



DIMENSIONAMENTO DE UM REATOR UASB PARA O TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE SUINOCULTURA

SIZING OF A UASB REACTOR FOR THE TREATMENT OF SWINE WASTEWATER

CAPASSI, C. M.¹

COSTA, J. C.²

CANTIL, M. E. S.³

NAVARRO, R. S.⁴

ROMERA, Y. F.⁵

SUBTIL, E. L.⁶

CHAGAS, R. K.⁷

RESUMO

O Brasil possui o quarto plantel de suínos do mundo, porém o baixo índice de tratamento das águas residuárias geradas pelo setor é um dos graves problemas para o meio ambiente e para a sociedade. O reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB) utiliza um processo biológico de tratamento com biomassa dispersa, no qual os compostos orgânicos são biodegradados e digeridos por meio de uma transformação anaeróbia, resultando na remoção de altas cargas orgânicas e aproveitamento energético do biogás. Neste trabalho avaliou-se a viabilidade técnica de utilizar o reator UASB para tratamento de 89 m³/dia de águas residuárias de suinocultura provenientes de um plantel com 3.835 suínos, situado no município de Pedranópolis-SP. Os resultados apresentaram alta eficiência para remoção de DQO e DBO, 67% e 75%,

¹ Graduação em Engenharia Ambiental pelo Centro Universitário Senac.

² Graduação em Engenharia Ambiental pelo Centro Universitário Senac.

³ Graduação em Engenharia Ambiental pelo Centro Universitário Senac.

⁴ Graduação em Engenharia Ambiental pelo Centro Universitário Senac.

⁵ Graduação em Engenharia Ambiental pelo Centro Universitário Senac.

⁶ Doutor em Engenharia Hidráulica e Ambiental pela Universidade de São Paulo; Professor Pesquisador do Centro Universitário Senac.

⁷ Doutor em Ecologia de Ecossistemas Terrestres e Aquáticos pela Universidade de São Paulo; Professor Pesquisador do Centro Universitário Senac. rubens.kchagas@sp.senac.br



respectivamente. Além disso, considerando o teor de 75% de gás metano, a água residuária apresenta um potencial de vazão de 451,13 m³/dia de metano e 601,5 m³/dia de biogás total. O reator UASB é uma alternativa viável para tratamento de águas residuárias de suinocultura, porém é necessário pós-tratamento para alcançar maior eficiência.

Palavras chave: Reator UASB; Águas residuárias; Suinocultura; Tratamento Anaeróbio.

ABSTRACT

Brazil has the fourth herd of pigs in the world, but the low treatment rate of effluents is one of the serious problems for the environment and for society. The upflow anaerobic reactor (UASB) using for a process a biological treatment biomass disperses, in which the organic compounds are biodegradable and digested by anaerobic transformation, resulting in the removal of high organic loads and energy use of biogas. This study evaluated the technical feasibility of using UASB reactor for treatment of 89 m³/day of effluent from a squad with 3,835 pigs, located in the county of Pedranópolis-SP. The results showed high efficiency for the removal of COD and BOD, 67% and 75%, respectively. Moreover, considering the level of 75% methane, the effluent has a potential flow of 451.13 m³/day of methane and biogas total 601.5 m³/day. The UASB reactor is a viable alternative for the treatment of effluent from pig, but it is necessary post-treatment to achieve greater efficiency.

Keywords: UASB Reactor, Wastewater, Swine, Anaerobic Treatment.



1. INTRODUÇÃO

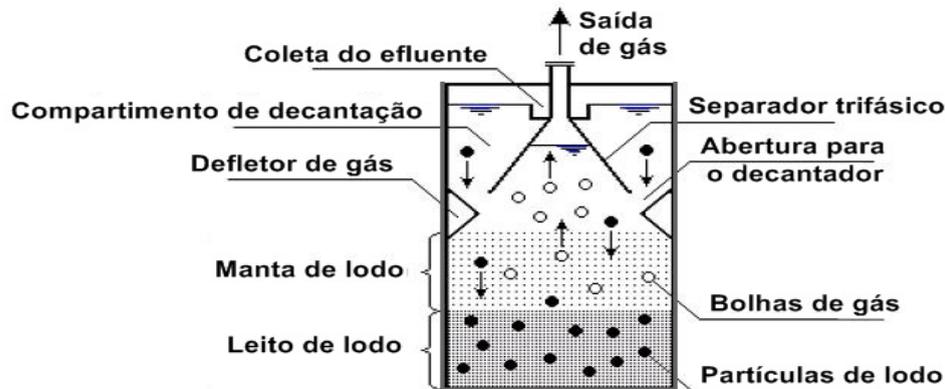
O Brasil possui o quarto plantel de suínos do mundo, sendo a suinocultura um setor que contribui de maneira significativa para a economia do país. No entanto, é um setor com baixa qualidade ambiental, poluindo as águas, os solos, afetando a qualidade do ar através da emissão de maus odores, e pela proliferação descontrolada de insetos, ocasionando desconforto ambiental às populações (BELLI et al., 2001).

