

ARQUIVO TECNICO

ESTABELECIMENTO DE CRITÉRIO DE
PROJETO DE LAGOA DE ESTABELIZA
ÇÃO

Kawai. H. et alii

5311
K179e
005417



03968

005417

DTD

XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
FORTALEZA, CEARÁ, 20 A 25 DE SETEMBRO DE 1981
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA - ABES

ESTABELECIMENTO DE CRITÉRIO DE PROJETO DE LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA
AV. PROF. FREDERICO HELEZANI, 100 - JARDIM PIRRELLA - PINHEIROS
SÃO PAULO - BRASIL

HIDEO KAWAI, MARIA JOSÉ MUNIZ ROCHA e AYLSON LIMAS
COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

R E S U M O

O presente estudo foi realizado com o objetivo de estabelecer critério de projeto de lagoa de estabilização mais adequado, para condição brasileira, principalmente no Estado de São Paulo.

Foi efetuado o levantamento de parâmetros de funcionamento nas 7 lagoas em operação e em duas lagoas experimentais, baseado no qual foi verificada a aplicabilidade de vários modelos para dimensionamento de lagoa de estabilização.

- XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL - FORTALEZA, CEARÁ, 20 A 25 DE SETEMBRO DE 1981.
- ESTABELECIMENTO DE CRITÉRIO DE PROJETO DE LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO.
- HIDEO KAWAI, MARIA JOSÉ MÚNIZ ROCHA e AYLSON LIMAS.
- TEMA: ESGOTOS SANITÁRIOS.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB.
- AV. PROF. FREDERICO HERMANN JR., 345 - ALTO DE PINHEIROS - CEP 05459 - SÃO PAULO/SP.

HIDEO KAWAI, limnologista pela Universidade de Mie, Japão; curso no Instituto de Ecologia Aquática do Estado de Nagano; curso no Centro de Pesquisa da "Kurita Industry", Japão, através da CETESB, sobre tratamento de águas residuârias; estudo referente à utilização de algas produzidas com esgoto para ração animal, através de Bolsa concedida pela Organização Mundial da Saúde. Experiência profissional: limnologista do Departamento de Produção Animal da Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, Consultor Técnico da firma de Engenharia Sanitária Hazem and Sawyer, Consultor Técnico da firma Planidro, Gerente da Gerência de Pesquisas Hidrobiológicas da CETESB, Limnologista da Superintendência de Pesquisa da CETESB.

MARIA JOSÉ MUNIZ ROCHA, engenheira química pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro; cursos completos de pós-graduação em nível de especialização em Engenharia Sanitária pelo Instituto Presidente Castelo Branco/Instituto Oswaldo Cruz e em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Federal do Rio de Janeiro; experiência profissional: engenheira da PLANIDRO - ENGENHEIROS CONSULTORES S/A, HIDROCONSULT - ESTUDOS E PROJETOS LTDA. e atualmente da CETESB.

AYLSON LIMAS, engenheiro civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, engenheiro sanitariaista pela Faculdade de Higiene e Saúde Pública da USP. Experiência profissional: Engenheiro do Departamento de Obras Sanitárias da Secretaria de Obras e Serviços Públicos do Estado de São Paulo no período de julho de 1956 a agosto de 1965; engenheiro de projetos do Escritório Técnico Alves Cunha e José M. de Azevedo Netto e posteriormente Azevedo, Cunha e Associados - São Paulo, no período de janeiro de 1959 a julho de 1965; engenheiro da Planidro - Engenheiros Consultores S.A. - São Paulo, no período de agosto de 1965 a fevereiro de 1974; engenheiro da DESA - Organização e Engenharia S.A. - São Paulo, no período de abril de 1974 a abril de 1976; engenheiro da Superintendência de Pesquisa da CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - a partir de abril de 1976.

1. INTRODUÇÃO

A lagoa de estabilização é um dos sistemas de tratamento mais utilizado no Brasil, devido ao seu baixo custo de construção e simplicidade de operação.

Entretanto, levantamentos baseados em projetos e sistemas em operação mostram a diversidade de critérios para o dimensionamento das lagoas. Este fato é decorrente da insuficiência de estudos para o estabelecimento de critérios adaptados às condições brasileiras.

Considerando as observações acima expostas, foi realizado o presente estudo com o propósito de verificar a aplicabilidade de critérios e/ou estabelecer um novo critério mais adaptável às condições brasileiras, notadamente no Estado de São Paulo. Para atender a esse objetivo, foram realizados levantamentos de dados em diversas lagoas de estabilização, situadas principalmente em São Paulo, durante o período de 1977 a 1981.

Embora tenham sido estudados vários parâmetros de funcionamento das lagoas, será enfocado, na presente, somente o comportamento da DBO, considerado o parâmetro fundamental para o dimensionamento de lagoas.

Cumprе ressaltar que, no desenvolvimento do estudo, grande parte dos recursos financeiros foi obtida através do Departamento de Pesquisa do Banco Nacional da Habitação - BNH, Contrato CTS-0057/77, BNH-CETESB.

Registre-se aqui também os agradecimentos às Prefeituras de Itapira, Valparaíso, Pradópolis, Guararapes e Maringá, bem como aos Escritórios Regionais da SABESP de Nhandeara, Pindamonhangaba, Malriporã e Tatuí que prestaram valiosas colaborações para a realização do presente estudo.

2. TEORIA BÁSICA DO MODELO DE DIMENSIONAMENTO

Dada a complexidade do problema, não foi elaborado até hoje um método satisfatório que englobe todos os processos envolvidos numa lagoa de estabilização. Atualmente, na prática, recorre-se a métodos empíricos, procurando aproveitar a experiência obtida em lagoas existentes e a modelos que equiparam a lagoa a um reator processando uma reação química.

O primeiro enfoque talvez seja até mais seguro no estágio atual de nosso conhecimento mas apresenta a grande dificuldade em julgar o funcionamento da lagoa nos locais que apresentam características e circunstâncias diferentes do padrão.

O recurso à modelagem é mais genérico e mais promissor, a longo prazo, pois procura interrelacionar os vários fatores relevantes com o objetivo de prever quantitativamente os efeitos decorrentes de sua variação. Infelizmente, nesse tipo alternativo surgem também dificuldades ligadas à escolha dos fatores a serem considerados nos modelos e das hipóteses simplificadoras, que todo modelo matemático deve introduzir para possibilitar tanto a sua elaboração como sua aplicação prática.

Os vários modelos elaborados até hoje, tendo em vista a constituição e a aplicabilidade, podem ser assim resumidos: modelo construído por Vicente et al⁽¹⁾ para lagoa anaeróbia, modelo elaborado por Hermann e Gloyne⁽²⁾, Marais e Shaw⁽³⁾ e MacGarry e Pescod⁽⁴⁾ para lagoa facultativa.

O modelo de lagoa anaeróbia é aproximado, com base na teoria do reator de mistura completa, através de resultados

de experimentos obtidos no tanque sêptico e "aquapriva" nos Estados Unidos e África do Sul para utilização nas regiões subtropical e tropical. A adaptação deste modelo, conforme a característica da região, é possível de ser feita, por meio de ajuste de dois coeficientes, porém, sem levar em conta o efeito específico relativo à temperatura.

O modelo de Hermann e Gloyna baseia-se na lei de Arrhenius, que rege a influência da temperatura sobre a velocidade das reações químicas e permite prever a carga superficial admissível em termos de DBO, para garantir uma eficiência de remoção em torno de 90 %, em função da temperatura e da profundidade. O modelo tem a vantagem de sua fácil aplicabilidade, exigindo um mínimo de informações prévias - temperatura e profundidade. Entretanto, ele não permite avaliar a variação da eficiência em função de diferentes cargas aplicadas. Também, não foi levado em consideração o fator referente à influência do material depositado no funcionamento da lagoa.

Para corrigir esses últimos inconvenientes, Marais e Shaw desenvolveram um modelo, equiparando o funcionamento de uma lagoa de estabilização ao de um reator de mistura completa, com lodo acumulado, processando uma reação de primeira ordem, seguindo a lei de Arrhenius, quanto à temperatura.

Do ponto de vista prático, o modelo de Marais e Shaw deve ser considerado como uma extensão do modelo de Hermann e Gloyna, porém ainda com falhas na sua constituição.

