínio.

O sistema de desaguamento e secagem é constituído por uma centrífuga que recebe as algas flotadas com 97% de umidade e reduz para 80% de umidade (base úmida). Em seguida, a alga centrifugada é encaminhada para um misturador onde é promovida a mistura com algas e é encaminhada ao seca-

dor pneumático para a obtenção do produto final. Neste secador são utilizados os gases de combustão do metano produzido no digestor que foi considerado na alternativa 1.

A diferença básica das duas alternativas é a fonte de energia para a secagem de algas. Na alternativa 2 é utilizada como fonte de energia a madeira que é gaseificada num gaseificador, acoplada à câmara de combustão, sendo que os gases quentes resultantes são utilizados no secador pneumático.

Nas Figuras 7 e 8 são ilustradas as alternativas citadas.

Os itens que foram levados em consideração para o cálculo de custos de investimentos operacionais são:

● Custos de investimentos:

- a) Obras civis;
- b) Equipamentos;
- c) Instalações elétricas;
- d) Engenharia e Administração;
- e) Desapropriação;
- f) Etc.

● Custos Operacionais:

- a) Desapropriação;
- b) Conservação e manutenção;
- c) Consumo de combustível;
- d) Consumo de energia elétrica;
- e) Consumo de produtos químicos;
- f) Mão-de-obra;
- g) Eventuais.

Foram adotadas algumas premissas para cálculo de custo de cada item referido acima. Os custos são referidos para o primeiro trimestre de 1981 (UPC = Cr\$ 738,50).

3.5.1.1. Custos de investimentos

Obras civis

Para o cálculo dos investimentos relativos às obras civis foram considerados:

- a) Limpeza e regularização do terreno plano ou levemente ondulado com cobertura vegetal rarefeita. Custo de $11,00 \text{ Cr\$/m}^2$.
- b) Escavações de lagoas, elevatórias, grades, decantadores, etc. Custo de $145,00 \text{ Cr\$/m}^3$.
 - Lagoas – foram consideradas rasas (0,50 m de profundidade) escavada no solo, com pintura asfáltica no fundo e nos taludes; e enrocamento com pedra de mão instaladas. O tempo de detenção do esgoto adotado foi de 5 dias.
- c) Fundações para os digestores com lastro de concreto armado e estacas de 0 30 cm (50 t). Custo $2.228,00 \text{ Cr\$/m}^3$.

d) Concreto armado. Custo de $22.278,00 \text{ Cr\$/m}^3$. Será utilizado em:

- Elevatória de esgoto bruto convencional com poço úmido e poço seco para ter umidade de levantamento.
- Decantadores – duas unidades circulares em concreto armado com 2 removedores mecânicos de lodo e espuma.
- Grades e desarenadores – canais em concreto armado.
- Digestores para um tempo de detenção de 15 dias com misturação intensa e coleta de gases.
- Leitos de secagem – leitos rasos com muretas de alvenaria, piso atijolado, sem lençol de areia.

Equipamentos

Foram discriminados os equipamentos a serem utilizados, constando basicamente de bombas de recalques, mecanismos de remoção de lodo, raspadores de lodo, tubulações, etc.

Instalações elétricas

Foi adotada verba para instalação elétrica.

Eventuais

Foi estimado um adicional de 10% sobre a somatória das parcelas de obras civis, equipamentos e instalações elétricas para despesas eventuais.

Engenharia e administração

Sobre o custo total foi estipulado em 10% a parcela de engenharia e administração.

Benefícios

São consideradas as obras de urbanização e pequenas obras tais como prédio de administração, almoxarifado, etc.

Desapropriações

Foi considerada para efeito de cálculo uma área de 72 ha. a um custo de Cr\$ 100.000,00/ha.

O detalhamento dos cálculos de custos são apresentados nos Anexos I e II.

3.5.1.2. Custos operacionais (anuais)

Depreciação

Foi considerado para amortização o prazo de 25 anos (taxa de 4% a.a.) para o sistema de tratamento e o prazo de 10 anos (taxa de 4% a.a.) para os equipamentos dos sistemas de remoção, desaguamento e secagem de algas.