Existem diversos tratamentos para águas residuárias provenientes da suinocultura, um deles é o uso de reatores anaeróbios de fluxo ascendente (reator UASB), objeto desta pesquisa.

O reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), foi desenvolvido na década de 70 pelo Dr. Gatzke Lettinga e colaboradores na universidade Wageningen na Holanda. Originalmente foi desenvolvido para o tratamento de efluentes industriais de alta concentração a partir de estudos anteriores efetuados com o filtro anaeróbio ascendente. No Brasil o reator é utilizado desde a década de 80 no Paraná (SANEPAR) e em São Paulo (CETESB) e atualmente, é o país que mais faz uso dessa tecnologia devido às suas características técnicas e econômicas (FAEDO, 2010).

O reator UASB é um processo que consiste no fluxo ascendente de esgotos através de um leito de lodo denso e de elevada atividade (Figura 1). O perfil de sólidos no reator varia de muito denso e com partículas granulares de elevada capacidade de sedimentação, próximas ao fundo (leito de lodo), até um lodo mais disperso e leve, próximo ao topo do reator (manta de lodo) e a estabilização da matéria orgânica ocorre em todas as zonas de reação (leito e manta de lodo), sendo a mistura do sistema promovida pelo fluxo ascensional do esgoto e das bolhas de gás (CHERINCHARO, 2007).

Figura 1: Fluxo ascendente em um reator com leito de lodo denso.



Um dos princípios fundamentais do processo é sua habilidade de desenvolver uma biomassa de elevada atividade. Essa biomassa pode apresentar na forma de flocos ou de grânulos (1 a 5 mm). Os reatores UASB apresentam elevado tempo de resistência hidráulica, o que é uma característica dos sistemas de alta taxa, além disso, o sistema deve ter um separador trifásico bem projetado, capaz de separar de forma adequada o biogás, o líquido e os sólidos, liberando os dois primeiros e permitindo a retenção do último (CHERINCHARO, 2007; SOUZA, 2008).

Este tratamento possui facilidades operacionais e hidrodinâmica mais eficiente que outros tratamentos, boa adaptação às condições climáticas do Brasil e produz biogás com elevada concentração de metano (BELLI et al., 2001).

Dessa maneira, o objetivo deste trabalho é verificar a viabilidade técnica do reator UASB para tratamento de águas residuárias de suinocultura no setor de reprodução de suínos (matrizes e leitões, a fase dos leitões termina quando atingem o tamanho ideal para venda, 25 kg), em sistema intensivo (fechado), composto por 1.300 matrizes.

2. JUSTIFICATIVA

Segundo o IBGE (2009), o plantel brasileiro de suínos é estimado em 36 milhões de cabeças, com equivalente populacional médio, em termos de demanda bioquímica de oxigênio (DBO_{5,20}) de 3,5 habitantes por suíno (MIRANDA, 2005).



A alta geração de resíduos provenientes da suinocultura tem como principal destino a simples deposição no solo e essa prática origina o excesso de nutrientes, metais e organismos patogênicos no solo, contribuindo para a degradação dos corpos d'água superficiais e subterrâneos pela lixiviação e/ou percolação dos resíduos (PERDOMO; OLIVEIRA; KUNZ, 2003).

O interesse pelo tratamento anaeróbio, de resíduos líquidos e sólidos provenientes da agropecuária e da agroindústria, tem aumentado nos últimos anos por apresentar vantagens significativas quando comparado aos processos comumente utilizados de tratamento aeróbio de águas residuárias ou aos processos convencionais de compostagem aeróbia de resíduos orgânicos sólidos (MORAES; PAULA-Jr., 2004).