Primeiramente, não ocorre na prática a circulação do líquido em regime de mistura completa, hipótese essa que serviu como elemento básico para a elaboração do modelo.

O regime de mistura que se verifica na lagoa de estabili
zação pode caracterizar-se como intermediário entre mis
tura completa e escoamento tubular ("plug flow").

Thirumurthi⁽⁵⁾, a fim de equacionar melhor tal fator hidrãu
lico, elaborou uma expressão introduzindo um parâmetro re
lativo à dispersão axial que permite ajustar, de forma sa
tisfatória, o movimento líquido na lagoa, cuja determi
nação, porém, ofereceu dificuldades práticas.

Em segundo lugar, foram adotados nos modelos citados u-
ma única reação hipotética de primeira ordem e um úni
co valor global da constante de velocidade de reação para
estimar o progresso da degradação de matéria orgânica. Na
condição real, entretanto, a reação bioquímica que ocorre
na lagoa não se processa somente em ordem unitária e com
uma única constante de velocidade da reação, havendo va
riação contínua desses valores à medida que a matéria or
gânica sofra degradação.

O modelo de MacGarry e Pescod, de constituição puramente
estatística, foi elaborado com base nos dados levantados
nas regiões temperada e subtropical, correlacionando-se os
valores de cargas aplicadas e eficiências de remoção. Re
centemente, tem-se elaborado o mesmo tipo de modelo cita
do por Mara e Silva para a região norte do Brasil⁽⁶⁾ e
por Yanez et al.⁽⁷⁾ para a região de San Juan, Peru.

Como se verifica em qualquer modelo desse gênero, ele po
de ser utilizado dentro das faixas de variação dos valo
res obtidos e assim mesmo verifica-se uma significativa
discrepância na previsão de dimensionamento decorrente, de
vido à variação de temperatura.

Quanto à questão de quais desses modelos apresentam me-

lhor aplicabilidade em nosso meio ambiente, ela poderá ser esclarecida somente através de investigações detalhadas com o levantamento de parâmetros de funcionamento em diversas condições operacionais e climatológicas.

3. PROCEDIMENTO DO TRABALHO

3.1. Levantamento de dados

Embora existam aproximadamente 60 lagoas no Estado de São Paulo e mais outras dezenas de lagoas nos demais Estados do Brasil para o tratamento de esgotos domésticos, existem poucos dados em disponibilidade para se avaliar o funcionamento em vários níveis de cargas aplicadas.

Por esse motivo, foram selecionadas inicialmente 7 lagoas de estabilização no Estado de São Paulo, das quais, 4 funcionam no sistema australiano e 3 em facultativa unicelular, a fim de levantar parâmetros de funcionamento em função de cargas aplicadas e condições ambientais. Para a seleção destas lagoas foram levados em consideração: localização geográfica, condição climatológica, condição de manutenção e operação, tipo de lagoa, cargas aplicadas, etc.

Além destas 7 lagoas, escolheram-se outras duas lagoas experimentais com o objetivo de verificar o funcionamento em diferentes níveis de cargas de DBO, bem como estabelecer a máxima carga admissível em função de fatores ambientais.

Uma das lagoas experimentais está localizada no município de Maringá, Estado do Paraná. O sistema é composto de duas séries de lagoa anaeróbia e facultativa, possibilitando utilizar uma das séries para efetuar experimentos com dife

rentes cargas por meio de alimentação total de esgoto afluente na estação.

Foram realizados nestas lagoas levantamentos de dados em cinco diferentes cargas de DBO no sistema australiano (anaeróbia e facultativa) e um levantamento para lagoa facultativa primária. Inexistindo sistema hidráulico para alimentar o esgoto sanitário afluente diretamente à lagoa facultativa, para a realização de experimento da lagoa facultativa primária, a lagoa anaeróbia foi transformada em facultativa, mediante diminuição da profundidade e alteração da fase biológica.

Paralelamente, foi escolhida uma lagoa facultativa localizada no município de Tatuí - São Paulo, na qual se efetuaram obras de compartimentação com objetivo de formar 3 células de lagoas experimentais, ou seja, 2 lagoas anaeróbias e 1 facultativa. O trabalho nesta lagoa foi iniciado em janeiro de 1980. Entretanto, logo após o término da 1.^a campanha de coleta (maio/81), ocorreram sucessivos acidentes, como o rompimento de emissário, o lançamento clandestino de despejos industriais, a falta de água para abastecimento, etc.

Por esse motivo, decidiu-se substituir a lagoa de Tatuí por uma das células da lagoa de Mairiporã - São Paulo, embora esta não possua condições tão favoráveis como a de Tatuí, tais como: estrutura hidráulica, condição climática, etc. para o prosseguimento das experiências de lagoa facultativa primária. Na lagoa experimental de Mairiporã foram efetuadas 3 campanhas de coleta em 3 diferentes cargas aplicadas.

Os dados de localização, hidráulicos e o período de levantamento das lagoas estudadas são resumidos no Quadro I.

QUADRO 1

Localizações, tipos e dados hidráulicos
das lagoas de estabilização estudadas

Local e tipo de lagoa	Área (m ²)	Volume (m ³)	Profundidade (m)
GUARARAPES facultativa primária	13.000	20.800	1,6
NHANDEARA facultativa primária	7.200	6.480	0,9
ITAPIRA anaeróbia facultativa secundária	38.500 45.000	57.750 45.000	1,5 1,0
PINDAMONHANGABA anaeróbia facultativa secundária	10.400 43.200	31.200 38.880	3,0 0,9
PRADÓPOLIS anaeróbia facultativa secundária	4.000 11.000	6.000 10.000	1,5 0,9
VALPARAÍSO facultativa primária	8.575	8.575	1,0
MAIRIPORÃ anaeróbia facultativa secundária facultativa primária	2.556 11.656 2.556	7.668 11.656 6.390	3,0 1,0 2,2
MARINGÃ anaeróbia facultativa secundária facultativa primária	4.000 18.500 4.000	10.000 37.000 6.000	2,5 2,0 1,5
TATUI anaeróbia facultativa secundária	2.425	500 3.637	1,5

3.2. Coleta de amostras

As campanhas de coleta de amostras nas 7 lagoas citadas anteriormente foram realizadas em dois períodos distintos. A primeira campanha foi desenvolvida nos meses de outubro e novembro de 1977 e a segunda em julho e agosto de 1978, a fim de se verificar a interferência dos fatores climatológicos no funcionamento da lagoa de estabilização em períodos mais quente e mais frio do ano.

A amostragem foi efetuada duas vezes por semana, durante seis semanas consecutivas em cada período de estudo. Normalmente, as amostras foram coletadas de hora em hora, obtendo-se uma amostra composta de duas horas, durante 24 horas. Foram medidas vazões do esgoto afluyente de hora em hora, acompanhando a coleta de amostras para análise.

Os dados relativos aos fatores climatológicos, tais como velocidade e direção do vento, temperatura do ar, precipitação pluviométrica, etc. foram obtidos nos postos meteorológicos próximos às lagoas estudadas.

Para cada carga experimental, as coletas de amostras foram efetuadas durante aproximadamente 15 dias, intercalando-se 10 coletas em regime de 12 horas no período diurno, e 3 coletas em regime de 24 horas. Na lagoa experimental de Mairiporã, as coletas diurnas foram substituídas por coletas de 24 horas, formando, através da mistura de amostras horárias, uma única amostra composta diária.

Antes de se iniciar as coletas, houve a espera de um período de 1 a 2 meses para estabilização da fase biológica das lagoas para cada carga aplicada.

Na lagoa facultativa de Maringá efetuou-se investigação

intensiva da variação vertical das características das águas. Foram instalados junto a lagoa um anemógrafo (Lambrecht, modelo 1482) e um actinógrafo (Fuess, tipo Robtzch) para medição da direção e velocidade do vento e radiação solar, respectivamente. Os demais procedimentos adotados nas lagoas experimentais são basicamente análogos aos das 7 lagoas de estabilização.

Todos os valores de DBO e temperatura, utilizados na presente apresentação, são de DBO global (incluindo algas) e temperatura do ar, respectivamente.

4. RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

4.1. Contribuições da vazão do esgoto e DBO.

As contribuições de vazão dos esgotos e DBO por habitante são os parâmetros básicos para o projeto de qualquer tipo de tratamento.

