



XI SILUBESA

Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

II-009 - AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE 115 LAGOAS FACULTATIVAS PRIMÁRIAS E SECUNDÁRIAS NO SUDESTE DO BRASIL, TRATANDO ESGOTOS MUNICIPAIS

Maurrem Ramon Vieira

Engenheiro Químico, Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG, Doutor em Tecnologia Mineral pela UFMG, Pesquisador DTI do CNPq.

Sílvia M. A.Corrêa Oliveira

Engenheira eletricista, Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG, doutoranda na área de Saneamento na UFMG.

Marcos von Sperling⁽¹⁾

Engenheiro civil (UFMG). Doutor em Engenharia Ambiental (Imperial College, Universidade de Londres – Inglaterra). Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

Carlos Augusto Lemos Chernicharo

Engenheiro civil (UFMG). Doutor em Engenharia Ambiental (Universidade de Newcastle-upon-Tyne, Inglaterra). Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

Pedro Alem Sobrinho

Engenheiro civil (EESC-USP) e Engenheiro Sanitarista (FHSP-USP). Doutor em Engenharia (Escola Politécnica da USP). Professor Titular do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da USP.

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG - Av. Contorno, 842 – 7o andar - Centro – Código postal: 30.110-060 – Belo Horizonte – BRASIL. Tel: (31) 3238-1935 – Fax: (31) 3238-1882

 marcos@desa.ufmg.br

RESUMO

O presente trabalho avaliou o desempenho de 115 lagoas facultativas primárias e secundárias em operação nos estados de Minas Gerais e São Paulo. Estes sistemas de tratamento de esgotos estão dentre os mais utilizados no Brasil e no mundo e podem ser utilizados isoladamente (lagoas facultativas primárias) ou a jusante de lagoas anaeróbias (lagoas facultativas secundárias) em um arranjo conhecido como Sistema Australiano. As lagoas facultativas têm como características gerais a simplicidade conceitual, a satisfatória eficiência, a possibilidade do armazenamento do lodo produzido, o baixo índice de mecanização e, conseqüentemente, o baixo consumo de energia elétrica e de manutenção mecânica. Os resultados obtidos mostraram que a eficiência média de remoção obtida pelas lagoas facultativas atuando como lagoas primárias, de 74%, está um pouco abaixo da registrada na literatura (75 a 85%). A eficiência de remoção de DBO no caso das lagoas secundárias (48%) é, como seria esperado, inferior ao obtido pelas lagoas primárias, pois grande parte da DBO afluente foi previamente removida na lagoa anaeróbia. A eficiência média global (82%), no entanto, é bem superior à obtida nos sistemas compostos apenas por lagoas facultativas primárias. Não foi possível identificar uma relação entre a eficiência de remoção de DBO e a taxa de aplicação superficial (TAS), através de uma análise gráfica, tanto para as lagoas facultativas primárias como para as lagoas secundárias. O mesmo resultado foi obtido ao se testar a correlação entre a concentração de DBO efluente e a TAS. Valores bastante elevados da TAS parecem não ter conduzido a uma deterioração expressiva da qualidade do efluente, provavelmente porque grande parte da DBO efluente de lagoas é constituída por algas, cuja presença pode não ter sido influenciada dentro dos limites de TAS avaliados. Foi verificado, ainda, que não existe uma relação direta entre o tempo de detenção hidráulica (TDH) e

a eficiência de remoção. Todavia na faixa avaliada, os menores valores de TDH já são suficientes para a degradação da matéria orgânica nos níveis esperados para esta modalidade.

PALAVRAS-CHAVE: Lagoas facultativas, esgotos sanitários, tratamento de esgotos, padrões de lançamento, avaliação de desempenho.

INTRODUÇÃO

Dentre os sistemas de tratamento de esgotos mais utilizados no Brasil e no mundo destacam-se as lagoas facultativas. Essas lagoas são normalmente utilizadas isoladamente (lagoas facultativas primárias) ou a jusante de lagoas anaeróbias (lagoas facultativas secundárias), neste último caso em um arranjo conhecido como Sistema Australiano. As lagoas facultativas têm como características gerais a simplicidade conceitual, a satisfatória eficiência, a possibilidade do armazenamento do lodo produzido, o baixo índice de mecanização e, conseqüentemente, o baixo consumo de energia elétrica e de manutenção mecânica.

