



Avaliação do desempenho físico-químico de um reator UASB construído em escala piloto na remoção de poluentes de efluentes de suinocultura

(doi:10.4136/ambi-agua.121)

Erlon Lopes Pereira¹; Cláudio Milton Montenegro Campos²; Fabrício Moterani³

Universidade Federal de Lavras - UFLA

E-mail: {¹erlonlopes, ²cmmcampos, ³fabricio.moterani}@gmail.com

RESUMO

Grande atenção tem sido dada pelos órgãos de fiscalização ambiental quanto à produção confinada de suínos, devido ao elevado potencial poluidor e problemas de saúde pública relacionados com a geração de águas residuárias desse tipo de atividade. Por isso sistemas anaeróbios de tratamento, como o pesquisado neste trabalho, vêm se tornando merecedores de atenção na produção em grande escala. Neste trabalho objetivou-se avaliar o comportamento físico-químico do reator UASB operando com Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) de 9,7 horas, Carga hidráulica (CH) de $2,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} \text{ d}^{-1}$, Carga Orgânica Volumétrica (COV) de $1,77 \text{ kg m}^3 \text{ m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ e produção média de biogás, medida por meio de gasômetro, $437,08 \text{ L d}^{-1}$. Encontraram-se nessa unidade, para o afluente e efluente, respectivamente, concentrações de alcalinidade 1383 mg L^{-1} , 1442 mg L^{-1} , relação AI/AP de 1,5 e 1,7; concentração de $\text{DQO}_{\text{total}}$ de 2705 mg L^{-1} e 1849 mg L^{-1} , concentração de DBO_5 de 707 mg L^{-1} e 317 mg L^{-1} , concentração de Fósforo total $1,07 \text{ mg L}^{-1}$ e $1,11 \text{ mg L}^{-1}$ e concentração de Nitrogênio Total de Kjeldahl 69 mg L^{-1} e 63 mg L^{-1} , relação $\text{DQO}_{\text{total}}/\text{DBO}_5$ de 0,41 e eficiência remoção de sólidos totais, fixos e voláteis de 40, 28, 48%, respectivamente. O sistema de tratamento apresentou bons resultados, por conseguinte os parâmetros operacionais praticados ao longo da pesquisa poderão ser também empregados para sistemas em escala plena.

Palavras-chave: Biogás; DBO_5 ; $\text{DQO}_{\text{total}}$; Alcalinidade de Ripley; remoção de sólidos.

Evaluation of physical-chemical performance of an UASB reactor in removing pollutants of pig wastewater

ABSTRACT

Attention has been given by governmental agencies concerning the swine production in confined areas, due to the pollution potential and problems related to epidemiology. Thus, anaerobic treatment system, similar to the one applied in this research, has become very important and raised interest for large scale production and field application. The purpose of this research was to evaluate the UASB reactor behavior considering a hydraulic retention time (HRT) of 9.7 hours, the hydraulic loading rate (HLR) of $2.5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} \text{ d}^{-1}$, Organic loading rate (OLR) of $1.77 \text{ kg m}^3 \text{ m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ and the average biogas production of 437.08 L d^{-1} . It was found in this work, that the alkalinity in the affluent and effluent were $1,383 \text{ mg L}^{-1}$ and $1,442 \text{ mg L}^{-1}$, respectively. The Ripley alkalinity in the affluent and effluent presented a relation of IA/PA of 1,5 e 1,7, respectively. The $\text{COD}_{\text{total}}$ concentration in the affluent and effluent was $2,705 \text{ mg L}^{-1}$ and $1,849 \text{ mg L}^{-1}$, respectively. The BOD_5 concentration in the affluent and effluent was 707 mg L^{-1} and 317 mg L^{-1} , respectively. The total phosphorus concentration was 1.07 mg L^{-1} and 1.11 mg L^{-1} and the concentration of total Kjeldahl nitrogen was 69 mg L^{-1} and 63 mg L^{-1} , respectively. The $\text{COD}_{\text{total}}/\text{BOD}_5$ relation was 0.41 and the efficiency of total,

fix and volatile solids removal was 40%, 28%, 48%, respectively. The treatment system presented a good performance and therefore the operational parameters applied could be also useful for large scale systems.

Keywords: Biogas; BOD₅; COD_{total}; Ripley alkalinity; Solids removal.

1. INTRODUÇÃO

A suinocultura no Brasil é atividade predominante de pequenas propriedades rurais. Cerca de 81,7% dos suínos são criados em unidades de até 100 hectares. Essa atividade se encontra presente em 46,5% das 5,8 milhões de propriedades existentes no país, emprega mão-de-obra tipicamente familiar e constitui uma importante fonte de renda e de estabilidade social.