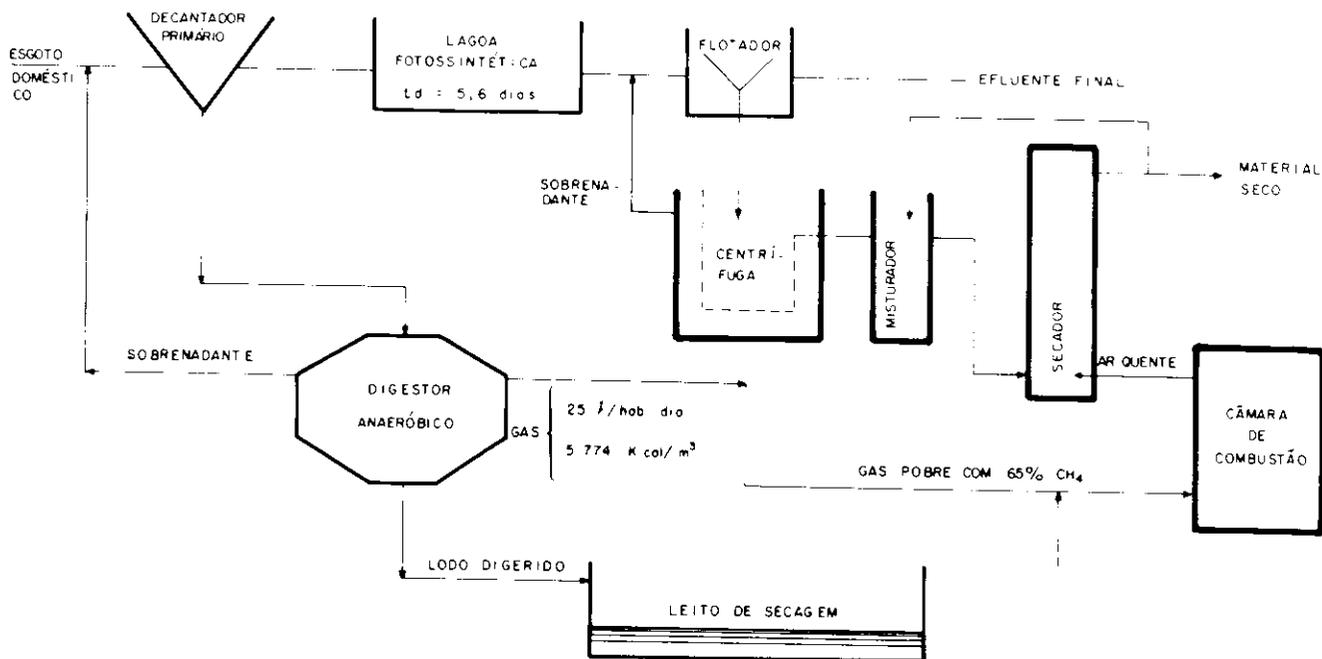


Figura 7 – Alternativa 1 – Fluxograma do Sistema de Lagoa Fotossintética Acelerada e Secagem de Algas.