De modo geral, todos os afluentes dos esgotos estudados apresentam comportamentos semelhantes quanto às variações horárias de vazão e à concentração de DBO, verificando-se curvas com dois picos: o mais elevado, em torno de 10 a 14 horas, e um mais baixo no período entre 18 e 22 horas aproximadamente.

A concentração média ponderada da DBO e as contribuições diárias por habitante da vazão do esgoto e DBO estimada com base na população servida pela rede de esgoto, em cada município ao qual pertence a lagoa de estabilização estudada, são apresentadas no Quadro 2.

QUADRO 2

Concentração média ponderada da DBO e contribuição diária da vazão do esgoto e DBO por habitante em cada município estudado

Local da lagoa	Concentração de DBO (mg/ℓ)	Contribuição de esgoto (ℓ/hab.d)	Contribuição de DBO (g/hab.d)
Guararapes	232,0	175	40,5
Itapira	286,5	171	47,0
Pradópolis	271,1	189	51,6
Nhandeara	221,9	154	34,3
Pindamonhangaba	140,3	287	40,4
Mairiporã	286,1	180	52,0
Valparaíso	251,6	133	33,4
Maringá	381,5	133	51,0
MÉDIA COM δ_{n-1}	275,8 \pm 53,0	162,1 \pm 22,5	43,7 \pm 7,6

Não se levou em consideração no cálculo do valor médio das concentrações de DBO, a contribuição da vazão do esgoto do município de Pindamonhangaba, tendo em vista significativa infiltração observada na rede de esgoto durante o período do levantamento.

Conforme se verifica no Quadro 2, quanto à contribuição diária da vazão "per capita", o estudo mostrou que se pode contar com dados estáveis estatisticamente, da ordem de 160 ℓ/hab.d, sendo este valor próximo dos valores utilizados na Europa em geral e bem menor do que nos Estados Unidos⁽⁸⁾. Como o tempo de detenção de uma dada lagoa é inversamente proporcional à vazão, conclui-se que, quanto a esse fator, a prática européia de dimensionamento está mais próxima das condições reinantes na região em estudo do que a norte-americana. Deve-se

acrescentar que o levantamento realizado em dez bairros da cidade de São Paulo⁽⁹⁾ resultou numa média de 168 l/hab.dia.

Com relação à carga de DBO, verificou-se que a população estudada contribui com 44 g/hab.dia, enquanto que nos países europeus⁽¹⁰⁾ essa carga se apresenta em níveis mais elevados: 54 g/hab.dia. Isso significa que, ao tomar por base a população servida pela rede de esgotos para efeito de dimensionamento, as lagoas a serem projetadas poderão ter dimensões inferiores às dos países europeus.

4.2. Funcionamento das lagoas

Todos os dados levantados nas lagoas anaeróbias e nas lagoas facultativas, primária e secundária, encontram-se resumidos nos Quadros 3 e 4.

Nas lagoas anaeróbias, as cargas de DBO aplicadas variaram de 375 a 4.032 kg/ha.d com tempo de detenção entre 1,2 e 10,5 dias. As temperaturas médias do ar em cada período de levantamento oscilaram na faixa de 18,0 a 25,5°C. As profundidades das lagoas levantadas variaram de 1,0 a 3,0 metros.

Com exceção das lagoas dos municípios de Tatuí e Pindamonhangaba, as eficiências na remoção da DBO, de modo geral, apresentaram-se elevadas. Na lagoa anaeróbia de Maringá, embora com alta carga aplicada (870 a 2.300 kg/ha.d), obtiveram-se eficiências de 65 a 75 %.

A lagoa anaeróbia de Tatuí, que foi operada com tempo de

Dados operacionais levantados nas várias lagoas anaeróbias

Local da lagoa	Carga aplicada (DBO kg/ha.d)	Carga removida (DBO kg/h.d)	Tempo de detenção (dias)	Temperatura (°C)	Profundidade (m)	Conc. da DBO afluente (mg/ℓ)	Conc. da DBO efluente (mg/ℓ)	Eficiência (%)
ITAPIRA	375	225	9,4	23,3	1,5	240,0	77,4	68
PINDAMONHANGABA	1.164	449	3,6	24,2	3,0	140,0	81,6	42
PRADÓPOLIS	528	308	7,5	25,2	1,5	265,8	73,5	72
PRADÓPOLIS	527	321	8,0	19,0	1,5	276,3	107,4	61
ITAPIRA	450	257	10,5	18,0	1,5	333,0	142,0	57
MARINGÁ	825	586	10,5	21,6	2,5	346,0	101,0	71
MARINGÁ	1.100	825	8,3	19,5	2,5	364,0	91,0	75
MARINGÁ	1.450	1.073	7,2	24,9	2,5	416,0	108,0	74
MARINGÁ	2.025	1.357	4,8	25,1	2,5	391,0	128,0	67
MARINGÁ	2.275	1.479	4,3	19,7	2,5	389,0	138,0	65
TATUI	4.032	1.249	1,2	25,2	2,1	228,0	158,0	31

Dados operacionais levantados nas várias lagoas facultativas primárias e secundárias

Local da lagoa	Carga aplicada (DBO kg/ha.d)	Carga removida (DBO kg/ha.d)	Tempo de detenção (dias)	Temperatura (°C)	Profundidade (m)	Conc. da DBO afluente (mg/l)	Conc. da DBO efluente (mg/l)	Eficiência (%)
Lagoa facultativa primária								
GUARARAPES	162	134	21,0	26,9	1,6	212,6	36,5	83
NHANDEARA	200	168	10,0	26,9	0,9	221,9	31,4	81
GUARARAPES	212	176	19,0	22,4	1,6	251,3	42,2	83
PRADÓPOLIS	75	58	14,5	19,3	1,0	107,4	24,2	77
VALPARAISO	89	80	28,4	22,4	1,0	251,6	24,0	90
MARINGÁ	500	345	11,6	17,9	1,5	382	158,0	69
MAIRIPORÁ	257	146	14,0	22,0	2,2	172	73,0	57
MAIRIPORÁ	376	246	14,4	21,0	2,2	252	85,0	66
Lagoa facultativa secundária								
ITAPIRA	105	78	7,4	23,3	1,0	77,4	20,0	74
PINDAMONHANGABA	164	114	4,5	24,2	0,9	81,6	24,1	70
PRADÓPOLIS	53	27	12,6	25,0	1,1	73,5	36,9	49
ITAPIRA	163	122	8,5	18,0	1,0	142,0	35,7	75
MAIRIPORÁ	113	91	15,7	16,8	1,0	178,3	36,5	81
MARINGÁ	50	36	38,9	21,6	2,0	101,0	29,0	72
MARINGÁ	60	44	30,6	19,5	2,0	91,0	24,0	73
MARINGÁ	140	102	17,6	25,1	2,0	128,0	35,0	73
MARINGÁ	80	52	26,8	24,9	2,0	108,0	38,0	65
MARINGÁ	170	111	15,9	19,7	2,0	138,0	48,0	65
TATUI	320	214	8,6	25,2	1,5	158,0	53,0	67

detenção de 1,2 dias e com carga de 4.032 kg/ha.d, apresentou eficiência praticamente idêntica à de um decantador.

Na lagoa facultativa de Pindamonhangaba, notou-se apreciável assoreamento durante os períodos de levantamento, podendo ter ocasionado baixa eficiência da remoção de DBO.

Problemas de odor foram registrados nas lagoas de Tatuí e Itapira. Porém, durante todo o período de estudo na lagoa anaeróbia de Maringá, não houve problema quanto à produção de gás sulfídrico, mesmo com carga elevada. Os valores de pH, medidos no período de máxima carga aplicada (2.300 kg/ha.d), variaram de 6,5 a 7,2.

Com relação às lagoas facultativas, foram efetuados oito levantamentos nas lagoas primárias e dez nas lagoas secundárias.

Foram observados funcionamento e eficiências satisfatórias (81 e 83 %) nas lagoas primárias de Nhandeara e Guararapes com cargas da ordem de 200 kg/ha.d.

Com a elevada carga testada (500 kg/ha.d) na lagoa primária de Maringá, resultou uma eficiência de 69 %. Durante o levantamento de dados, a coloração da água tornou-se verde pálida, dando sinal de inibição da produção de algas. A temperatura média durante o estudo foi de 17,9°C.

