

DESENVOLVIMENTO E OPERAÇÃO DE REATOR ANAERÓBIO DE MANTA DE LODO (UASB) NO TRATAMENTO DOS EFLUENTES DA SUINOCULTURA EM ESCALA LABORATORIAL

Development and operation of an upflow anaerobic sludge blanket reactor (UASB) treating liquid effluent from swine manure in laboratory scale

Cláudio Milton Montenegro Campos¹, Fernanda Ribeiro do Carmo², Cláudio Gouvêa Botelho³,
Claudionor Camilo da Costa⁴

RESUMO

A atividade suinícola vem, desde meados da década de 70, sendo uma das mais poluidoras atividades agroindustriais no Estado de Minas Gerais. Sendo assim, objetivou-se desenvolver um Reator Anaeróbico de Manta de Lodo (UASB-Upflow Anaerobic Sludge Blanket) visando tratar os dejetos produzidos com máxima eficiência dentro de um tempo e com custo reduzidos. Para tanto um experimento em escala laboratorial foi projetado e monitorado no Laboratório de Análise de Água do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (LAADeg), sendo composto por um Tanque de Acidificação e Equalização (TAE), um Reator Anaeróbico de Manta de Lodo e uma Lagoa Aerada Facultativa (LAF), o qual foi alimentado com fluxo contínuo. As análises físico-químicas realizadas foram: DQO, DBO₅, Sólidos Totais (Fixos e Voláteis), Temperatura, pH, Nitrogênio, Fósforo, Acidez e Alcalinidade Total. O sistema proporcionou eficiência de remoção média de 93% de DQO, 84% de DBO₅ e 85% de Sólidos Totais Voláteis, demonstrando adequada adaptação aos diversos tempos de detenção hidráulica adotados (55, 40, 30, 25, 18 e 15 horas). Os parâmetros adotados na partida do reator UASB foram: COV: 1,11kgDQO.m⁻³.d⁻¹, COB: 0,019 kgDBO₅.kgSVT⁻¹.d⁻¹ e TDH: 55h.

Termos para indexação: Sistemas de tratamento, dejetos de suínos; reator UASB.

ABSTRACT

The swine production, since 70th, is one of the most pollutant agro-industrial activities in the Minas Gerais State, Brazil. The objective of this research was to develop an Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor (UASB), aiming at treating the effluent generated within a maximum efficiency and minimum time and cost. Therefore, a lab-scale reactor was built up and monitored in the laboratory of Engineering Department at the Federal University of Lavras (UFLA). The system consisted of an Acidification and Equalization Tank (AET), an Upflow Anaerobic Sludge Blanket reactor (UASB), and an Aerated Facultative Pond (AFP). The system was fed continuously. The physical-chemical analyses carried out were: COD, BOD₅, Total Solids (Fixes and Volatile), temperature, pH, Nitrogen, Total Acidity and Alkalinity. The system showed, in terms of COD, BOD₅ and Total Volatile Solids a mean removal efficiency of 93, 84 and 85%, respectively, demonstrating a good performance. The hydraulic retention times applied were: 55, 40, 30, 25, 18 e 15 hours. The adopted parameters for the start-up of the UASB reactor were: Volumetric Organic Loading Rate (VOLR) of 1.11 kgDQO.m⁻³.d⁻¹, Biological Loading Rate: 0.019 kgBOD₅.kgTVS⁻¹.d⁻¹ and Hydraulic Retention Time (HRT) of 55hours.

Index terms: Treatment systems, swine manure, UASB reactor.

(Recebido para publicação em 16 de dezembro de 2002 e aprovado em 13 de agosto de 2004)

INTRODUÇÃO

O maior desafio do homem contemporâneo é compatibilizar produção e desenvolvimento dentro de uma filosofia auto-sustentável. Dentro deste novo contexto torna-se inadmissíveis atividades que degradem, sob qualquer aspecto, o ambiente.

O setor agroindustrial é, neste contexto, de extrema importância, e em especial a suinocultura, devido ao grande potencial poluidor dos dejetos produzidos. A atividade

suinícola vem sendo considerada como o segmento dos mais preocupantes devido ao aumento da produção que, no Brasil, passou de 26,5 milhões em 1993 para 37,7 milhões de cabeças, em 2001 (Fonte: ABIPECS, 2002).