O sistema de produção suinícola utiliza grande quantidade de água para lavagem, abastecimento de bebedouros e, na maioria das vezes, em abates e higienização do processo, gerando um resíduo rico em matéria orgânica (Lourenço e Campos, 2009). Devido à maior praticidade e muitas vezes à falta de conscientização ambiental, esse resíduo é despejado sem nenhum tratamento em corpos de água. Tais recursos hídricos são utilizados pela população do meio rural em atividades como pesca, lazer e consumo, transmitindo aos usuários, patologias que podem levar a morte (Rocha et al., 2006).

As doenças relacionadas à água e que afetam a saúde do homem são muito comuns nas áreas rurais dos países em desenvolvimento. A incidência dessas doenças depende do clima, da geografia, da cultura, dos hábitos sanitários e, certamente, da quantidade e qualidade da água utilizada no abastecimento local, além dos métodos de tratamento e deposição de seus dejetos (Roesler e Cescobatk, 2003).

A falta de tratamento de dejetos resultantes da criação de suínos, em escala industrial, está se transformando na maior fonte poluidora de mananciais de água no Brasil, onde rios e lagos contaminados podem provocar inúmeras doenças, tais como: verminoses, alergias, hepatites, hipertensão, câncer de estômago e esôfago, além de trazer desconforto à população com a proliferação de moscas, borrachudos, mosquitos, erosão do solo e mau cheiro (Rocha et al., 2006). Os problemas epidemiológicos constatados no meio rural estão relacionados com os agentes causadores de infecção dentro das propriedades. A prevenção contra agentes relacionados a zoonoses ou outros riscos sanitários, podem ser evitados por meio do tratamento da água residuária.

Um evento significativo na área do gerenciamento de efluentes líquidos foi a Federal Water Pollution Control Act Amendments de 1972 (Lei Pública 92-500) normalmente denominada de Clean Water Act (CWA). Antes desta data, não havia objetivos específicos quanto ao controle de poluição da água. A CWA não somente estabeleceu objetivo e metas (restabelecer e manter a integridade química, física e biológica das águas), mas também marcou uma mudança na filosofia do controle de poluição das águas. Foi decretado na CWA que a qualidade das águas tinha que ser melhorada pela imposição de limitações específicas nos efluentes. O programa NPDES (National Pollution Discharge Elimination System) foi estabelecido, baseado num mínimo de tecnologia que cada ponto de descarga tinha que cumprir. No Brasil, a Resolução no 357/2005 do CONAMA classifica os corpos d'água, estabelece os padrões de qualidade das águas e estabelece os padrões de lançamento de efluentes. Os Estados podem legislar sobre o assunto, ressalvando-se que a Legislação Estadual pode ser mais restritiva que a Legislação Federal.

Contudo, devido ao contexto ecológico, social e jurídico que se encontra no Brasil, surgiu a necessidade de estudos na área de tratamento de efluentes com ênfase na utilização de reatores anaeróbios, na remoção de cargas poluidoras, que são vetores de diversas

patologias, eutrofizam recursos hídricos diminuindo a quantidade de águas utilizáveis para abastecimento.

No entanto, para desenvolvimento de tais tecnologias, há a necessidade de conhecer os comportamentos físico-químico, biológico e hidráulico desses bioprocessos, que além de ajudarem no saneamento, produzem como resíduo final biogás e fertilizante, que podem ser usados como fonte de energia (Campos et al., 2005) e adubo na fertirrigação (Souza et al., 2009), respectivamente.

Este trabalho objetivou avaliar o comportamento físico-químico e a potencialidade de remoção de cargas do reator UASB, uma das unidades do sistema de tratamento de efluentes de suinocultura, construído de forma inovadora, ou seja, diferente dos encontrados em Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs).

2. Material e Métodos

O experimento foi constituído por um sistema de tratamento de efluentes situado no Setor de Suinocultura do Departamento de Zootecnia. As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Análises de Água (LADEG) no Setor de Água e Solo do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras em Minas Gerais.

O sistema foi composto por (Figura 1): caixa de areia (CRA), peneira estática (PE), tanque de acidificação e equalização (TAE), reator anaeróbio compartimentado (RAC), reator UASB e um decantador (caixa de 3000 litros).

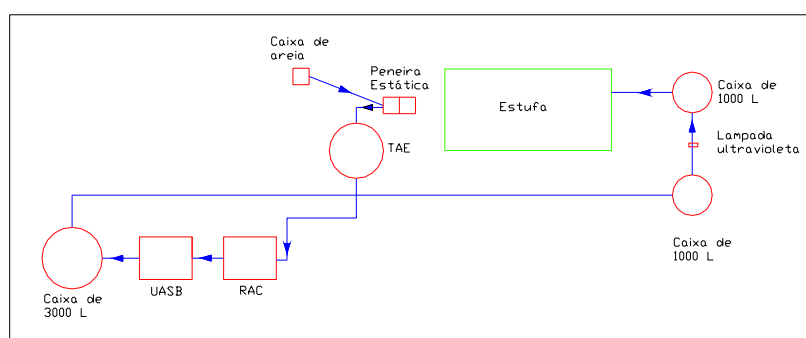


Figura 1. Esquema do sistema de tratamento e reaproveitamento de efluentes de suinocultura.