Nas lagoas facultativas a remoção da matéria orgânica é efetuada por bactérias anaeróbias, no fundo da lagoa, e facultativas no corpo da mesma. Durante o período de insolação, a atividade fotossintética das algas, que se desenvolvem na superfície da lagoa, fornece o oxigênio necessário para a metabolização aeróbia da matéria orgânica, mais eficiente que a anaeróbia. À noite as algas exercem apenas a função de consumidoras de oxigênio, provocando uma redução da concentração de oxigênio dissolvido (OD) na lagoa. Neste período as bactérias facultativas passam a utilizar outros aceptores de elétrons em seu processo metabólico, dando assim continuidade à digestão da matéria orgânica.

Devido à necessidade de um balanço adequado de oxigênio entre a atividade fotossintetizante e a respiração da biomassa, o principal parâmetro de dimensionamento das lagoas facultativas é a taxa de aplicação superficial, dada em kg de DBO₅/hectare x dia, e que relaciona a carga orgânica aplicada à área superficial da lagoa. Na Tabela 1 são apresentados valores típicos encontrados na literatura para taxas de aplicação superficial em função das condições de insolação e temperatura.

Tabela 1. Taxas de aplicação superficial (L_s) típicas para lagoas facultativas

Características regionais	Taxa de aplicação superficial L_s (kgDBO/ha.d)
Regiões de invernos quentes e ensolaradas	240 a 350
Regiões de invernos e insolação moderados	120 a 240
Regiões de invernos frios e de baixa insolação	100 a 180

Adaptado de von Sperling (2002)

Um parâmetro utilizado na verificação do dimensionamento e na estimativa das concentrações efluentes é o tempo de detenção hidráulica, que usualmente varia de 15 a 45 dias no caso de lagoas facultativas primárias. Este parâmetro, associado à profundidade, geralmente de 1,5 a 2,5 metros, resulta em áreas de lagoa que normalmente se adequam às taxas de aplicação citadas na tabela anterior.

Devido à predominância de mecanismos naturais e ao baixo nível de mecanização, as lagoas facultativas estão entre as que ocupam as maiores áreas dentre todas as modalidades de sistemas de tratamento biológico de efluentes.

Como forma de reduzir a área necessária é usual a implantação de uma lagoa anaeróbia a montante da lagoa facultativa. Na lagoa anaeróbia, uma parte da matéria orgânica é degradada anaerobiamente, reduzindo a carga orgânica afluente à lagoa facultativa. Como o tempo de detenção nas lagoas anaeróbias é menor, e a profundidade bem maior que nas lagoas facultativas, a área global demandada pelo sistema australiano é inferior àquela de uma lagoa facultativa isolada, para o tratamento de uma mesma carga orgânica.

Na lagoa anaeróbia dos sistemas australianos, a fração particulada da matéria orgânica afluente e aquela mais facilmente biodegradável são consumidas, sendo que a primeira é removida inicialmente por sedimentação, e posteriormente a fração biodegradável do material sedimentado é decomposta biologicamente. Desta forma, o efluente encaminhado para a lagoa facultativa é composto principalmente por matéria orgânica solúvel de degradação mais lenta ou não biodegradável.

O sistema de lagoas de estabilização tem sido amplamente investigado em nosso meio, em virtude de sua ampla

utilização de norte a sul do país. No entanto, não há registros de trabalhos de investigação do desempenho de um número elevado de lagoas. O presente trabalho analisa 72 lagoas facultativas primárias e 43 lagoas facultativas secundárias operando nos estados de São Paulo e Minas Gerais. Ainda que as lagoas estejam situadas em apenas dois estados, a ampla diversidade climática, social e econômica da região permite a extrapolação das conclusões para grande parte do país.