Uma das maneiras de se tratar à água residuária gerada neste tipo de atividade é por meio da utilização do Reator Anaeróbico de Manta de Lodo (UASB), o qual pode ser construído e operado de forma a se minimizar os custos do tratamento com baixa produção de sólidos Carmo. Esse tipo de reator, como os demais sistemas anaeróbios,

¹Professor Adjunto, Ph.D., Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 – 37.200-000 – Lavras, MG – cmmcampos@ufla.br

²Bolsista PIBIC-CNPq – Departamento de Engenharia/DEG – Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 – 37.200-000 – Lavras, MG – nit_frc@ufla.br

³Professor Adjunto, M.Sc., Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 – 37.200-000 – Lavras, MG – claubote@ufla.br

⁴Doutorando, Departamento de Engenharia/DEG – Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 – 37.200-000 – Lavras, MG – cccosta@ufla.br

produz como subproduto o biogás, o qual pode ser utilizado como fonte de energia alternativa em motores de combustão interna. O lodo anaeróbio excedente pode ser utilizado como fertilizante e o líquido que sai do reator (efluente) pode ser aplicado ao solo para fertirrigação de culturas agrícolas.

Com este sistema de tratamento, há o potencial dos pequenos produtores rurais disporem de uma alternativa mais simples, com a possibilidade de redução dos custos por requisitarem pequenas áreas para o tratamento dos dejetos, diminuindo assim os problemas ambientais.

Fundamentos do processo da digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia é um processo biológico que, na ausência de oxigênio, bactérias facultativas ou estritamente anaeróbias degradam compostos orgânicos complexos, convertendo-os em gases metano (60 a 70%), dióxido de carbono (40 a 30%) e outros subprodutos mineralizados (SOUZA, 2001). Representa um sistema ecológico delicadamente balanceado, no qual cada microrganismo tem uma função essencial (METCALF & EDDY, 1995).

No Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB), o afluente entra pelo fundo e prossegue em fluxo ascendente (de baixo para cima), até o topo do Reator, atravessando três etapas: o leito de lodo, onde há grande concentração de biomassa ativa, logo após uma biomassa menos densa, denominada manta de lodo e finalmente passa por um separador de três fases, onde ocorre a separação dos sólidos em suspensão (lodo), do líquido e do biogás formado no tratamento (CHERNICHARO & CAMPOS, 1992). Grande parte da matéria orgânica biodegradável é convertida principalmente em biogás (CH_4 e CO_2), o qual, por se formar na célula bacteriana, tende a ficar preso à biomassa fazendo-a flotar (OLIVEIRA & FORESTI, 1998). Essa biomassa por se tornar menos densa, pelo aumento de volume (sólido e biogás), flota e ao se ascender encontra o separador de três fases, onde o lodo toca a parte inferior do decantador, liberando o biogás e permitindo assim que os sólidos (biomassa) sejam decantados. A estabilização da matéria orgânica ocorre nas zonas de reação denominadas leito e manta de lodo (CAMPOS, 1990).

Nesta pesquisa adotou-se o termo “dejetos” aos excrementos frescos, incluindo fezes e urina, mais o material de cama, restos de alimento, água e produtos de limpeza, utilizados para a lavagem dos confinamentos. A quantidade de resíduo produzido varia com vários fatores como: porte do animal, tipo de alimentação, quantidade de água ingerida, quantidade de água utilizada para a lavagem das

instalações, água da chuva, evaporação, estação do ano, entre outros (CAMPOS et al., 1999)

Levantamentos realizados pelo Serviço de Extensão Rural de Santa Catarina - UFF em 1999 mostram que apenas 10 a 15% dos produtores de suínos possuem sistemas de tratamento ou aproveitam os dejetos em alguma atividade agrícola, e mostram ainda que cerca de 85% das fontes d'água no meio rural das regiões produtoras estão contaminadas por coliformes fecais oriundos do lançamento de dejetos sem qualquer tratamento em corpos hídricos receptores.

Até a década de 70 os resíduos das suinoculturas não constituíam problema grave, pois o número de animais era bem menor e o destino dos dejetos era o solo, com a finalidade de adubação orgânica. No entanto, com o aumento do consumo de carne suína, os dejetos produzidos e o manejo inadequado destes tornaram-se problemas ambientais significativos.

Este processo apresenta inúmeras vantagens em relação aos processos convencionais, principalmente em países de clima quente, como o Brasil. O sistema é compacto, com pequena demanda de área e alta produção de biogás (CARMO et al., 2001).

Objetivou-se com esta pesquisa avaliar e operar um sistema de tratamento composto de um tanque de acidificação, um Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB) e uma lagoa aerada facultativa, em escala laboratorial, visando o tratamento de dejetos de suínos.