Estimativas recentes indicam que os dejetos de animais são responsáveis por 5 a 10% das emissões de metano no mundo, contribuindo para o aumento da concentração atmosférica dos gases de efeito estufa, considerado outro grave problema ambiental (PEREIRA, 2009).

O baixo índice de tratamento adequado à grande quantidade de dejetos produzidos é justamente um dos graves problemas que a intensificação da produção de suínos trouxe para o meio ambiente e para a sociedade (GALBIATTI et al., 2010).

O reator UASB é um importante equipamento destinado ao tratamento de efluentes com alta carga orgânica, como é o caso das águas residuárias provenientes da suinocultura, que comparadas com o efluente doméstico possuem concentração de DBO até 260 vezes superior, enquanto a DBO para esgoto doméstico é de 200 mg/litro, a DBO dos dejetos de suínos oscila entre 30.000 e 52.000 mg/litro (GALBIATTI et al., 2010).

Dentre as vantagens apresentadas pelo reator UASB, pode-se destacar: não emissão de odores; não proliferação de insetos; baixa produção de lodo biológico; e o lodo em excesso já sai estabilizado e com elevada concentração, podendo ser secado diretamente em leitos de secagem. Além disso, sua operação e manutenção são extremamente simples podendo ser realizada por pessoal não especializado (SOUZA, 2008).

Do ponto de vista econômico, a digestão anaeróbia é uma solução de baixo custo para o tratamento de águas residuárias com elevadas cargas orgânicas, com as vantagens da baixa produção de lodo, da conservação dos nutrientes e da produção de biogás, além



de ser uma solução apropriada para regiões de clima tropical (CAMMAROTA, 2003).

A produção de biogás a partir do reator UASB além de produzir energia necessária às atividades agropecuárias, pode gerar um excedente energético que pode ser comercializado com concessionárias de energia (PECORA et al., 2006).

Segundo CHERNICHARO (2007), o projeto de reator UASB é simples, não demandando a implantação de equipamentos sofisticados ou meio suporte para a retenção da biomassa, porém é de fundamental importância que os diversos critérios e parâmetros de projeto sejam expressos de uma forma compreensível e sequencial, permitindo o dimensionamento das câmaras de reação, decantação e captura de gases.

Os reatores UASB possuem facilidades operacionais, hidrodinâmica mais eficiente que outros sistemas convencionais e boa adaptação às condições climáticas do Brasil (BELLI et al., 2001). Este reator utiliza um processo biológico de tratamento com biomassa dispersa, no qual os compostos orgânicos são biodegradados e digeridos por meio de uma transformação anaeróbia, resultando na produção de biogás e na manutenção de um consórcio de microrganismos (PEREIRA-RAMIREZ et al., 2004).

O desenvolvimento do reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB) combina vantagens, as quais possibilitaram a sua utilização para uma grande variedade de águas residuárias e, conseqüentemente, adoção em larga escala. Esse tipo de reator pode ser construído e operado de forma a minimizar os custos do tratamento com baixa produção de sólidos (SOUZA, 2008).

Os estudos acerca do reator estão crescendo por todo mundo para aplicação no tratamento de esgoto sanitário e águas residuárias agropecuárias. Alguns autores afirmam que os trabalhos utilizando o reator UASB ainda são limitados (DUDA; OLIVEIRA, 2011). No entanto, conforme observa-se na **Tabela 1**, a seguir, estudos recentes realizados no Brasil com reatores UASB em escala piloto, tratando águas residuárias de suinocultura, indicam que o reator é uma alternativa de tratamento viável, dispensando o tratamento preliminar.



Tabela 1: Eficiência no tratamento de águas residuárias de suinocultura com reator UASB em escala piloto.

Estudo	COV gDQOtotal (L.d)-1	Eficiências de remoção de DQOtotal (%)	Autor
1	34,4	73	RAMIRES, 2005
2	26	86	SANTANA, 2008

1. CARACTERIZAÇÃO DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE SUINOCULTURA

A quantidade de dejetos líquidos oriundos da suinocultura varia de acordo com desenvolvimento ponderal dos animais, cerca de 8,5 a 4,9% do seu peso vivo/dia, para a faixa de 15 a 100 kg, sendo a produção de urina um aspecto importante na quantidade de dejetos líquidos produzidos (DARTORA; PERDOMO; TUMELERO, 1998).