O presente trabalho pretende avaliar o desempenho de lagoas facultativas primárias e secundárias em escala real. Como se tratam de sistemas já em operação, sujeitos a diversos aspectos não ponderáveis durante a fase de projeto, acredita-se que os resultados possam ser úteis para projetistas e pesquisadores na área de saneamento.

Além disso, acredita-se que os resultados deste trabalho permitirão uma análise prévia das perspectivas de desempenho dos sistemas de lagoas e os requisitos efetivos de área em função das populações atendidas e dos padrões de qualidade exigidos pelas legislações estadual e federal.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados avaliados neste trabalho fazem parte do material utilizado no projeto URBÁGUA (CTHidro/FINEP), de interesse da Agência Nacional de Águas. O referido projeto, desenvolvido em parceria entre a UFMG e a USP, tem como um dos objetivos a avaliação do desempenho de estações municipais de tratamento de esgotos.

O parâmetro de avaliação da eficiência de remoção utilizado neste trabalho é a DBO₅, em virtude de ser o mais utilizado na concepção e na avaliação destes sistemas de tratamento. Para a análise dos dados de monitoramento disponíveis foram utilizadas ferramentas da estatística descritiva, tais como: média aritmética, mediana, desvio padrão, valores máximos e mínimos e coeficiente de variação. Foram ainda avaliadas correlações entre variáveis.

RESULTADOS

Os resultados de eficiência média de remoção de DBO afluente, as concentrações médias de DBO afluente e efluente, a taxa de aplicação superficial, o tempo de detenção hidráulica e o número médio de dados disponibilizados pelas 72 lagoas facultativas primárias são apresentados na Tabela 1:

Tabela 1 – Parâmetros de operação das lagoas facultativas primárias

	Eficiência média (%)	DBO ₅ média afluente (mg/L)	DBO ₅ média efluente (mg/L)	TAS ² (kg DBO ₅ /ha.d)	TDH ³ (dias)	Nº médio de dados ⁴
Média Aritmética	74	556	138	315	34	13
Desvio Padrão	10	210	65	210	22	20
Mínimo	29	84	40	35	9	1
Máximo	87	1271	442	965	135	137
Mediana	75	520	122	260	27	8
Coef. variação ¹	0,13	0,38	0,47	0,67	0,66	1,55

¹ Coeficiente de variação = desvio padrão / média aritmética

² TAS = Taxa de Aplicação Superficial

³ TDH = Tempo de Detenção Hidráulica

⁴ Número médio de dados de monitoramento em cada lagoa

Observa-se que a eficiência média de remoção (74%) está um pouco abaixo da registrada na literatura (75 a 85%) (von Sperling, 2002).

Procurou-se verificar a existência de melhores resultados de desempenho quando os sistemas trabalhavam numa faixa recomendada para a taxa de aplicação superficial, apesar de se reconhecer que a correlação entre eficiência de remoção e taxa de aplicação não é adequada, já que ambas contêm em si a concentração de DBO afluente. Buscou-se, também, identificar uma possível relação entre a eficiência de remoção e concentração de DBO efluente com o tempo de detenção hidráulica (TDH). A Figura 1 apresenta os resultados obtidos para as correlações da TAS com eficiência de remoção da DBO afluente e com concentração de DBO efluente. As correlações obtidas por estes mesmos parâmetros

com o TDH são apresentadas na Figura 2. As linhas vermelhas presentes nos gráficos de dispersão representam os valores usuais de TAS (150 a 300 kgDBO/ha.d) e TDH (15 a 45 dias), para lagoas primárias, encontrados na literatura técnica especializada (von Sperling, 2002).