A vazão afluyente era medida por um vertedouro triangular do tipo Thompson. Após passar pela CRA, o afluyente era encaminhado para a PE. O afluyente após ter passado pela peneira era direcionado ao TAE com volume de 8500 litros e, em seguida, bombeado para o sistema de tratamento (RAC e UASB), por meio de uma bomba, Netzsch, tipo Nemo. O RAC era composto por três câmaras C1, C2 e C3 com volumes respectivos, de: 1,72 m³, 2,12 m³ e 2,24 m³. Esse reator foi construído de tijolos com argamassa extraforte e revestido internamente com manta asfáltica e, posteriormente, impermeabilizado com fibra de vidro para aumentar ainda mais a estanqueidade. O fluxo ascendente em cada compartimento era equalizado por meio de calhas niveladas, construídas em fibra de vidro com vários vertedouros triangulares de Thompson, proporcionando fluxo homogêneo em cada um dos compartimentos. Para acompanhar o perfil de lodo de cada câmara do RAC foram instalados em cada uma delas quatro pórticos amostradores, denominados: T1, T2, T3 e T4.

Em seguida, o efluente do RAC era encaminhado para o reator UASB, com volume útil de 3.815 litros. Essa unidade experimental foi construída como o RAC.

Na parte superior do reator foi instalado o separador trifásico feito de materiais alternativos, utilizando-se meia manilha construída de concreto vibrado, com formato

semicircular ($\varphi = 50$ cm), por meio da qual o biogás produzido era coletado e conduzido por tubos PVC de $\frac{1}{2}$ " ao equalizador de pressão. O separador trifásico exercia também a função de defletor de sólidos. Esse separador é uma novidade na área de tratamento de efluentes, pois o formato da manilha é parabólico, fugindo do padrão triangular adotado nas construções de reatores utilizados em estações de tratamento de esgoto e efluentes agroindustriais.

Para a realização da amostragem do perfil do lodo, foram instalados, na parede lateral do reator, cinco amostradores (A_1 , A_2 , A_3 , A_4 e A_5) de baixo para cima, distribuídos de maneira uniforme ao longo da altura deste, sendo o último localizado a 1,05 m do chão.

Após passar pelo reator UASB, o efluente era encaminhado por fluxo contínuo a um decantador, encerrando o processo de tratamento.

2.1. Partida (start – up)

A partida do sistema foi dada sem a inoculação da biomassa, utilizando parâmetros de sedimentação estudados por Costa (2007). No início da pesquisa, nivelou-se o lodo do RAC e do UASB, deixando-os na altura do último amostrador a 1,75 e 1,05 m do chão, respectivamente. Após intervalos de 5 dias, retirava-se o excedente em relação ao nível da última torneira, com a finalidade de controlar o crescimento do lodo, tal procedimento foi realizado em todos os compartimentos do RAC. No reator UASB não foi possível, após o primeiro nivelamento, a continuação do procedimento como feito no RAC, devido à alta velocidade ascensional do efluente no reator, que impediu a separação do lodo e efluente.

2.2. Monitoramento físico-químico e operacional

Os parâmetros físico-químicos analisados foram: pH, temperatura, demanda química de oxigênio (DQO_{total}), demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5), acidez total, alcalinidade de Ripley, sólidos totais, fixos e voláteis do efluente, NTK (Nitrogênio Total de Kjeldahl), fósforo total. Todas as análises foram efetuadas seguindo a metodologia apresentada pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998).

Os parâmetros operacionais avaliados foram: vazão (pelo método gravimétrico), Tempo de Detenção Hidráulica; Carga Hidráulica; Carga Orgânica Volumétrica; Carga Orgânica Biológica e medição da produção de biogás, no entanto, não é nosso objetivo descrevê-los neste trabalho.

Para o controle das temperaturas máximas, mínimas e médias, bem como da umidade local foi utilizado um termo-higrômetro Incontem, instalado ao lado do UASB.

2.3. Condições de operação do reator

O reator UASB operou com temperatura média do lodo de 23°C , temperatura média do efluente de 22°C e a temperatura média local era de 21°C , tendo como máxima e mínima local 28 e 16°C , respectivamente. A umidade média foi de 75% no horário das coletas, máxima de 96%, e mínima de 31%. O reator UASB operou com Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) de 9,7 horas, Carga hidráulica (CH) de $2,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} \text{ d}^{-1}$, Carga Orgânica Volumétrica (COV) de $1,77 \text{ kg m}^3 \text{ m}^{-3} \text{ d}^{-1}$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. pH, Alcalinidade e Acidez

Esses três fatores ambientais estão intimamente relacionados entre si, sendo igualmente importantes para o controle e operação adequada dos processos anaeróbios, pois, valores baixos de pH podem inibir por completo as bactérias formadoras de metano (archaeas metanogênicas) (Aquino e Chernicharo, 2005).