MATERIAL E MÉTODOS

1) Aparato Experimental

O sistema de tratamento era composto pelas seguintes unidades:

- Tanque de Acidificação e Equalização (TAE): Onde ocorreram as primeiras etapas da digestão anaeróbia (hidrolização e acidificação). Recipiente de polietileno, de volume útil de 38 litros.

- Sistema de Alimentação: Foi realizado por uma bomba de deslocamento positivo, marca PROMINENT, modelo GALA 1601, cuja faixa de vazão variou de 0,14 a 1,11L.h⁻¹.

- Sistema de Aquecimento: Foi instalado com a finalidade de aquecer o afluente do reator UASB mesofilicamente (temperatura média 30°C). Foi construído em vidro, com volume útil de 7,9 litros, tendo no seu interior uma serpentina de cobre em forma de espiral, por onde passava o efluente. A temperatura foi mantida com o auxílio de um termostato.

- Reator (UASB): Foi construído em vidro com volume útil de 11,7 litros e com separador trifásico em forma piramidal e defletores ao redor do mesmo com ângulo de 45°. O nível do líquido dentro do separador foi mantido por meio do equalizador de pressão. A longo do mesmo, foram instalados registros amostradores equidistantes de cinco centímetros, com a finalidade de caracterizar o perfil do lodo, respeitando-se os critérios utilizados em projetos convencionais.

- Lagoa Aerada Facultativa (LAF): Foi construída em vidro, com volume útil de 16 litros. Ao longo de sua extensão foram instaladas mangueiras com diâmetro interno de 0,5 cm, onde foram realizadas pequenas perfurações com espaçamento de aproximadamente 0,5 cm. Por essa mangueira era injetado ar para promover a aeração por difusão do mesmo. Esta unidade foi instalada para polimento do efluente do reator UASB.

- Sistema de Armazenamento do Biogás (gasômetro): De vidro, contendo três registros de agulha de latão, com volume de 16 litros. O processo de medição e acumulação de gás foi medição por deslocamento líquido.

O desenho esquemático do sistema de tratamento esta representado pela Figura 1.

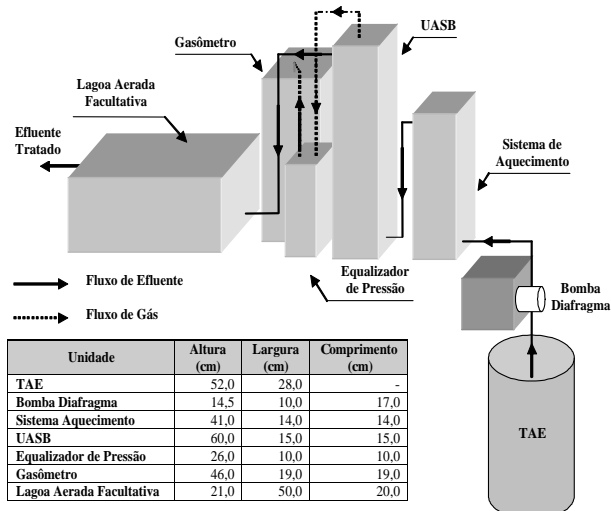


FIGURA 1 – Desenho esquemático do sistema de tratamento e suas principais medidas.

2) Localização

O experimento foi conduzido no Laboratório de Análise de Água do Departamento de Engenharia (LAADeg) da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

3) Caracterização da Água Residuária

As amostras foram coletadas no setor de Zootecnia (DZO) da Universidade Federal de Lavras (UFLA). O efluente coletado era composto, basicamente, por fezes, urina, material de cama e água de limpeza do confinamento, após atingirem canalização única proveniente dos diversos módulos da granja (ciclo completo, do nascimento ao abate). A alimentação do sistema foi realizada por meio de fluxo contínuo. As recargas eram realizadas com cerca de 40 litros dos dejetos, o qual era introduzido no TAE, onde já havia material de recargas anteriores a fim de se garantir uma real representatividade do mesmo.

4) Inóculo

Foi dada partida “start-up” utilizando-se inóculo de lodo anaeróbio granular de um outro experimento que operava também com dejetos de suínos. O volume introduzido foi de 7,5 litros. O lodo possuía 35.316 mg. L⁻¹ de sólidos totais voláteis, o que determinou a carga orgânica biológica inicial de 0,019 kgDBO₅.kgSVT.d⁻¹. A vazão utilizada na partida foi de 0,311 L.h⁻¹, resultando em 55 horas de tempo de detenção hidráulica.