Foi detectado o mesmo nível de eficiência na lagoa facultativa primária experimental de Mairiporã, com carga de 375 kg/ha.d. Conforme verificou-se na lagoa de Maringá, a produção de algas foi reduzida em relação à encontrada normalmente na lagoa facultativa em funcionamento normal. As concentrações de oxigênio, medidas em várias profundidades

dades da água, mostraram a presença de camada aeróbia apenas em alguns centímetros de espessura a partir da superfície.

Deve-se ressaltar que, na maioria dos casos, as épocas dos estudos realizados com maiores cargas aplicadas foram no período de outono e início de inverno (março a maio), quando não ocorreram condições climáticas favoráveis para funcionamento de lagoa de estabilização. Com temperatura elevada e intensidade de radiação maior, é possível obter melhores eficiências do que nos períodos acima mencionados. De fato, em experimento realizado em Campina Grande, Estado do Rio Grande do Norte, obteve-se 80 % de eficiência com carga de 400 kg/ha.d na lagoa primária ⁽³⁾.

Convém acrescentar, também, que a mesma ordem de eficiência de 80 %, foi obtida nas lagoas experimentais de San Juan, Peru, com carga de DBO extremamente elevada (1.100 kg/ha.d), embora as condições climáticas sejam semelhantes às da região próxima à cidade de São Paulo.

Com relação à lagoa secundária, a máxima carga de DBO estudada foi de 170 kg/ha.d e a mínima de 50 kg/ha.d, variando a eficiência de 49 a 72 %.

Não se verificou uma relação proporcional entre carga aplicada e eficiência, ou seja, as cargas menores nem sempre apresentaram as maiores eficiências. Por exemplo, nas lagoas de Pradópolis e num dos levantamentos realizados na lagoa secundária de Maringá, elas foram avaliadas em apenas 49 e 65 %, respectivamente, aplicando-se cargas baixas de 53 e 50 kg/ha.d, enquanto que na lagoa de Itaipira e na mesma lagoa acima citada (de Maringá) o nível de 75 % de eficiência foi obtido em carga de 140 e também de 163 kg/ha.d.

O fato importante que deve-se ressaltar no projeto da la

goa facultativa secundária, é que cerca de 90 % da matéria orgânica contida no esgoto doméstico é passível de ser biodegradada pelo sistema biológico de tratamento convencional.

Assim, em caso do sistema de lagoa australiano (anaeróbia e facultativa), a eficiência da remoção da DBO na lagoa facultativa secundária depende da eficiência da lagoa anaeróbia. Se ocorrer maior remoção da DBO na lagoa anaeróbia, a eficiência na lagoa secundária é automaticamente menor. De fato, ocorreram 72 e 74 % das remoções da DBO, respectivamente, nas lagoas anaeróbias de Pradópolis e Maringá, não havendo praticamente possibilidade de se obter maiores eficiências do que as verificadas nas lagoas secundárias correspondentes.

A explanação sugere que o tempo de detenção excessivamente prolongado, ou seja, a carga aplicada extremamente menor, não traz nenhum benefício na melhoria da eficiência e, conseqüentemente, no uso econômico do terreno.

Acredita-se que, pelos resultados levantados no presente estudo, pode-se aplicar satisfatoriamente uma carga superficial de 150 kg/ha.d para lagoas secundárias em condição climática do Estado de São Paulo.

5. VERIFICAÇÃO DO MODELO DE DIMENSIONAMENTO

O presente item tem como finalidade verificar a aplicabilidade de vários modelos teóricos e estatísticos, já existentes, com os dados levantados nas lagoas em estudo. Em alguns casos, onde os modelos existentes não são aplicáveis, tal como no caso da lagoa anaeróbia, apresentado a seguir, tentou-se estabelecer um modelo que pudesse servir de orientação para o dimensionamento do sistema de tratamento em estudo.

5.1. Lagoa anaeróbia

a) Aplicabilidade do modelo elaborado por Vincent et al.

É o único modelo encontrado até o presente momento para o projeto de lagoa anaeróbia. A equação abaixo foi desenvolvida por Vincent e seus colaboradores:

$$S = \frac{S_0}{K_n \left(\frac{S}{S_0}\right)^{n R+1}} \dots\dots\dots 1$$

S_0 e S = concentrações de DBO no afluente e efluente, respectivamente.

R = tempo de detenção para sistema de mistura completa.

n = expoente a ser determinado pelo experimento.

K_n = coeficiente de projeto.

Através da técnica de aproximação sucessiva de mínimos quadrados, foi efetuado o ajuste dos valores de n e K_n que variaram de acordo com as características regionais do projeto, utilizando-se os dados levantados no presente estudo (Quadro 3). Os valores mais aproximados de n e K_n foram de 3,6 e $38,5 \text{ d}^{-1}$ respectivamente.

No entanto, observou-se um alto coeficiente de variação (de 74 %), mostrando aplicabilidade insatisfatória do modelo testado, de acordo com os dados levantados no presente estudo.

Deve-se mencionar que foram excluídos da verificação apresentada anteriormente, os dados obtidos na lagoa de Tatuí e Pindamonhangaba, devido à baixa eficiência registrada na primeira lagoa e intenso assoreamento ocorrido durante o levantamento da segunda lagoa, os quais foram considerados impróprios para o estabelecimento de critério do projeto.

b) Modelo estatístico

Como não houve sucesso na aplicabilidade do modelo teórico e tendo em vista a complexidade dos processos físicos, químicos, biológicos e climatológicos que envolvem o funcionamento da lagoa anaeróbia, tentou-se estabelecer um modelo estatístico através de correlações dos dados coletados.

Na Figura 1, verifica-se uma correlação linear entre as cargas aplicadas e removidas provenientes das várias lagoas em estudo.

Foi estabelecida a seguinte correlação com coeficiente elevado de 0,9866 e baixo valor do coeficiente de variação (9 %).

$$\lambda_{\delta} = - 14,4555 + 0,6867 \lambda_s \dots\dots 2$$

onde:

λ_{δ} = DBO removida kg/ha.d

λ_s = carga de DBO aplicada kg/ha.d.

Da mesma maneira, foram introduzidos na equação 2 os fatores de temperatura (T) e tempo de detenção (t), segundo dados constantes no Quadro 3, resultando as seguintes expressões:

$$\lambda_{\delta} = - 86,0971 + 0,6543\lambda_s + 3,3985T \dots 3$$

coeficiente de correlação = 0,993

coeficiente de variação = 9 %

$$\lambda_{\delta} = - 265,0576 + 0,7491\lambda_s + 23,5258t \dots 4$$

coeficiente de correlação = 0,9948

coeficiente de variação = 0 %

CORRELAÇÃO ENTRE CARGA DE DBO APLICADA E REMOVIDA ESTABELECIDA PARA LAGOA ANAERÓBIA

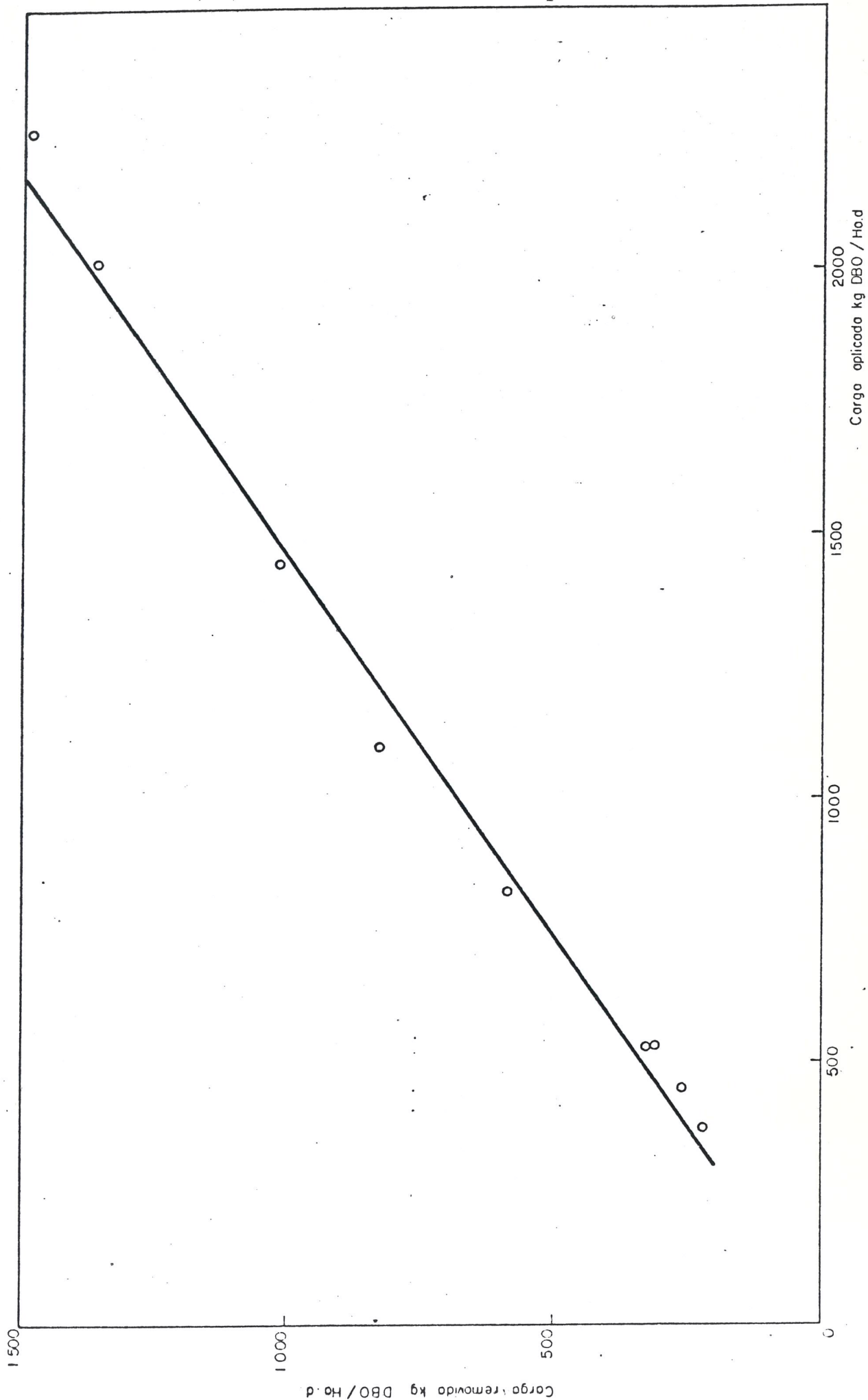
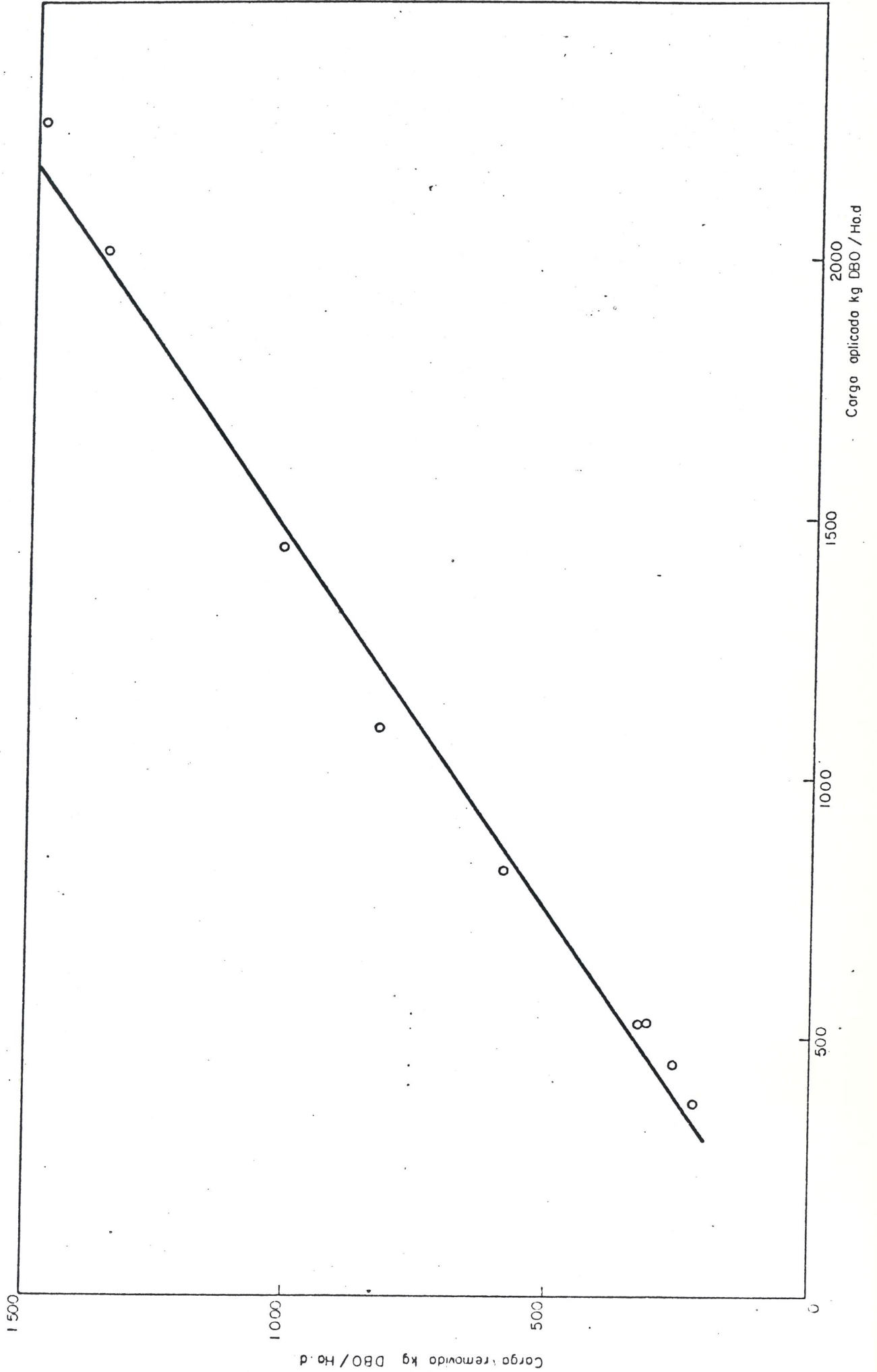


FIGURA 1

FIGURA 1

CORRELAÇÃO ENTRE CARGA DE DBO APLICADA E REMOVIDA ESTABELECIDADA PARA LAGOA ANAERÓBIA



As aplicações das expressões 1, 2 e 3 devem ser limitadas à faixa de carga aplicada de 530 a 2.300 kg/ha.d, temperatura de 18 a 25°C e tempo de detenção de 4,3 a 10 dias.

Deve-se esclarecer que o número de amostras consideradas na correlação estatística não basta para apresentação de um modelo suficientemente seguro a ser aplicado. É desejável realizar levantamento de mais dados de lagoas, não só na região do Estado de São Paulo, mas também em outras regiões do Brasil.

5.2. Lagoa facultativa

a) Aplicabilidade do modelo elaborado por Marais e Shaw

A constituição teórica do modelo de Herman e Gloyna, e Marais e Shaw é basicamente idêntica, porém, o modelo de Marais e Shaw apresenta maior flexibilidade em termos de avaliação da eficiência em função dos diferentes níveis das cargas aplicadas. Por esse motivo selecionou-se na presente investigação somente o modelo de Marais e Shaw.

O modelo básico dos autores citados é expresso por

$$S = \frac{S_0}{K_T t + 1} \dots\dots 5$$

onde:

S e S_0 = concentração da $DBO_{5d}^{20^\circ C}$ no afluente e efluente da lagoa, respectivamente.

K_T = constante de primeira ordem em função da temperatura (°C).

t = tempo de detenção (dias).

O valor de K_T igual a 1,2 foi avaliado experimentalmente, para temperatura de 35°C, com coeficiente de temperatura de 1,085.