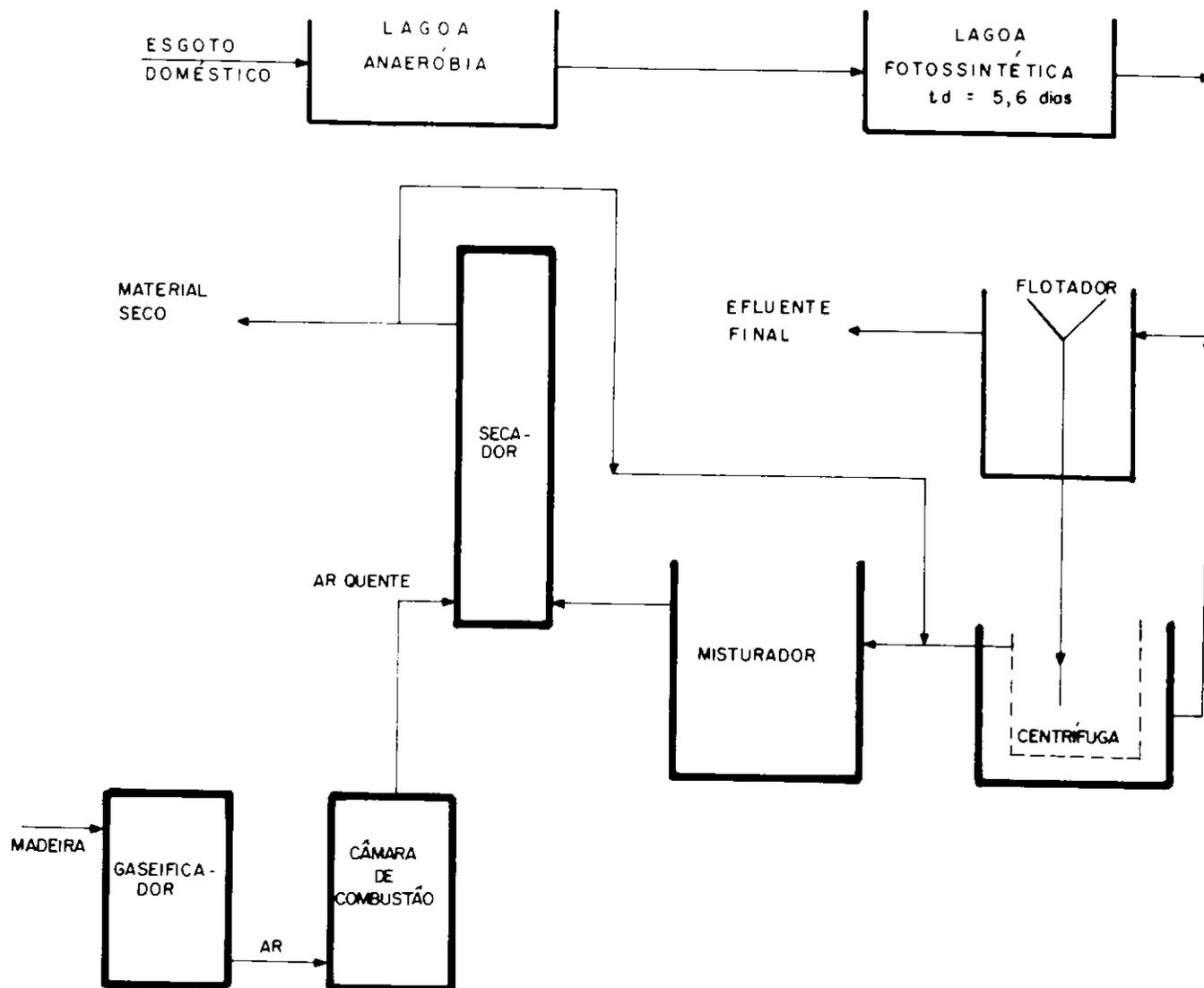


Figura 8 – Alternativa 2 – Fluxograma do Sistema de Lagoa Fotossintética Acelerada e Secagem de Algas.

Conservação e manutenção

Será considerado o custo de conservação e manutenção em 0,5%/ano sobre o investimento para o sistema de tratamento e 1%/ano para os sistemas de remoção, desaguamento e secagem de algas.

Consumo de combustível

Na alternativa 1, o combustível consumido no sistema de secagem é proveniente do sistema de tratamento de esgoto, não onerando o custo de produção.

Para a alternativa 2 o consumo de madeira é de 14.720 kg por dia a um custo de 3,00 Cr\$/kg.

Consumo de energia elétrica

Para o cálculo do custo de energia elétrica foram admitidas 3 parcelas:

- Demanda mensal - Cr\$ 634/KW instalado.
- Custo consumo - Cr\$ 1.046,00/1.000 KW h.
- Empréstimo compulsório - Cr\$ 0,825175/KW h.

Consumo de produtos químicos

Foi avaliado um consumo diário de 1.000 kg de sulfato de alumínio e 250 kg de ácido sulfúrico, ao preço de Cr\$ 20,00/kg para ambos os produtos químicos.

Mão-de-obra

No cálculo do custo de mão-de-obra foram incluídos os encargos sociais e foi admitido:

Alternativa 1:

- mestre de obra - 12h/dia
- auxiliar - 60 h/dia

Alternativa 2:

- mestre de obra - 8 h/dia
- auxiliar - 48 h/dia

O custo admitido foi de 300,00 Cr\$/h para o mestre de obra e de 150,00 Cr\$/h para o auxiliar.