5) Monitoramento

Os parâmetros físicos, químicos e bioquímicos analisados foram: pH, temperatura, demanda química de oxigênio (DQO_T), demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), acidez total e alcalinidade total. Os parâmetros operacionais avaliados foram vazão e medição de volume de biogás. Todas as análises foram efetuadas no Laboratório de Análise de Água do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (LAAGG/UFLA), seguindo a metodologia apresentada Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1998).

6) Protocolo Operacional

A frequência da realização das análises físico-químicas foram determinadas de acordo com o estágio em que se encontrava o experimento. Algumas delas eram realizadas diariamente e outras a cada três dias, a fim de se obter dados suficientes estatisticamente.

O experimento foi dividido em seis estágios com tempo de detenção hidráulica diferentes. O critério utilizado para a mudança destes foi a estabilidade do sistema na remoção da carga poluidora. Na Tabela 1, encontram-se os valores referentes aos estágios e suas respectivas durações.

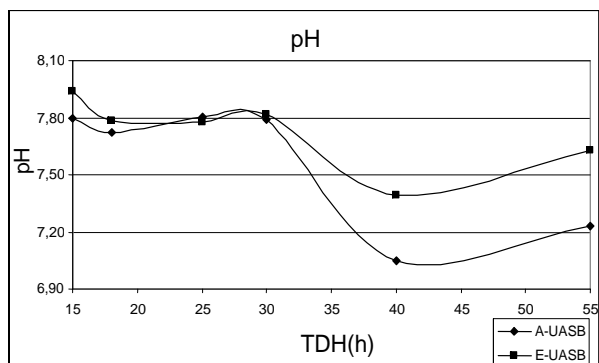
TABELA 1 – Estágios do experimento e sua respectiva duração.

Tempo de Detenção Hidráulica (horas)	Duração (dias)
55	30
40	16
30	69
25	68
18	33
15	27

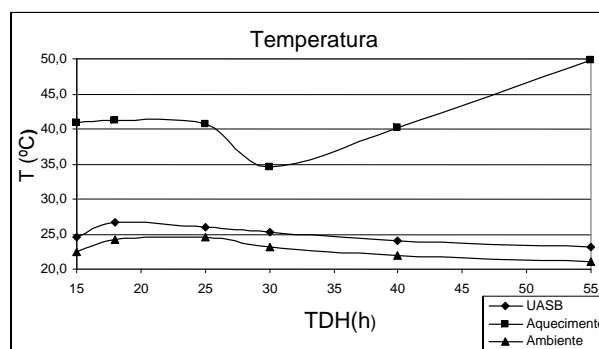
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante os 250 dias de operação do sistema de tratamento em escala laboratorial, foram analisados os seguintes aspectos operacionais.

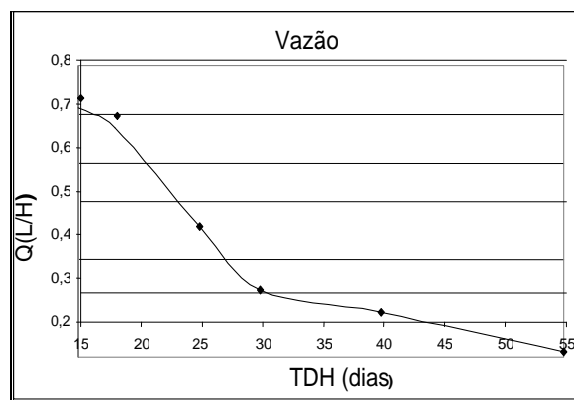
Os valores médios de pH observados no TAE, no reator UASB e na LAF foram: 7,6; 7,7 e 7,3, respectivamente. Nota-se ainda que houve poucas variações, o que contribuiu positivamente para a aclimatização dos microrganismos anaeróbios, cuja faixa varia de 5,0 a 7,4. O reator UASB trabalhou na faixa de 7,7, demonstrando boa condição de tamponamento, que pode ser entendida como a capacidade do meio em neutralizar ácidos, ou seja, resistir a variações de pH. Isto revela a estabilidade do sistema e demonstra que o mesmo é propenso a um menor custo de monitoramento, como pode ser observado na Figura 2.

**FIGURA 2** – Variação das médias do pH no reator UASB em cada um dos TDH's estudados.

Os valores médios de temperatura observados no efluente do TAE, do reator UASB e da LAF foram: 28,9, 25,0 e 24,0°C, respectivamente. A temperatura do efluente do TAE, correspondente ao afluente do reator UASB, foi maior porque o mesmo passou pelo sistema de aquecimento. A temperatura média ambiente foi de 22,7°C e para se obter uma temperatura ótima no reator UASB, o sistema de aquecimento trabalhou na temperatura média de 41,2°C. As variações de temperatura ambiente, no reator UASB e no sistema de aquecimento podem ser visualizados na Figura 3.