Rearranjando a equação 5, a fim de facilitar o cálculo da eficiência, e utilizando-se os valores da constante de reação e do fator da temperatura acima citados, obtém-se:

$$t = \frac{E}{1,2 \times 1,085^{T-35} (100-E)} \dots\dots 6$$

Introduzindo o termo da carga orgânica superficial (λ_s) (kg DBO/ha.d) e rearranjando novamente a equação resulta:

$$\lambda_s = 12 S_0 \frac{100-E}{E} d \cdot 1,085^{(T-35)} \dots\dots 7$$

Para facilitar o cálculo da comparação com as eficiências obtidas em condições reais, a equação 7 foi alterada para:

$$E = \frac{1.200 S_0 d (1,085)^{T-35}}{\lambda + 12 S_0 d (1,085)^{T-35}} \dots\dots\dots 8$$

No Quadro 5 são apresentados os valores comparativos das eficiências, determinadas em condições reais nos levantamentos, e calculadas pelo modelo de Marais e Shaw em várias lagoas facultativas primárias e secundárias.

Observou-se maior discrepância entre a eficiência determinada e a calculada principalmente nas lagoas secundárias com baixas cargas aplicadas. Esta discrepância pode ser explicada pelo fato da velocidade da constante de estabilização da matéria orgânica utilizada no modelo, é aquela determinada experimentalmente em fun

QUADRO 5

Eficiência determinada e calculada nas lagoas facultativas
primária e secundária

Local da lagoa	Carga aplicada (DBO kg/ha.d)	Carga removida (DBO kg/ha.d)	Eficiência determinada (%)	Eficiência calculada
Lagoa facultativa primária				
GUARARAPES	162	134	83	93
NHANDEARA	200	168	84	86
GUARARAPES	212	176	83	89
PRADÓPOLIS	75	58	77	83
VALPARAÍSO	89	80	90	92
MARINGÃ	500	345	69	77
MAIRIPORÃ	257	146	57	86
MAIRIPORÃ	376	248	66	85
Lagoa facultativa secundária				
ITAPIRA	105	78	74	77
PINDAMONHANGABA	164	114	70	69
PRADÓPOLIS	53	27	49	89
ITAPIRA	163	122	75	72
MAIRIPORÃ	113	91	81	83
MARINGÃ	50	36	72	94
MARINGÃ	60	44	73	91
MARINGÃ	140	102	73	91
MARINGÃ	80	52	65	85
MARINGÃ	170	111	65	85
TATUÍ	320	241	67	80

ção do tempo de reação. Por conseguinte, o modelo calcula a eficiência de remoção da DBO, proporcionalmente ao aumento do tempo de detenção da lagoa, mesmo que não seja possível realizar, na prática, estabilização biológica acima de determinado nível de eficiência.

Conforme apresentado no item anterior, as lagoas secundárias recebem efluentes já parcialmente estabilizados das lagoas anaeróbias, podendo o processo biológico de estabilização ser completado com menor tempo de detenção do que os projetados em realidade.

Assim sendo, seria mais lógico admitir a causa da discrepância observada, não por motivo da baixa aplicabilidade do modelo, mas, do mau dimensionamento das lagoas em questão.

Mesmo incluindo esta discrepância, o coeficiente de variação, calculado para as eficiências estimadas pelo modelo, é de 22 %, podendo ser considerado satisfatório para o projeto de um sistema de tratamento com complexo processo biológico, tal como a lagoa de estabilização. Se eliminarmos os dados referentes às lagoas superdimensionadas, indicadas anteriormente, o coeficiente de variação será reduzido para 14 %.

b) Aplicabilidade dos modelos estatísticos

O modelo estatístico desenvolvido por McGarry e Pescod, baseado nos dados colhidos em lagoas primárias das regiões temperada e subtropical, conduziu à seguinte correlação com o elevado coeficiente de correlação de 0,995.

$$\lambda_{\delta} = 10,35 + 0,725\lambda_s \dots\dots 9$$

Esta correlação é válida na faixa da carga superficial de DBO entre 34 e 560 kg/ha.d.

Correlação semelhante à executada por McGarry e Pescod, foi estabelecida por experimento realizado em Campina Grande (PB) na região Nordeste do Brasil, por Mara e Silva:

$$\lambda_{\delta} = 2 + 0,79\lambda_s \dots\dots\dots 10$$

A máxima carga observada com eficiência satisfatória (80 %), neste experimento, foi de 400 kg/ha.d

A carga aplicada extremamente elevada (200 a 1.158 kg/ha.d), verificada nas lagoas primárias, situadas na região de San Juan, Peru, resultou em torno de 80 % de eficiência com a seguinte correlação:

$$\lambda_{\delta} = 7,67 + 0,8063\lambda_s \dots\dots\dots 11$$

O valor do coeficiente de correlação calculado nesta expressão foi de 0,9962.

Para elaboração do modelo estatístico, com base nos dados obtidos no presente estudo, foram preparadas as Figuras 2 e 3, que correlacionam os valores de cargas aplicadas e removidas nas lagoas facultativas primárias e secundárias.

Na lagoa primária, nota-se um desvio da correlação quando ocorrem valores acima de aproximadamente 250 kg/ha.d nas cargas aplicadas.

A principal causa desta discrepância poderia ser atribuída à condição climática desfavorável da época em estudo (vide item 4.2), ou seja, interferência negativa do fator climático, de forma mais intensa no comportamento biológico, na lagoa com faixa superior de carga aplicada, proporcionando menor rendimento do funcionamento do sistema em questão.

FIGURA 2

CORRELAÇÃO ENTRE CARGA APLICADA E REMOVIDA OBTIDA NAS REGIÕES DE SÃO PAULO E DO NORDESTE DO BRASIL PARA LAGOA FACULTATIVA PRIMÁRIA