A água residuária, antes de chegar ao UASB, passou por duas outras unidades de tratamento biológico (TAE e RAC) e encontrava-se em bom estado de hidrolização e acidificação. Ao afluir no UASB, favoreceu o crescimento das arqueas metanogênicas, as quais têm crescimento ótimo na faixa de pH entre 6,6 e 7,4 (Campos et al., 2006), embora se possa conseguir estabilidade na formação de metano numa faixa mais ampla de pH entre 6,0 e 8,0 (Santana e Oliveira, 2005).

O pH afluente ao reator UASB apresentou valores entre 6,86 e 7,51, com valor médio de 7,12. O efluente apresentou valores entre 6,93 e 7,52, com valor médio de 7,27 (Figura 2). Analisando o valor médio de entrada e saída da unidade, percebe-se que não houve diferença acentuada entre estes, demonstrando boas condições de tamponamento. Esses dados revelam a estabilidade do sistema e demonstram que ele pode ter um menor custo de monitoramento da unidade. Nota-se ainda que o bom tamponamento contribuiu para a aclimatização dos micro-organismos anaeróbios, o que pode ser comprovado pela elevada eficiência na remoção de DBO₅, com o aumento da produção de biogás.

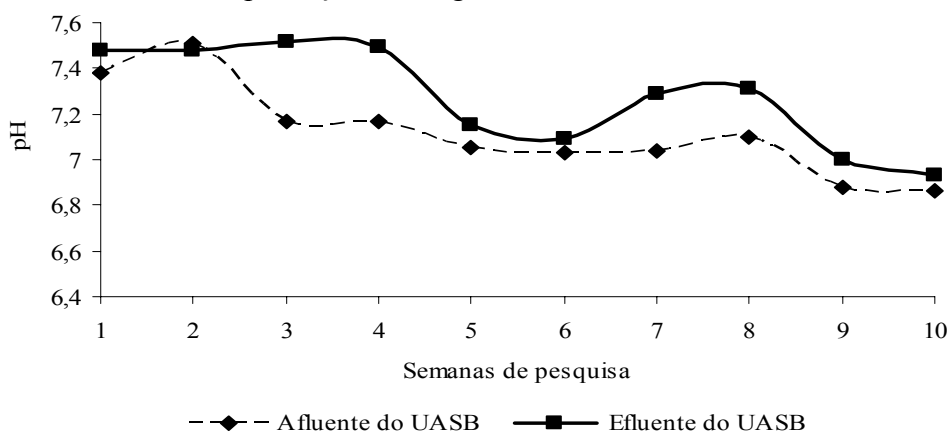


Figura 2. Comportamento do pH no reator UASB.

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 (Pereira et al., 2009). Esses ácidos representam os compostos a partir dos quais a maior parte do metano é produzida, por meio de bactérias metanogênicas (Kus e Wismann, 1995). A acumulação de ácidos voláteis (acidez total) acima de 150 mg L⁻¹ no reator é uma primeira indicação de que o sistema não está operando em condições ótimas. O valor médio da acidez total no afluente e efluente do reator UASB foi de 31 e 28 mg L⁻¹ respectivamente, ou seja, dentro dos padrões de otimização (Figura 3).

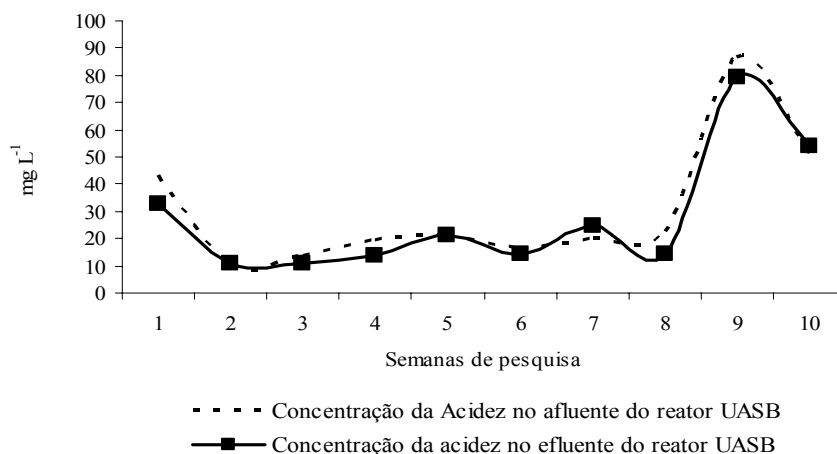


Figura 3. Comportamento da Acidez total no Reator UASB.

A concentração média da alcalinidade total encontrada no afluente e efluente do reator foram 1383 e 1442 mg L⁻¹ respectivamente. Pode ser observado que seu comportamento (Figura 4) acompanha a variação do pH (Figura 2), tamponando a acidez total.