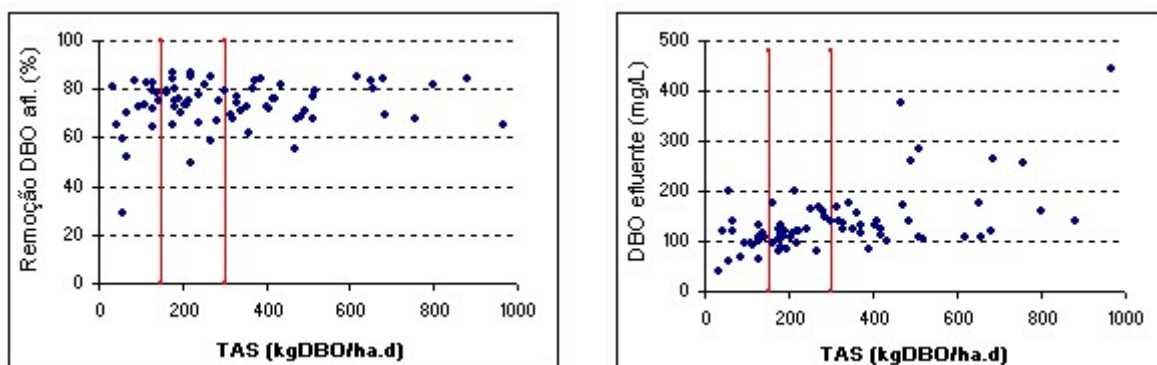


Figura 1 - Gráficos de correlações da TAS com eficiência de remoção de DBO afluyente e com concentração de DBO efluente para LF's primárias

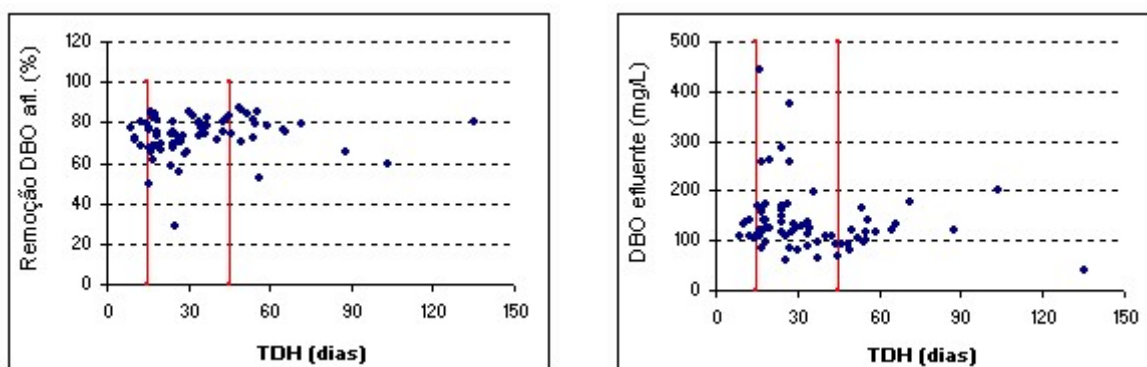


Figura 2 - Gráficos de correlações do TDH com eficiência de remoção de DBO afluyente e com concentração de DBO efluente para LF's primárias

Observa-se uma ausência de relação entre a eficiência de remoção de DBO e a taxa de aplicação superficial. Já a concentração de DBO efluente segue uma tendência de crescimento com a elevação da taxa de aplicação, como seria de se esperar. No entanto, em vários casos, valores bastante elevados de taxa de aplicação parecem não ter conduzido a uma deterioração expressiva da qualidade do efluente. Isto pode ser entendido pelo fato de grande parte da DBO efluente de lagoas ser constituída por algas, cuja presença pode não ter sido influenciada dentro dos limites de TAS avaliados. Este resultado indica que este sistema permite uma grande flexibilidade em termos de carga orgânica afluyente sem afetar de forma significativa seu desempenho.

Pela observação da Figura 2, não foi possível identificar uma relação entre a eficiência de remoção de DBO e o tempo de detenção hidráulica. Este resultado pode, também, ser atribuído ao fato de que a concentração de DBO efluente depende bastante da DBO particulada, que independe do TDH. Todavia na faixa avaliada os menores valores de TDH já são suficientes, na maioria dos casos, para a degradação da matéria orgânica nos níveis esperados para esta modalidade. Ressalta-se o grande número de lagoas trabalhando dentro da faixa recomendada para o tempo de detenção hidráulica.

Na Tabela 2 são apresentados os parâmetros de carga orgânica e hidráulica das 43 lagoas facultativas secundárias avaliadas.