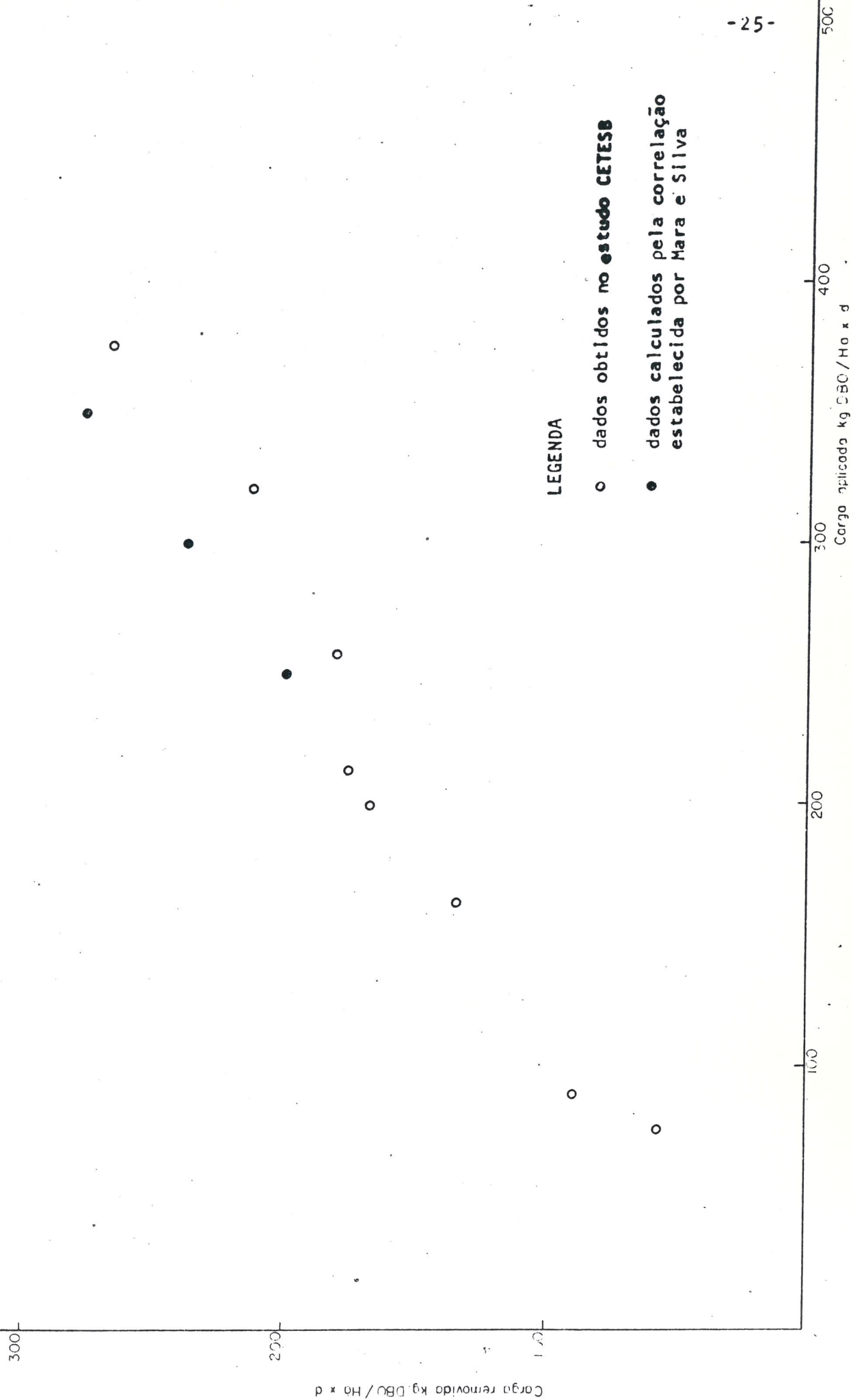
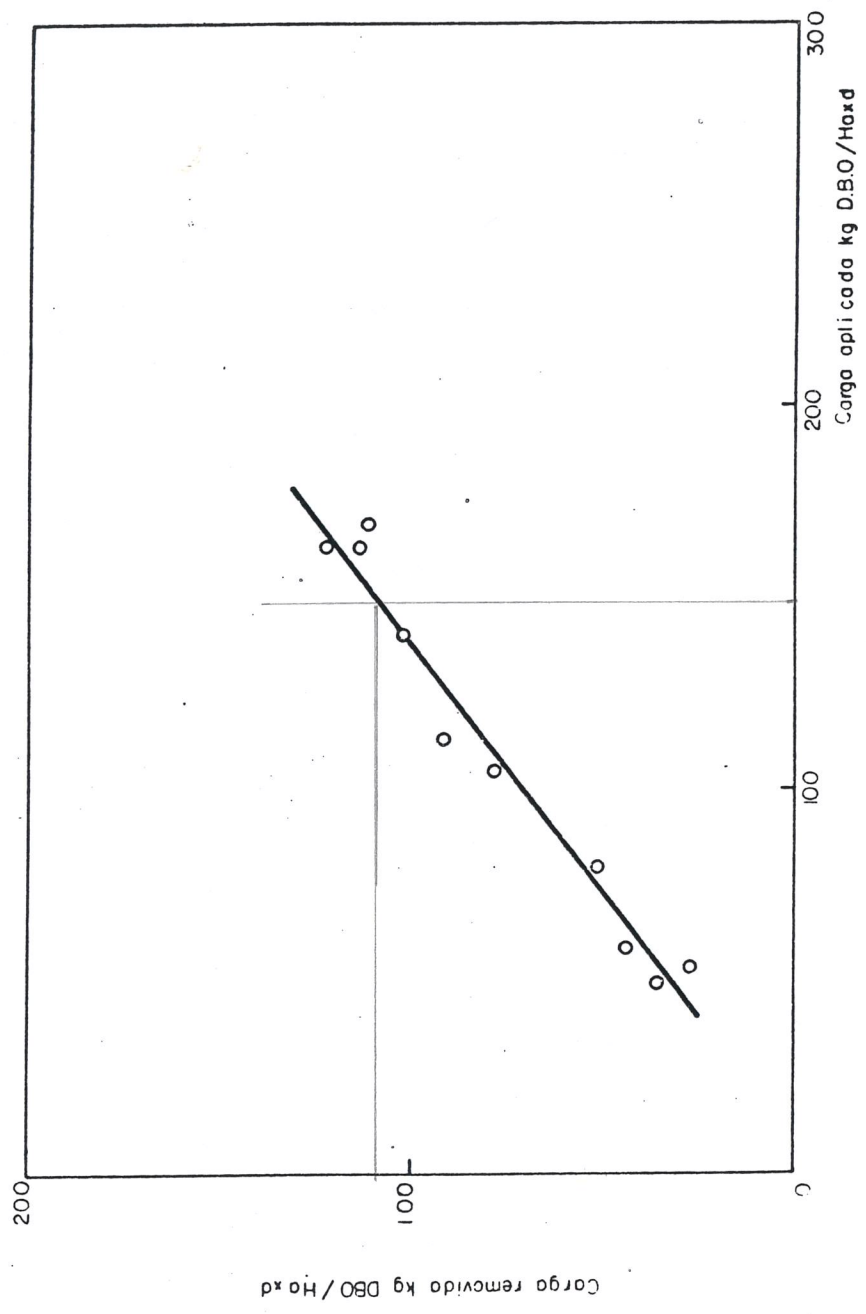


FIGURA 3
CORRELAÇÃO ENTRE CARGA DE DBO APLICADA E REMOVIDA ESTABELECIDA PARA LAGOA SECUNDÁRIA



Os pontos plotados na Figura 2, que representam os resultados provenientes da região Nordeste do Brasil, foram avaliados pela expressão 10, citada anteriormente.

A correlação estabelecida no presente estudo, na faixa de 90 a 210 kg/ha.d de carga aplicada, é de:

$$\lambda_8 = 0,2243 + 0,8332\lambda_s \dots 12 \quad \left(R = 0,9974 \right) \\ \left(C.V. = 4 \% \right)$$

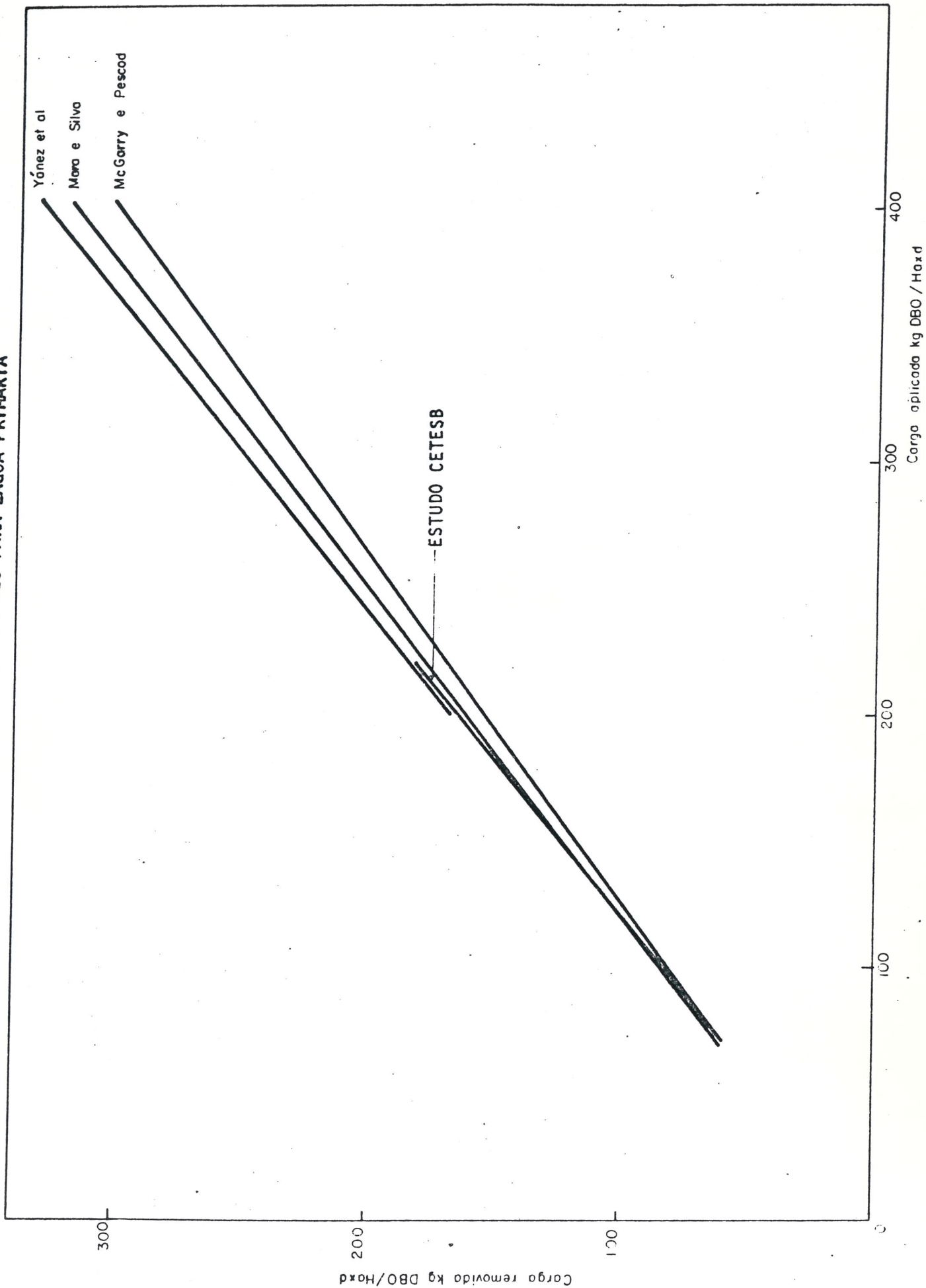
Com a finalidade de se obter melhor comparação, foi preparada a Figura 4, onde são representadas, em retas, todas as correlações para a lagoa primária mencionada anteriormente.