No monitoramento de reatores anaeróbios, a verificação sistemática da alcalinidade total torna-se mais importante do que a avaliação do pH. Isso se deve ao fato dos valores de pH variarem em escala logarítmica, significando que pequenos abaixamentos de pH implicam o consumo de elevada quantidade de alcalinidade, diminuindo a capacidade de tamponamento do meio (Chernicharo, 2007).

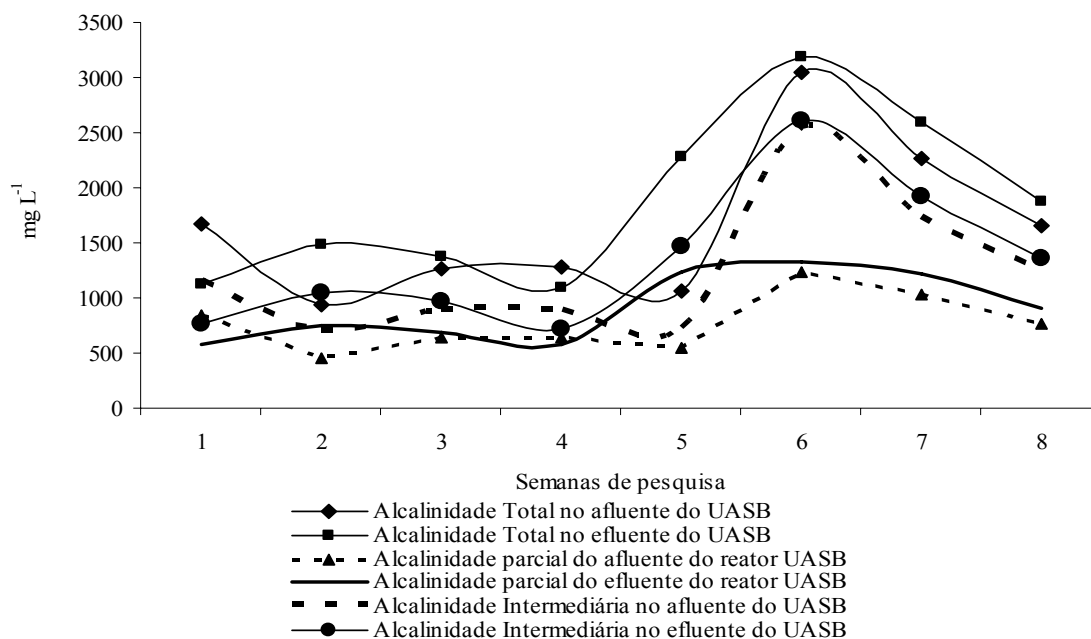


Figura 4. Comportamento das Alcalinidades total, intermediária e parcial no reator UASB.

Para calcular a concentração da Alcalinidade total, utilizou-se a metodologia de Ripley et al. (1986) e Jenkins et al. (1983), encontrando valores médios de alcalinidade parcial (referente ao bicarbonato) 771 e 913 mgCaCO₃ L⁻¹ para o afluente e efluente, respectivamente, e, para alcalinidade intermediária (referente aos AVT-ácidos voláteis totais) 1.238 mgAVT L⁻¹ e 1.357 mgAVT L⁻¹.

A determinação da alcalinidade em dois estágios tem um importante aspecto que se refere ao significado da relação AI/AP. De acordo com citado por Ripley et al. (1986) valores de AI/AP superiores a 0,3 indicam a ocorrência de distúrbios no processo de digestão anaeróbia. Entretanto, Pereira et al. (2009) afirma que é possível ocorrer estabilidade no processo com valores diferentes de 0,3, devido às variações das características únicas de cada efluente.

Santana e Oliveira (2005) e Fernandes e Oliveira (2006), tratando águas residuárias de suinocultura em reatores anaeróbios em dois estágios, encontraram valores de AI/AP acima de 0,3 e condições estáveis de operação. Neste trabalho, o valor médio encontrado para relação AI/AP do afluente e efluente foi de 1,5 e 1,7 respectivamente, sem problemas de desequilíbrios físico-químicos no reator UASB e no sistema, devido à boa capacidade de tamponamento destes, notou-se uma contínua diminuição nos valores da relação AI/AP de acordo com o processo de remoção de matéria orgânica, devido à tendência de equilíbrio entre os valores de AI e AP.

3.2. DQO total e DBO₅

As concentrações médias de DQO_{total} no afluente e efluente da unidade foram 2.705 e 1.849 mg L⁻¹ respectivamente, com eficiência de remoção média de 35%, havendo variações de picos ótimos nas semanas 4, 5, 7, 8 e 9 (Figura 5).

Devido a vários transtornos durante a pesquisa, tais como: chuvas, entupimento de bombas e outros problemas de manutenção, que alteraram a carga antes de chegar ao reator, influenciando de forma negativa na otimização da eficiência da unidade, observaram-se algumas eficiências baixas nas semanas 1 e 10. As demais foram influenciadas pela coleta pontual feita na unidade, podendo ser comparado com a eficiência de remoção da DBO₅ da mesma semana, que também foi baixa.