Tabela 02 – Parâmetros de operação das lagoas facultativas secundárias

	Eficiência média LF (%)	Eficiência média global (%)	DBO ₅ média afluente (mg/L)	DBO ₅ média efluente (mg/L)	TAS LF (kg DBO ₅ /ha.d)	TDH LF (dias)	Nº médio de dados
Média Aritmética	48	82	464	81	221	16	11
Desvio Padrão	19	7	152	37	184	10	9
Mínimo	0	61	90	3	23	2	1
Máximo	97	97	763	232	840	59	55
Mediana	51	84	478	78	171	15	10
Coef. variação	0,40	0,08	0,33	0,45	0,84	0,62	0,80

O coeficiente de variação da eficiência das LF (0,40) foi bastante superior, indicando grande variabilidade no desempenho das lagoas facultativas nos sistemas australianos. Entretanto, quando se avalia a eficiência média total dos sistemas australianos (84%) e seu coeficiente de variação (0,08), verifica-se que o sistema como um todo é bastante estável. A eficiência média global é bem superior à obtida nos sistemas compostos apenas por lagoas facultativas primárias (74%).

Os resultados obtidos para as correlações da TAS e do TDH na lagoa facultativa com eficiência de remoção da DBO afluente e com concentração de DBO efluente são apresentados na Figura 3 e 4, respectivamente. As linhas vermelhas indicam os valores usuais de TAS (150 a 300 kgDBO/ha.d) e TDH (10 a 25 dias), para lagoas secundárias, encontrados na literatura técnica especializada (von Sperling, 2002).

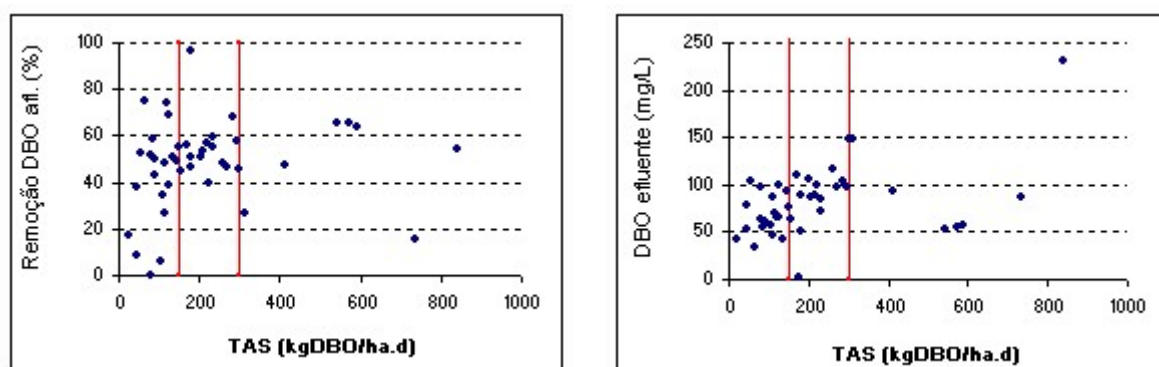


Figura 3 - Gráficos de correlações da TAS com eficiência de remoção de DBO afluente e com concentração de DBO efluente para LF's secundárias