Eventuais

Foram estimados em 5% do custo de produção para eventuais despesas.

3.5.2. Resultado de Cálculo

a) Custo de implantação e operação do sistema proposto e produção.

Os quadros a seguir mostram os investimentos e custos operacionais para as duas alternativas do sistema de lagoa fotossintética acelerada e a produção de algas para uma cidade de 100.000 habitantes.

QUADRO 13
Investimentos estimados (em MCr\$) para os dois sistemas alternativos estudados.

SISTEMAS ITENS	ALTERNATIVA 1			ALTERNATIVA 2		
	Sistema de tratamento		Secagem de algas	Sistema de tratamento		Secagem de algas
	Pré-tratamento + lagoa	Flotador		Pré-tratamento + lagoa	Flotador	
Obras civis	112.983	12.000		132.172	12.000	
Equipamentos	31.079	19.500	18.000	17.358	19.500	20.000
Instalações elétricas	7.000	2.500		2.500	2.500	
Eventuais	15.106	3.400		15.000	3.400	
Engenharia e administração	16.616	3.740		16.700	3.740	
Benefícios	16.616	3.740		3.740		
Desapropriação	7.200			7.200		
Total	206.600	44.880	18.000	207.630	44.880	20.000

QUADRO 14
Custos operacionais (em MCr\$) para os dois sistemas alternativos estudados.

SISTEMAS ITENS	ALTERNATIVA 1			ALTERNATIVA 2		
	Sistema de tratamento		Secagem de algas	Sistema de tratamento		Secagem de algas
	Pré-tratamento + lagoa	Flotador		Pré-tratamento + lagoa	Flotador	
Depreciação	8.264	4.488	1.800	8.305	4.488	2.000
Conservação e manutenção	1.033	448	180	1.038	488	200
Consumo de combustível						16.000
Consumo de energia elétrica	1.480	3.564	1.980	148	3.564	1.980
Consumo de produtos químicos		7.500			7.500	
Mão-de-obra	1.728	648	2.160	1.296	648	1.512
Eventuais	625	832	317	534	832	1.084
Total	13.130	17.480	6.437	11.321	17.480	22.776

Como foi evidenciado nestes quadros, os investimentos e os custos operacionais são praticamente iguais para ambas as alternativas.

Com relação ao desaguamento e secagem de algas, a alternativa 1 oferece apreciável vantagem, notadamente no custo operacional, do que a alternativa 2. Essa vantagem é decorrente do aproveitamento do gás metano do digestor que é capaz de fornecer toda energia necessária para secagem de algas. Desta maneira, tomando-se por base a produção anual de 1.080 t de algas secas na lagoa fotossintética acelerada para tratamento de esgoto de 100.000 habitantes, o custo da produção de algas pela alternativa 1 é estimado em Cr\$ 6,00 e Cr\$ 21,00 na alternativa 2.

De acordo com a investigação apresentada anteriormente (Capítulo 3.4), o valor nutritivo de algas corresponde ao do farelo de soja, cujo preço de venda no mercado por atacado gira, atualmente, em torno de Cr\$ 18,00/kg. Mesmo admitindo preço inferior para a venda de alga, em relação ao da soja, devido à dificuldades de colocação inicial do produto novo no mercado, verifica-se ainda apreciável vantagem de lucro na venda de algas como ração animal, o que demonstra boa viabilidade de comercialização do produto em

estudo.

No caso da alternativa 2, o custo da produção já é superior ao custo do farelo de soja, o que impossibilita sua comercialização, a não ser que haja futuramente exploração de sua eventual utilização para fins mais nobres, como por exemplo fonte de microelementos.

b) Comparação de custos entre o sistema proposto e lodo ativado.

Os custos relativos à implantação do sistema de lodo ativado nesta comparação, foram baseados nos valores estimados pela SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, para tratamento de esgoto da cidade de Assis com 83.000 habitantes⁽²⁶⁾. Para efeito da unificação de critério, foi efetuada a adaptação de alguns itens nos custos de obras civis.