No reator as concentrações médias de DBO₅ no afluente foi de 707 mg L⁻¹ e no efluente de 317 mg L⁻¹, com eficiência média de 56% e variações em função das cargas orgânicas, amostragem pontual e entupimento da bomba, que influenciaram na carga orgânica volumétrica, causando possível endogenia biológica.

A relação DBO₅ / DQO_{total} pode ser uma indicativo da degradabilidade dos despejos; valores altos da relação indicam que a fração biodegradável é elevada e valores baixos indicam que a fração inerte é elevada. Essa relação para esgotos tem que ser menor que 5 a 7 para considerá-los biodegradáveis (Metcalf & Eddy, 2003). Para esgoto doméstico, a relação DQO_{total} / DBO₅ varia entre 0,3 e 0,8. Se o valor for 0,5 ou maior, o esgoto pode ser considerado facilmente biodegradável, se o valor for inferior a 0,3, provavelmente, o esgoto possui algum componente tóxico ou compostos refratários de baixa biodegradabilidade (Metcalf & Eddy, 2003). A relação DQO_{total} / DBO₅ média encontrada no afluente do reator UASB foi de 0,41, ou seja, próximo ao valor ideal de fácil biodegradabilidade. O valor ótimo 0,5, não foi alcançado devido à presença de metais pesados presentes na ração do suíno, alguns materiais tóxicos provindos de antibióticos injetados no suíno e desinfetantes utilizados na limpeza da suinocultura.

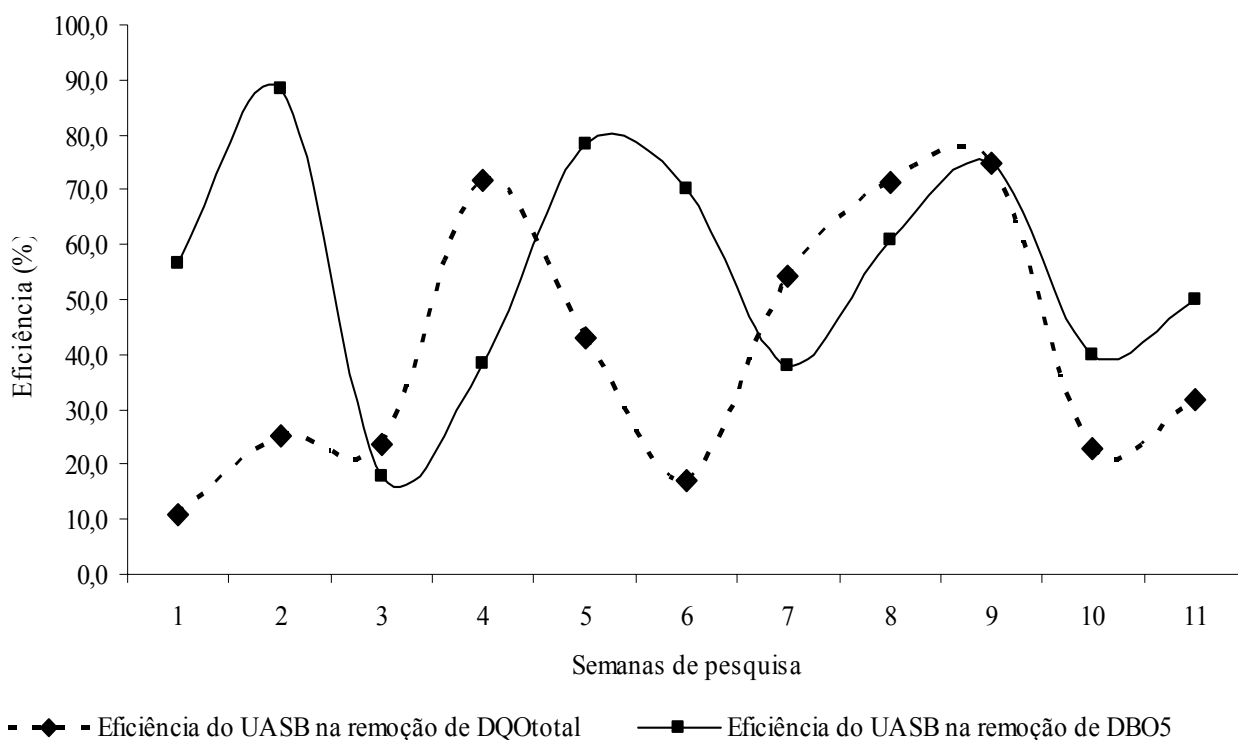


Figura 5. Eficiência do reator UASB na remoção de DQO_{total} e DBO₅.

3.3. Sólidos totais, fixo e voláteis

No afluente e efluente do reator UASB, as concentrações médias de ST, STF e STV foram 2593, 1069 e 1529 mg L⁻¹ e 1504, 915 e 589 mg L⁻¹ respectivamente, com eficiências médias de 40, 28 e 48%, ocorrendo variações de comportamento durante a pesquisa (Figura 6).