A diferença entre o modelo estatístico desenvolvido no presente estudo e no estudo de Mara e Silva, na faixa de carga aplicada de 90 a 250 kg/ha.d, é insignificante em termos de utilização prática para projeto.

Desta maneira, pode-se concluir que o modelo estatístico elaborado para a região Nordeste do Brasil pode representar também satisfatoriamente a região Sul, de condições climatológicas semelhantes à do Estado de São Paulo.

Deve-se acrescentar que, de acordo com a observação feita anteriormente, a máxima carga aplicável na região do Estado de São Paulo deveria ser limitada em torno de 250 kg/ha.d, enquanto que na região Nordeste esse valor pode ser ampliado para 400 kg/ha.d para manter a trabalhabilidade por volta de 80 %. Se ultrapassar esses limites, haverá queda na eficiência de remoção da DBO, como já ocorreu no presente estudo quando se operou em faixa elevada de cargas aplicadas. Para efeito de referência, estabeleceu-se no presente estudo uma correlação com base em toda a faixa de cargas aplicadas (90 - 500 kg/ha.d).

COMPARAÇÃO DE CORRELAÇÃO ENTRE CARGA APLICADA E REMOVIDA ESTABELECIDADA POR VÁRIOS AUTORES PARA LAGOA PRIMÁRIA



$$\lambda_{\delta} = 19,4003 + 0,6327\lambda_s \dots 13 \quad (R = 0,9760) \\ (C.V. = 13\%)$$

Com base na variação das temperaturas registradas em cada levantamento (18 - 27°C), introduziu-se o fator de temperatura na equação 13, obtendo-se:

$$\lambda_{\delta} = - 54,0 + 0,6584\lambda_s + 3,0740T \dots 14 \quad (R = 0,976) \\ (C.V. = 12\%)$$

Devido aos baixos rendimentos observados na faixa superior da carga aplicada, as expressões 13 e 14 conduzem à baixas eficiências de remoção da DBO.

Com relação à lagoa secundária, foi estabelecida, para o presente estudo, a seguinte correlação:

$$\lambda_{\delta} = - 5,4188 + 0,7702\lambda_s \dots 15 \quad (R = 0,9873) \\ (C.V. = 8\%)$$

Introduzindo o fator de temperatura, apresenta:

$$\lambda_{\delta} = 26,9052 + 0,7592\lambda_s - 1,4149T \dots 16 \quad (R = 0,9956) \\ (C.V. = 5\%)$$

A aplicabilidade das expressões apresentadas restringe-se à faixa de 50 a 170 kg/ha.d de carga aplicada e temperatura de 19,5 a 25°C.

Correlação semelhante à do presente estudo foi verificada em lagoas secundárias do Peru, com cargas variando de 40 a 210 kg/ha.d, conforme equação abaixo:

$$\lambda_{\delta} = 0,8 + 0,765\lambda_s \dots 17$$

Um bom nível de coeficiente de correlação (0,9861) foi computado para esta correlação.

Ambas as correlações apresentadas resultam em eficiência ligeiramente menor do que na lagoa primária, o que pode ser justificado pelas características funcionais da lagoa facultativa secundária.

6. CONCLUSÃO

- a) Com o objetivo de verificar a aplicabilidade dos principais modelos existentes, ao dimensionamento de lagoas de estabilização para tratamento de esgotos domésticos em condições brasileiras, notadamente na região do Estado de São Paulo, foram efetuados levantamentos de dados baseados no funcionamento das lagoas com diferentes modalidades, inclusive nas duas lagoas experimentais.
- b) A equação elaborada por Vincent et al. para lagoa anaeróbica resultou alto valor de coeficiente de variação (74%), demonstrando aplicabilidade insatisfatória com os dados obtidos no presente estudo.
- c) O modelo estatístico elaborado no presente estudo, apresentou correlação satisfatória entre parâmetros de carga da DBO aplicada e removida, temperatura e profundidade. No entanto, é desejável reunir maior número de dados, não só da região do Estado de São Paulo, mas também de outras regiões do Brasil, a fim de estabelecer um modelo suficientemente seguro.
- d) O modelo desenvolvido por Marais e Shaw mostrou boa aplicabilidade para lagoa facultativa primária e lagoa secundária. O coeficiente de variação foi avaliado entre 14% e 22%, dependendo dos dados levantados nas lagoas em estudo. O modelo de Marais e Shaw é caracterizado por raciocínio teórico, apresentando, por esse motivo, maior flexibilidade e amplitude na sua aplicabilidade em relação ao modelo estatístico.

- e) Através da comparação de vários modelos estatísticos utilizados para lagoa facultativa primária, existentes e desenvolvidos pelo presente estudo, concluiu-se que o modelo de Mara e Silva, elaborado para a região Norte do Brasil, apresenta-se, também, satisfatório para a região Sul, onde há condições climatológicas semelhantes ao Estado de São Paulo.
- f) A máxima carga aplicável para a lagoa primária deverá situar-se em torno de 400 kg DBO/ha.d na região Norte e 250 kg/ha.d na região Sul para obter-se eficiência aproximada de 80 %.
- g) As lagoas facultativas secundárias em estudo, apresentaram, de modo geral, eficiências ligeiramente menores do que a primária, devido à sua própria característica funcional.

A máxima carga da DBO aplicável verificada no presente estudo foi de 150 kg DBO/ha.d.

O modelo estatístico elaborado no estudo revelou elevado valor de coeficiente da correlação e baixo valor de coeficiente de variação quando a carga de DBO encontra-se entre 50 a 170 kg/ha.d e temperatura entre 19,5 e 25°C.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. VINCENT, J.L.; ALGIE, W.E. & MARAIS, G.v.R. - A system of sanitation for low cost high density housing, Niamey, Londres, Commission for Technical Cooperation, South of Sahara, 1963.
2. HERMANN, E.R. & GLOYNA, E.F. - Waste stabilization ponds - II. Formulation of Design Equations. Sewage and Industrial Wastes, 30, 8, 1958.
3. MARAIS, G.v.R. & SHAW, V.A. - A rational theory for the design of sewage stabilization ponds in Central and South Africa. Trans. S. Afr. Instr. Civ. Engrs., 3, 1964.
4. MCGARRY, H.G. & PESCOD, H.B. - Stabilization pond design criteria for tropical Asia. 2nd. International Symposium for Waste Treatment Lagoons. Missouri, 1970.
5. THIRUMURTHY, D. - Design principles of waste stabilization ponds. Jour. of the Sanitary Engineering Division, Proc. A.S.C.E., 95, SA2, 1969.
6. MARA, D.D. e SILVA, S.A. - Tratamentos biológicos de águas residuárias - lagoa de estabilização - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, 1969.
7. YÁNEZ, F. and Project Staff - Evaluation of the San Juan stabilization ponds. Final research report of the first phase. IDRC/Peruvian Ministry of Health/PAHO/CEPIS. Research Project, 1980.
8. IMHOFF, K. & THISLETHWAYTE, D.K.S.- Disposal of sewage and other waters borne waste. London, Butlerworths, 1971.

9. HAZEN AND SAWYER - Relatório sobre disposição de esgotos. São Paulo. Departamento de Águas e Esgotos do Governo do Estado de São Paulo, 1967.
10. IMHOFF, K. - Manual de tratamento de águas residuárias. Editora USP, 1966.

ata Acquis. :	
ndic. :	
Livraria:	Xerox
Preço: Cr\$	
Data Tombo:	25-6-82