Dentre as duas alternativas da lagoa fotossintética, discutidas anteriormente, optou-se pela alternativa 1 para a comparação, tendo em vista maior viabilidade de comercialização de algas.

São inseridos no Quadro 15 os investimentos e custos operacionais anuais por habitante para o sistema proposto e lodo ativado.

QUADRO 15

Comparação de investimentos e custos operacionais entre sistemas de lagoa fotossintética acelerada e lodo ativado (Cr\$/hab.ano)

	Lagoa fotossintética acelerada	Lodo ativado
INVESTIMENTOS		
Obras civis	1.249,83	882,80
Equipamentos	505,79	1.325,70
Instalações elétricas	95,00	125,90
Eventuais	185,06	236,20
Engenharia e administração	203,56	260,20
Benefícios	203,56	153,10
Desapropriações	72,00	31,00
Total	2.515,00	3.015,00
CUSTOS OPERACIONAIS		
Depreciação	127,52	132,20
Conservação e manutenção	14,81	30,20
Consumo de energia elétrica	50,44	71,50
Consumo de produtos químicos	75,00	—
Mão-de-obra	23,76	62,80
Eventuais	14,57	14,80
Total	306,10	311,40

Embora os custos operacionais sejam praticamente iguais aos dois sistemas em estudo, a lagoa fotossintética acelerada apresenta vantagem no investimento em relação ao lodo ativado, ou seja, cerca de 17% a menos no primeiro caso.

Além desta vantagem, deve ser destacado que o sistema proposto apresenta apreciável benefício pelo fornecimento de proteína.

Para efeito de ilustração, admitindo-se o preço de venda das algas secas em 16,00 Cr\$/kg, o lucro anual seria de 100,00 Cr\$/habitante.ano. Essa comercialização reduziria o custo operacional da lagoa fotossintética para Cr\$ 206,10, enquanto que o custo operacional anual por habitante do lodo ativado é de Cr\$ 311,40.

Por outro lado, a qualidade do efluente tratado pela lagoa fotossintética acelerada é superior ao do lodo ativado, beneficiando não só na preservação da qualidade da água do corpo receptor, como na utilização do efluente para irrigação e eventual abastecimento industrial.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. LEVENSPIEL, O. — Chemical reaction engineering — 2ª Edition. John Wiley & Sons, Inc. New York, 1972.
 2. OSWALD, W.J.; GOLUCKE, C.G.; and GEE, M.K. — Wastewater reclama-

tions through production of algae. Univ. Calif. San. Eng. Res. Lab. n.º 22, 1959.
 3. NGIAN, M.F. and THIRUCHELVAN, S. — A nutritional evaluation of pig wastewater-grown algae. Report of a workshop on high-rate algae ponds. Singapore, 1980.
 4. EDWARDS, P.; SINCHUMPASAK, O. and OVANO, E.A. — A study of a sewage fed high-rate stabilization pond in Thailand. Paper presented at a workshop on high-rate algae ponds held in Singapore, 1980.
 5. International Development Research Centre. Wastewater Treatment and Resource Recovery. Report of a workshop on high algae ponds. Singapore 1980.
 6. SHELEF, G.; MORAINÉ, R.; and ORON, G. — Photossynthetic Biomass. Production from sewage paper presented at the Gesellschaft für Straklen und Umweltforschung Workshop on Microalgae for Food and Feed — A status analysis, Munchen, 1977.
 7. GOLDMAN, J.C. — Outdoor algal mass culturas — II Photossynthetic yield limitations. The Journal of the International Association on Water Pollution Research. Vol. 13, n.º 2, 1979.
 8. RYTHÉ, J.H. — Potencial productivity of the sea. Science, 130, 1959.
 9. SHELEF, G.; OSWALDO, W.J. and GOLUCKE, C.G. — Algal Reactor for Life Support Systems. Jour. San. Engin. Div., Proc. Am. Soc. Civil Engin. 96, 91-110 (1970).
 10. McGARRY, M.G.; LON, C.D. and MERTO, J.L. — Photossynthetic yields