A eficiência média de remoção de sólidos orgânicos e inorgânicos no UASB foi abaixo de 50%, porque a maior parte dos sólidos grosseiros foi removida na peneira estática, logo depois o restante reteve-se no TAE que funcionou como decantador primário aos reatores RAC e UASB, assim o afluente do UASB continha sólidos mais fragmentados, contribuindo com a formação de um lodo granular de boa qualidade, o qual ocorreu por sedimentação. Já a coleta dos efluentes do sistema foi feita de forma pontual nesta pesquisa, portanto sofrendo interferência dos momentos de varredura do lodo, aumentando a quantidade de sólidos no efluente e diminuindo a eficiência da unidade quanto a esse parâmetro, necessitando por isso uma mudança no sistema de coleta, ou seja, por meio de amostras compostas.

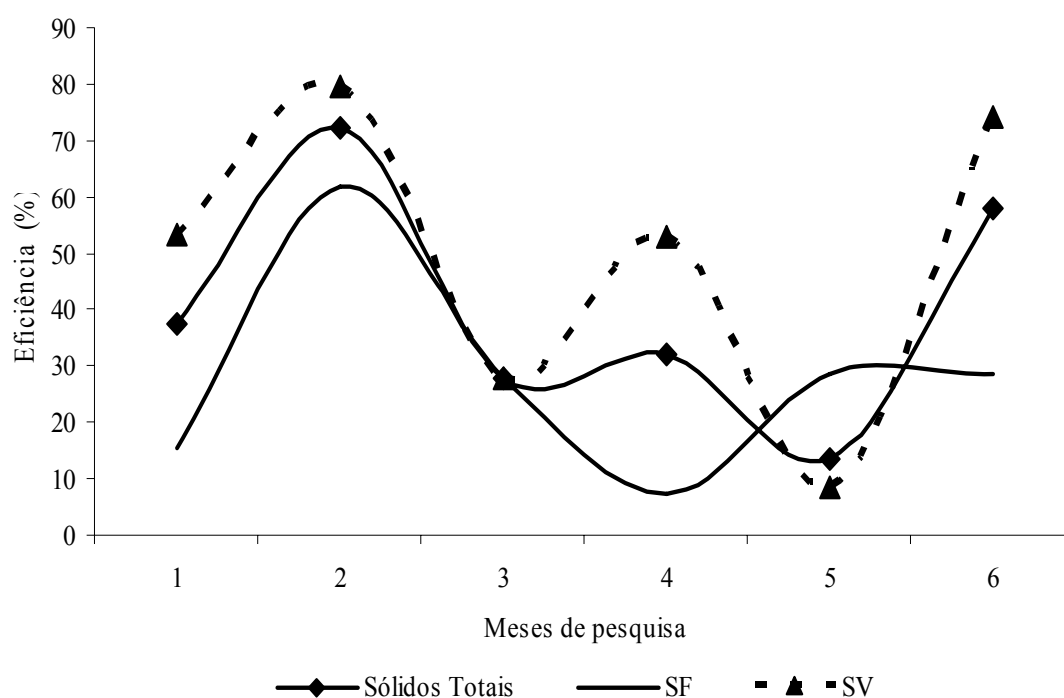


Figura 6. Eficiência do reator UASB na remoção de sólidos do efluente.

3.4. Fósforo e Nitrogênio total

A concentração de N, P e K nos esterco de suíno está relacionada com a qualidade dos alimentos consumidos por estes e com o tamanho do animal (peso vivo) e que, em média, 80% do P₂O₅ presente nos alimentos, são excretados nas fezes e que está presente mais na forma de compostos orgânicos, enquanto que a urina contém apenas traços (Costa, 2007).

Os valores médios da concentração de fósforo total, observados neste trabalho, na entrada e saída da unidade UASB, respectivamente, foram de 1,07 e 1,11 mg L⁻¹. Com relação ao NTK, os valores médios observados na entrada e saída da unidade foram de 69 e 64 mg L⁻¹ sendo este último ainda bastante elevado no que diz respeito ao permitido pela legislação ambiental CONAMA 357/2005, que é de 24 mg L⁻¹.

4. CONCLUSÕES

A utilização da peneira estática e unidades de pré-tratamento biológico, TAE e reator RAC colaboraram para a fragmentação e formação de um lodo granular de boa qualidade no reator UASB, o qual ocorreu por sedimentação.

Obteve-se sucesso na utilização do defletor de sólidos em formato parabólico, o qual reteve grande quantidade de sólidos no reator. Esse processo foi fundamental para a formação da manta de lodo, aumentando significativamente a eficiência operacional dessa unidade.

A água residuária de suinocultura é de fácil biodegradabilidade, pois, com relação DQO_{total}/DBO_5 próximo ao valor ótimo 0,5, com biogás de alta porcentagem de metano.