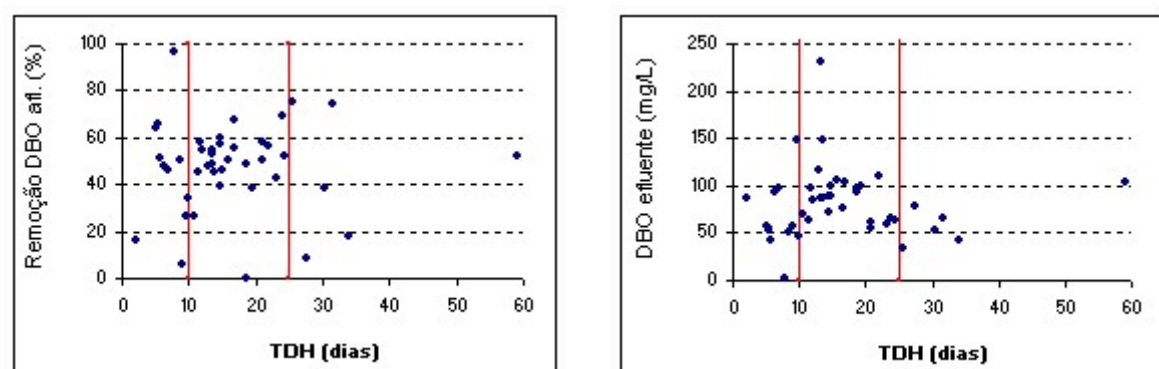


Figura 4 - Gráficos de correlações do TDH com eficiência de remoção de DBO afluente e com concentração de DBO efluente para LF's secundárias

Através destes resultados pode-se observar que a eficiência de remoção de DBO no caso das lagoas secundárias (apenas das lagoas secundárias, e não do sistema como um todo) é, como seria esperado, inferior ao obtido pelas lagoas primárias, pois grande parte da DBO afluente foi previamente removida na lagoa anaeróbia. Observa-se, também, uma sistemática situação de subcarga orgânica. Poucas lagoas excederam a taxa de aplicação máxima recomendada. Até os valores de TAS máximos recomendados, observa-se uma certa relação entre a concentração de DBO efluente e a taxa de aplicação superficial.

Também neste caso, lagoas facultativas atuando como lagoas secundárias, não foi possível identificar relação entre a eficiência e o tempo de detenção hidráulica.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, tem-se as seguintes conclusões:

- Observa-se que a eficiência média de remoção obtida pelas lagoas facultativas atuando como lagoas primárias, de 74%, está um pouco abaixo da registrada na literatura (75 a 85%).
- A eficiência de remoção de DBO no caso das lagoas secundárias (48%) é, como seria esperado, inferior ao obtido pelas lagoas primárias, pois grande parte da DBO afluente foi previamente removida na lagoa anaeróbia. A eficiência média global (82%), no entanto, é bem superior à obtida nos sistemas compostos apenas por lagoas facultativas primárias.
- O coeficiente de variação da eficiência apresentado pelas lagoas secundárias indica uma grande variabilidade no desempenho das lagoas facultativas nos sistemas australianos. Entretanto, quando se avalia a eficiência média total dos sistemas australianos (84%) e seu coeficiente de variação (0,08), verifica-se que o sistema como um todo é bastante estável.
- Observa-se uma ausência de relação entre a eficiência de remoção de DBO e a taxa de aplicação superficial, nos dois casos, quando as lagoas facultativas atuam como lagoas primárias ou como secundárias.
- Também para os dois tipos de lagoas, a concentração de DBO efluente segue uma tendência de crescimento com a elevação da taxa de aplicação, como seria de se esperar.
- Em vários casos, valores bastante elevados da TAS parecem não ter conduzido a uma deterioração expressiva da qualidade do efluente, provavelmente porque grande parte da DBO efluente de lagoas é constituída por algas, cuja presença pode não ter sido influenciada dentro dos limites de TAS avaliados. Este resultado pode indicar que sistemas de LF permitem uma grande flexibilidade em termos de carga orgânica afluente sem afetar de forma significativa seu desempenho.
- Não foi possível identificar uma relação entre a eficiência de remoção de DBO e o tempo de detenção hidráulica, mas na faixa avaliada os menores valores de TDH já são suficientes para a degradação da matéria orgânica nos níveis esperados para esta modalidade.
- Ressalta-se o grande número de lagoas trabalhando dentro da faixa recomendada para o tempo de detenção hidráulica, considerando-se as duas modalidades.
- A condição de subcarga ocorreu com maior frequência do que a condição de sobrecarga.
- Para determinados sistemas de tratamento, observou-se uma pequena influência das condições de carga (orgânica ou hidráulica) no desempenho das ETE's em termos de DBO (eficiência de remoção e concentração efluente).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Von Sperling, M. *Lagoas de estabilização*. Belo Horizonte. DESA/UFMG. 2ª ed. 2002.