and by product recovery from sewage oxidation ponds. In Jenkins, S.H. ed Advances in Water Pollution Research. U.K.
 11. SHELEF, G.; AZOV, Y.; MORAINÉ, R.; SANDBANK, E. and ORON, G. — Waste treatment and nutrient removal by high-rate algae ponds. Paper present at a workshop on high-rate algae ponds hold in Singapore, 1980.
 12. SHELEF, G.; SCHWARZ, M. and SCHECHTER, H. — Prediction of photossynthetic biomass prediction in accelerated algal — bacterial wastewater treatment systems. 6th International Water Pollution Research, 1972.
 13. JOHN, R.B.; WEISSMAN, J.C.; KOOPMAN, B.L. & OSWALD, W. J. — Energy Production by Microbial Photosynthesis. Nature, vol. 268, n.º 5615, 1977.
 14. FUKUI, C. — Os efeitos da Chlorella na saúde do homem. Kodansha K.K., Tokyo, 1975.
 15. OKUDA, M. — Biological Actions of Chlorella Extracts. (2) e (3) Journal of the Medical Society of Toho University, vol. 18, n.º 5, 1971.
 16. YAMAGISHI, Y. — The health of children and Chlorella value. Japanese Journal Medicine, vol. 2196, 1966.
 17. GOLUEKE, C.G. and OSWALD, W.J. — Treatment and reclamation of agricultural wastewater. Proceedings Symposium on Agricultural Wastewater. Davis, California, 1966.
 18. COMBS, F. — Algae (Chlorella) as a source of nutrients for the Chick. Science, vol. 116, 1952.
 19. TECHNION — Israel Institute of Tecnology and Sherman Environmental Engineering Research Center with the Fish and Aquaculture Research Station. Ministry of Agriculture, Israel. Fish feeding experiments with algae. A progress summary of project "Combined Systems for Algal Wastewater Treatment and Reclamation and Protein Production", 1976.
 20. Organização Mundial da Saúde — Aspectos microbiológicos de la higiene de los alimentos. Serie de Informes Técnicos n.º 598, Ginebra, 1970.
 21. NICKERSON, J. T. & SINSKEY, A.J. Microbiology of Foods and Food Processing. American Elsevier Publishing Co. New York, 1972.
 22. SYKES, G. — Desinfection and sterilization, 2ª ed., J.B. Lippinott Co. Philadelphia.
 23. Instituto de Ciência e Tecnologia, Governo do Japão. Pesquisa sobre tratamento de esgoto doméstico pela Chlorella sp. Relatório n.º 69, 1975.
 24. LINCOLN, E.P. and HALL, T.W. — Critical factors in the large-scale production of microalgae. Report of a workshop on high rate algae ponds. Singapore, 1980.
 25. DUGAN, G.L.; GOLUEKE, C.G.; OSWALD, W.J. and RIXFORD, C. E. — Photossynthetic reclamation of agricultural solid and liquid wastes. 2º Progress Report. SERL Report, n.º 70-1. Sanitary Engineering Research Laboratory College of Engineering and School of Public Health Univ. of California, 1970.
 26. SABESP — Sistema de esgotos sanitários de Assis. Relatório n.º 1. Estudos de Alternativas, fev./81.

ANEXOS I e II
CÁLCULO DEMONSTRATIVO DE INVESTIMENTOS
PARA OS DOIS SISTEMAS ALTERNATIVOS (MCR\$)