A utilização do lodo adquirido por sedimentação e não por inoculação não afetou o processo de tratamento, obtendo-se satisfatórias eficiências de remoção dos compostos orgânicos e inorgânicos.

Observou-se estabilidade no reator UASB com relação AI/AP no efluente de 1,7, diferenciando do valor 0,3; devido às diferenças de composição química do efluente de suinocultura.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à FAPEMIG pelo apoio financeiro por meio do Projeto TEC 1550/03. Ao CNPq pelo financiamento das bolsas de estudo. E ao Laboratório de Análises de Água do Departamento de Engenharia da UFLA pela realização das análises físico-químicas.

6. REFERÊNCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA, AWWA, WPCF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20. ed. Washington, DC: APHA, AWWA, WPCF, 1998. 1000 p.
- AQUINO, S. F.; CHERNICHARO, C. A. L. Acúmulo de ácidos graxos voláteis (AGVs) em reatores anaeróbios sob estresse: causas estratégicas de controle. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p. 151-161, 2005.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 18 mar. 2005.
- CAMPOS, C. M. M.; DAMASCENO, L. H. S.; MOCHIZUKI, E. T.; BOTELHO, C. G. Performance evaluation of a lab-scale upflow anaerobic sludge blanket reactor (UASB) removing organic loading rate from swine manure. *Revista Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 29, p. 848-856, 2005.
- CAMPOS, C. M. M.; CARMO, F. R. DO; BOTELHO, C. G.; COSTA, C. C. DA. Development and operation of an upflow anaerobic sludge blanket reactor (UASB) treating liquid effluent from swine manure in laboratory scale. *Revista Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 30, p. 140-147, 2006.
- CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**: princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte: Polytécnica, 2007. 379 p.

PEREIRA, E. L.; CAMPOS, C. M. M.; MOTERANI, F. Avaliação do desempenho físico-químico de um reator UASB construído em escala piloto na remoção de poluentes de efluentes de suinocultura. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 5, n. 1, p. 79-88, 2010. (doi:10.4136/ambi-agua.121)

COSTA, C. C. **Avaliação de sistema anaeróbio (RAC-UASB) no tratamento de água residuária de suinocultura e aplicação via fertirrigação, em feijão-vagem cultivado em ambiente protegido**. 2007. 173f. Tese (Doutorado em Engenharia de Água e Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

FERNANDES, G. F. R.; OLIVEIRA, R. A. Desempenho de processo anaeróbio em dois estágios (reator compartimentado seguido de reator UASB) para tratamento de águas residuárias de suinocultura. **Engenharia Agrícola**, v. 26, p. 243-256, 2006.

JENKINS, S. R.; MORGAN, J. M.; SAWYER, C. L. Measuring anaerobic sludge digestion and growth by a simple alkalimetric titration. **Journal Water Pollution Control Federation**, Alexandria, v. 55, n. 5, p. 448-453, 1983.

KUS, F.; WIESMANN, U. Degradation kinetics of acetate and propionate by immobilized anaerobic mixed cultures. **Water Research**, New York, v. 29, n. 6, p. 1437-1443, 1995.

LOURENÇO, A. M. P.; CAMPOS, C. M. M. Hydrodynamic behavior of a lab scale upflow anaerobic sludge blanket reactor (UASB) operated with an adopted hydraulic retention time (HRT) of 12 hours. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, p. 1139-1144, 2009.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse**. 4. ed. New York: McGraw – Hill, 2003.

PEREIRA, E. L.; CAMPOS, C. M. M.; MONTERANI, F. Effects of pH, acidity and alkalinity on the microbiota activity of an anaerobic sludge blanket reactor (UASB) treating pig manure effluents. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 4, n. 3, p. 157-168, 2009.

SANTANA, A. M. de; OLIVEIRA, R. A. de. Desempenho de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo em dois estágios tratando águas residuárias de suinocultura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 817-830, 2005.

SOUZA, J. A. R.; MOREIRA, D. A.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T. Variação do nitrogênio e fósforo em solo fertirrigado com efluente do tratamento primário da água residuária de suinocultura. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 4, n. 3, p. 111-122, 2009.

RIPLEY, L. E.; BOYLE, W. C.; CONVERSE, J. C. Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high-strength wastes. **Journal Water Pollution Control Federation**, v. 58, n. 5, p. 406-411, 1986.

ROCHA, C. M. B. M.; RODRIGUES, L. S.; COSTA, C. C.; OLIVEIRA, P. R.; SILVA, I. J.; JESUS, E. F. M. Avaliação da qualidade da água e percepção higiênico-sanitária na área rural de Lavras, Minas Gerais, Brasil, 1999-2000. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 1, p. 1967-1978, 2006.

ROESLER, M. R. B.; CESCOBETK, E. A. **Projeto: estudo de indicadores ambientais: conceitos e aplicações em projetos de gestão ambiental na Bacia do Paraná III**. Relatório: Ações do programa Nacional de Meio Ambiente II (PNMA II) e Cultivando Água Boa. Toledo: UNIOESTE, 2003.