**FIGURA 3** – Variação das médias de temperatura no reator, no sistema de aquecimento e no ambiente, em cada um dos TDH's estudados.

A vazão do sistema foi determinada tendo-se como base o tempo de detenção hidráulico adotado. A vazão mínima foi de 0,21 L.h⁻¹, na partida do reator, resultando num TDH mínimo de 55,8 horas e a máxima de 0,71 L.h⁻¹, resultando num TDH de 16,5 horas, com valor médio de 0,45 L.h⁻¹. Tais valores podem ser observados na Figura 4.

**FIGURA 4** – Variação da vazão média do sistema.

No que diz respeito a CHV, Chernicharo (1997) recomenda, para esgotos domésticos, valores utilizados para o tratamento dos esgotos domésticos, com uma CHV não superior a $5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ correspondendo a um TDH mínimo de 4,8 horas. Valores de TDH menores podem prejudicar o funcionamento do sistema no tratamento de esgotos domésticos devido, principalmente, a perda excessiva de biomassa, diminuição do grau de estabilização dos sólidos e possibilidade de falhas no sistema. Deve-se considerar, nestes casos que o tempo de permanência da biomassa não seja inferior ao de crescimento de bactérias. Os valores médios da CHV no TAE, Reator UASB e na LAF foram de 0,0096, 0,0336 e $0,024 \text{ L} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, respectivamente. O valor tão baixo de CHV foi devido à alta concentração de matéria orgânica afluyente ao reator, sendo a COB considerada como fator primordial para se manter o equilíbrio no sistema.

As variações da DQO observadas foram devidas às características do efluente, visto que não foi utilizada nenhuma padronização quanto à quantidade de água e produtos utilizados para limpeza do confinamento (CARMO et al., 2002). Os valores médios da DQO no afluyente do TAE, afluyente do reator UASB e afluyente da LAF foram 2297; 2065, e $256 \text{ mgDQO} \cdot \text{L}^{-1}$, respectivamente, os quais estão representados na Figura 5.

As eficiências médias na remoção de DQO nas unidades: TAE, reator UASB e LAF foram de: 16, 89 e 34%, respectivamente. O sistema apresentou eficiência de 93%.

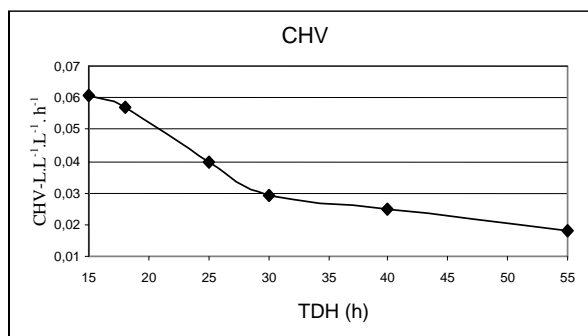


FIGURA 5 – Variação média da demanda química de oxigênio afluyente e efluente do reator UASB.

Define-se como carga orgânica volumétrica (COV) a quantidade de matéria orgânica aplicada por volume de unidade específica. As variações da COV podem ser observadas na Figura 6. As grandes oscilações na COV são devidas à elevada quantidade de sólidos no sistema.

Os valores médios da COV no TAE, no reator UASB e na LAF foram 1,9; 1,6 e $0,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$, respectivamente. A COV aplicada no reator UASB variou de 1,1 a $4,6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$, entre a partida e regime estacionário.

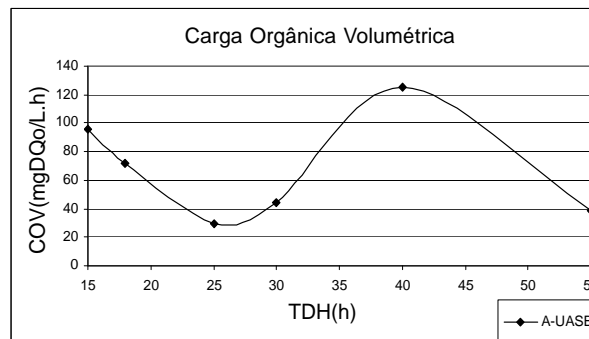


FIGURA 6 – Variação média da carga orgânica volumétrica média do reator UASB.

As variações médias da DBO_5 estão representadas na Figura 7. A DBO_5 afluyente ao reator UASB apresentou grandes variações, certamente devido as oscilações da concentração do efluente suinícola coletado e sua degradação no TAE. O valor médio da DBO_5 afluyente do reator foi $392 \text{ mgDBO} \cdot \text{L}^{-1}$, e o valor médio da DBO_5 efluente foi de $61 \text{ mgDBO} \cdot \text{L}^{-1}$, resultando numa eficiência de 78% de remoção.