ANEXO I

1. Investimentos globais				269.480
1.1. Sistema de tratamento (pré-tratamento + lagoa)			206.600	
1.1.1. Obras civis		112.983		
a) Limpeza e regularização do terreno	420.000 m ² (11)	4.678		
b) Escavações	270.000 m ³ (145)	39.097		
Lagoa	250.000			
Elevatória	2.000			
Grades e desarenadores	420			
Decantadores	11.200			
Leitos de secagem	100			
Diversos	80			
	270.000 m ³			
c) Fundações		2.631		
Lastro de concreto magro	870 m ³ (2228)			
Estacas de Ø 30 cm				
d) Concreto armado	1.200 m ³ (22.278)	26.733		
Elevatória	386			
Decantador	276			
Grades e desarenadores	48			
Digestor	174			
Leito de secagem	24			
Diversos	92			
	1.200 m ³			
e) Outros				
Pintura e proteção de taludes	430.000 m ² (33)	14.369		
Reposição de terra	50.000 m ³ (278)	13.923		
Transporte	230.000 m ³ (6)	1.281		
t) Obras de acabamento		10.271		
1.1.2. Equipamentos			31.079	
a) 3 bombas centrífugas 40 Hp		9.524		
b) 3 bombas centrífugas 2 Hp		334		
c) 1 grade de barras (3,2 x 2 m)		223		
d) 2 mecanismos para remoção de areia		5.374		
e) 2 raspadores de lodo Ø 20 m		9.357		
f) Misturador de lodo para digestor 10 Hp		1.114		
g) Tubulações, peças, etc.		5.180		
1.1.3. Instalação elétrica			7.000	
1.1.4. Eventuais (10%)			15.106	
1.1.5. Engenharia e administração (10%)			16.616	
1.1.6. Benefícios (10%)			16.616	
1.1.7. Desapropriações			7.200	
1.2. Sistema de flotação				44.880
1.2.1. Obras civis			12.000	
a) 2 tanques de floculação nº 1				
b) 2 tanques de floculação nº 2				
c) 2 tanques de sulfato de alumínio				
d) 2 kurifloter KR-13 Ø 13 m				
e) 1 tanque de lodo				
f) 1 tanque de água tratada				
1.2.2. Equipamentos			19.500	
a) 2 floculadores nº 1				
b) 2 floculadores nº 2				
c) 2 raspadores de espuma				
d) 2 plataformas				
e) 2 tanques de pressurização				
f) 2 compressores de pistão				
g) 2 bombas de lodo				
h) Tubulações e válvulas		3.000		
1.2.3. Instalações elétricas			2.500	
1.2.4. Eventuais (10%)			3.400	
1.2.5. Engenharia e administração (10%)			3.740	
1.2.6. Benefícios (10%)			3.740	
1.3. Sistema de desagüamento e secagem de algas				18.000
1.3.1. Misturador			1.500	
1.3.2. Secador pneumático			8.000	
1.3.3. Câmara de combustão			2.000	
1.3.4. Sistemas de controles automáticos			2.000	
1.3.5. Centrífuga			2.000	
1.3.6. Acessórios complementares			2.500	

ANEXO II

2. Investimentos globais				272.516
2.1. Sistema de tratamento			132.172	207.630
2.1.1. Obras civis				
a) Limpeza e regularização do terreno	600.000 m ² (11)	6.600		
b) Escavações	402.500 m ³ (145)	53.090		
Lagoas	400.000			
Elevatória	2.000			
Grades e desarenadores	420			
Diversos	80			
	<u>402.500 m³</u>			
c) Fundações				
Lastro de concreto magro	580 m ³ (2.238)	1.292		
d) Concreto armado	500 m ³ (22.278)	11.139		
Elevatória	386			
Grades e desadrenadores	48			
Diversos	56			
	<u>500 m³</u>			
e) Outros				
Proteção de taludes	650.000 m ² (33)	21.450		
Reposição de terra	75.000 m ³ (276)	20.850		
Transporte	380.000 m ³ (6)	2.280		
f) Obras de acabamento (10%)		10.271		
2.1.2. Equipamentos			17.358	
a) 3 bombas centrífugas 40 Hp		9.524		
b) 1 grade de barras (3,2 x 2 m)		223		
c) 2 mecanismos para remoção de areia		5.347		
d) Tubulações, peças, etc.		2.264		
2.1.3. Instalações elétricas			2.500	
2.1.4. Eventuais			15.000	
2.1.5. Engenharia e administração			16.700	
2.1.6. Benefícios			16.700	
2.1.7. Desapropriações			7.200	
2.2. Sistema de remoção de algas				44.880
Idem à alternativa nº 1				
2.3. Sistema de desaguentamento e secagem de algas				20.000
2.3.1. Misturador			1.500	
2.3.2. Secador pneumático			8.000	
2.3.3. Gaseificador de madeira			2.000	
2.3.4. Câmara de combustão			2.000	
2.3.5. Sistemas automáticos			2.000	
2.3.6. Centrífuga			2.000	
2.3.7. Acessórios complementares			2.500	