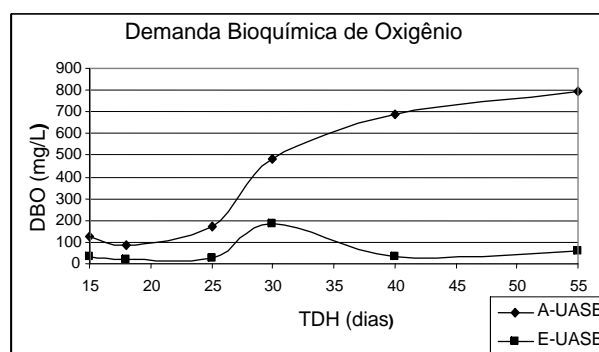


FIGURA 7 – Variação média da demanda bioquímica de oxigênio afluyente e efluente do reator UASB.

As concentrações de ST afluyente e efluente do TAE foram de 2.490 e $1.660 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, respectivamente, com uma eficiência média de remoção nesta unidade de 33%, devido a decantação de sólidos que sedimentaram no fundo do tanque. Os valores de STF afluyente e efluente ao TAE

foram de 690 e 810 mg.L⁻¹, respectivamente. Os valores de STV afluente e efluente ao TAE foram de 1800 e 850 mg.L⁻¹, com uma eficiência média de 53%.

No efluente do reator UASB, as concentrações médias de ST, STF e STV foram respectivamente 718; 470 e 250 mg.L⁻¹, com eficiência média de 57, 42 e 71%, como observado na Figura 8.

As concentrações médias de ST, STF e STV no efluente da LAF foram de 760; 490 e 270 mg.L⁻¹, respectivamente, não apresentando eficiência devido ao arraste de sólidos causados pelo fluxo ascendente das bolhas de ar.

O sistema como um todo apresentou eficiência média na remoção de ST, STF e STV de 69, 29 e 85%, respectivamente.

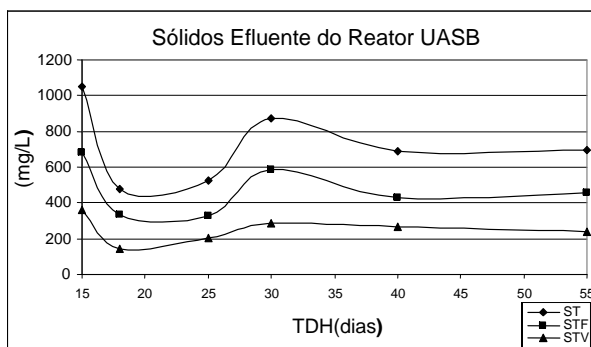


FIGURA 8 – Variação média dos sólidos efluentes do reator UASB.

O valor médio da alcalinidade no afluente do reator UASB foi de 811 mgCaCO₃.L⁻¹ e no efluente foi de 815 mgCaCO₃.L⁻¹, comprovando boa capacidade de tamponamento do reator. Tais valores podem ser observados na Figura 9.

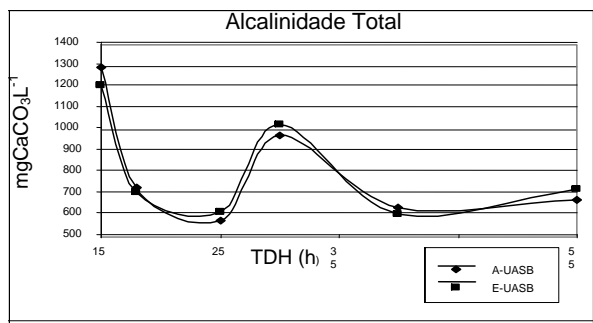


FIGURA 9 – Variação da alcalinidade total média afluente e efluente do reator UASB.

Na fase da digestão anaeróbia denominada “acidogênese”, os ácidos graxos voláteis, álcoois e compostos minerais são formados, como produtos intermediários, durante a degradação dos carboidratos, proteínas e lipídeos. Estes ácidos representam os compostos a partir dos quais a maior parte do metano é produzida, por meio de bactérias metanogênicas (FORESTI et al., 1999). O valor médio da acidez total no afluente e efluente do reator UASB foi de 60 e 56 mg.L⁻¹, respectivamente. As variações da acidez total podem ser observadas na Figura 10.

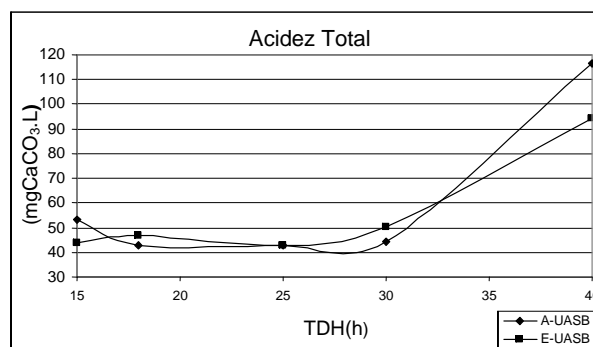


FIGURA 10 – Variação da acidez total média afluente e efluente do reator UASB.

A Carga Orgânica Biológica (COB) retrata a carga orgânica aplicada à biomassa presente no reator. O valor médio da COB afluente ao reator UASB foi de 0,89 kgDBO.kgSVT⁻¹.d⁻¹, como pode ser observado na Figura 11.

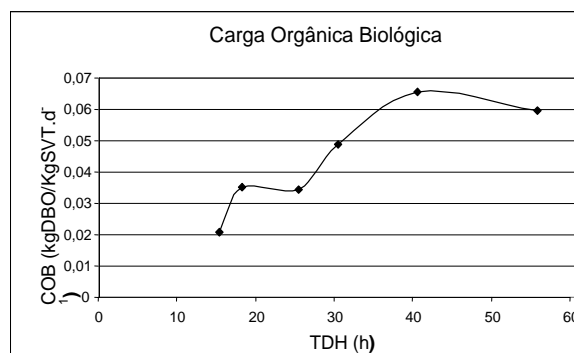


FIGURA 11 – Variação média da carga orgânica biológica afluente do reator UASB.

Os valores médios da concentração de nitrogênio no efluente do TAE, do UASB e da LAF foram de 259; 258 e 151 mgN.L⁻¹, respectivamente. Os teores médios de fósforo encontrados no efluente do TAE, do UASB e da LAF foram de 864, 523 e 548 mg P.L⁻¹, respectivamente. As variações da concentração de nitrogênio e fósforo podem ser observadas nas Figuras 12 e 13, respectivamente.

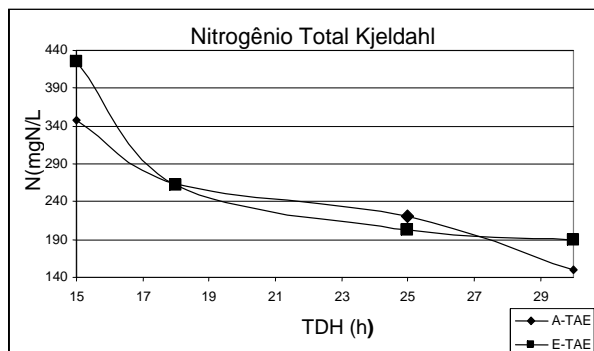


FIGURA 12 – Variação média de nitrogênio total Kjeldahl afluente e efluente do reator UASB.

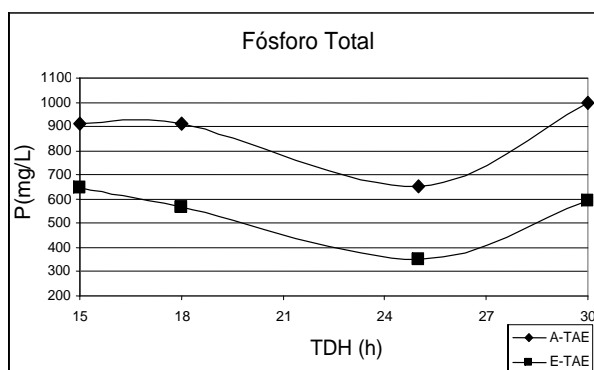


FIGURA 13 – Variação média de fósforo total afluente e efluente do reator UASB.

A produção teórica de metano em função da DBO₅ solúvel removida, segundo Metcalf & Eddy (1995) pode ser estimada pela equação $0,35 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \cdot \text{kg DBO}_5^{-1} \text{ removida}$, à pressão de 1 atm. e temperatura de 20°C, sendo a altitude do campus da UFLA de 948 m e a temperatura média local de 26°C, foi utilizada na correção da temperatura e pressão a equação barométrica (1) e a equação de um gás ideal (2). O valor mínimo da produção de metano foi de $0,034 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \text{ kg DBO}_5^{-1} \text{ removida}$ e o valor máximo foi de $0,37 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \text{ kg DBO}_5^{-1} \text{ removida}$, tendo como valor médio $0,17 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \text{ kg DBO}_5^{-1} \text{ removida}$.

$$P = P_0 \cdot e^{\frac{-M \cdot g \cdot z}{R \cdot T}} \quad (1)$$

Sendo:

P_0 = pressão atmosférica ao nível do mar (atm),
 M = massa molar média do ar atmosférico (0,029 kg/mol),
 g = constante gravitacional (m/s²),
 z = altitude local (m),
 R = 8,31441 Pa.m³/mol.K),
 T = temperatura (K)

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (2)$$

Sendo:

P_1 = pressão atmosférica inicial (atm.),
 V_1 = volume inicial (L de CH₄),
 T_1 = temperatura inicial (K),
 P_2 = pressão atmosférica final (atm.),
 V_2 = volume final (L de CH₄),
 T_2 = temperatura final (K)

CONCLUSÃO

O sistema adotado demonstrou alta eficiência em escala laboratorial, especialmente na remoção de poluentes orgânicos presentes neste tipo de efluente, com valores atingindo uma remoção da ordem de 93% de DQO_T, 84% de DBO₅ e 85% de SVT, confirmando assim a sua viabilidade no controle deste tipo de poluição hídrica. Embora as amostras de água residuária utilizadas no sistema de tratamento terem apresentado condições diferenciadas das observadas na literatura, para as condições de escala plena, os parâmetros aplicados ao sistema laboratorial poderão servir de base para o escalonamento de sistemas de tratamento dos efluentes da atividade suinícola, respeitando, evidentemente as condições inerentes a cada caso específico.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (DEG/UFLA) pelo uso de suas dependências físicas e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pela concessão de bolsas. O projeto foi desenvolvido no âmbito do convênio celebrado entre a UFLA e a empresa de base tecnológica GCT - Global Ciência e Tecnologia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PRODUTORA E EXPORTADORA DE CARNE SUÍNA. **ABIPECS**. São Paulo, 2002. Disponível em: <<http://www.abipecs.com.br/histprodução.aps>>. Acesso em: 10 mar. 2002.
- CAMPOS, C. M. M. **Physical aspects affecting granulation in UASB Reactors**. 1990. 425 f. Thesis (PhD) - Universidade de Newcastle upon Tyne, Newcastle, 1990.
- CAMPOS, C. M. M.; HARDOIM, P. C.; BOTELHO, C. G.; SEVERO, J. C. A. Programa computacional para simulação e dimensionamento de sistemas de tratamento de dejetos de suínos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA (CONBEA), 28., 1999, Pelotas, RS. **Anais...** Pelotas: SBEA, 1999. CD-ROM.
- CARMO, F. R.; CAMPOS, C. M. M.; BOTELHO, C. G. Desenvolvimento e operação de reator anaeróbio de manta de lodo (RAMAL/UASB), utilizando materiais alternativos. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS, 14., 2001, Lavras, MG. **Anais...** Lavras: UFLA, 2001. p. 261.
- CARMO, F. R.; CAMPOS, C. M. M.; BOTELHO, C. G. Desenvolvimento e operação de reator anaeróbio de manta de lodo (RAMAL/UASB), utilizando materiais alternativos. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS, 15., 2002, Lavras, MG. **Anais...** Lavras: UFLA, 2002. p. 157.
- CHERNICHARO, C. A. L.; CAMPOS, C. M. M. **Curso de tratamento anaeróbio de efluentes líquidos**. Belo Horizonte: ABES, 1992. 101 p.
- CHERNICHARO, C. A. de L. **Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: UFMG, 1997. 246 p.
- FORESTI, E.; FLORÊNCIO, L.; HAANDEL, A. van; ZAIAT, M.; CAVALCANTI, P. F. F. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. cap. 2, p. 29-52.
- METCALF; EDDY. **Wastewater engineering treatment disposal reuse**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1995. 1334 p.
- OLIVEIRA, R. A.; FORESTI, E. Produção de biogás em reatores anaeróbios de fluxo ascendentes com manta de lodo (UASB) tratando água residuária de suinocultura. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA (CONBEA), 17., 1998, Poços de Caldas, MG. **Anais...** Poços de Caldas: [s.n.], 1998. v. 4, p. 156-158.
- SOUZA, C. F. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos: obtenção de dados e aplicação no desenvolvimento de um modelo dinâmico de simulação da produção de biogás**. 2001. 140 f. Tese (Doutorado em Produção Animal) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.
- STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. **American Public Health Association**. 20. ed. New York, 1998.