O termo dejetos refere-se 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., 2006).

Quando comparado com bovinos e considerando a mesma base (450 kg de peso vivo), os suínos excretam 1,9 vezes mais dejetos que um bovino de corte e 1,3 vezes mais que um bovino leiteiro (aproximadamente 16 ton.ano⁻¹) (ENSMINGER; OLDFIELD; HEINEMANN, 1990).

Dartora, Perdomo e Tumelero (1998) afirmam que a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) dos dejetos de suínos chega a apresentar valores de até 52.000 mg.L⁻¹, enquanto no esgoto humano a DBO₅ é cerca de 200 a 300 mg.L⁻¹, pois o suíno é um animal monogástrico e aproximadamente 30% dos seus alimentos tornam-se dejetos (Tabela 2).



Tabela 2: Característica das águas residuárias de suinocultura.

Categoria	Esterco (kg/dia)	Urina (kg/dia)	Esterco + Dejetos líquidos (litros/dia)	Estrutura de estocagem m ³ /animal/mês	
				Esterco + Urina	Dejetos Líquidos
Suínos 25-100 kg	2,30	4,90	7,00	0,16	0,25
Porcas Gestação	3,60	11,00	16,00	0,34	0,48
Porcas lactação+leitões	6,40	18,00	27,00	0,52	0,81
Cachaço	3,00	6,00	9,00	0,18	0,28
Leitões na creche	0,35	0,95	1,40	0,04	0,05
Media	2,35	5,80	8,60	0,17	0,27

Fonte: adaptado de Konsen (1983), Oliveira (1983), Fernandes e Oliveira (1995), apud Santos (2000).

Contudo, a produção total dos dejetos provenientes da suinocultura é muito variável, levantamentos realizados pelo Serviço de Extensão Rural de Santa Catarina – UFF, em 1999, citados em CAMPOS et al. (2005), 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 de água no meio rural das regiões produtoras estão contaminadas por coliformes fecais oriundos do lançamento de dejetos sem qualquer tratamento em corpos hídricos receptores.

Os dejetos brutos de suínos apresentam, em média, 25.625 mg.L⁻¹ de DQO e 10.250 mg.L⁻¹ de DBO (EMBRAPA/CNPSA, 1980 apud ABREU-NETO, 2007). Para cada fonte de matéria orgânica temos uma produção diferente de biogás (CAMPOS et al., 2005), o potencial de geração de biogás a partir de resíduos da suinocultura varia de acordo com a atividade explorada, obtendo maior produção no sistema de reprodução, em média, 0,933 m³/animal/dia (COLDEBELLA, 2006).

3. METODOLOGIA

4.1. Área de estudo

O estudo baseou-se no dimensionamento de um sistema anaeróbio, reator



UASB, para tratamento de águas residuárias de suinocultura localizada em uma Fazenda com criação de suínos, situada no município de Pedranópolis, São Paulo.

O município de Pedranópolis faz parte da microrregião de Fernandópolis. Localiza-se a uma latitude 20°14'51"S, uma longitude 50°06'37"W e uma altitude de 475 metros em relação ao nível do mar.

Segundo estudo da Secretaria Estadual de Saúde, a microrregião de Fernandópolis possui um clima tropical semi-úmido com inverno seco e verão chuvoso, com precipitações médias em torno de 1362 mm. As temperaturas mínimas e máximas atingem, respectivamente, 17 °C e 33,5 °C, com oscilações bruscas durante o ano (FERNANDÓPOLIS, 2013).

A área da propriedade é de 726 hectares, considerando a atividade de suinocultura com 1.300 matrizes, tem-se um total de 3.835 suínos.

4.2. Coleta e tratamento dos dejetos

O processo de coleta e tratamento dos dejetos provenientes da suinocultura iniciará a partir do piso das baias liso e que possui uma leve declividade, cerca de 2% a partir do corrimão (baia publicitária), facilitando a coleta dos dejetos no fosso situado na parte mais baixa da baia.

Os dejetos coletados no fosso (por gravidade) passam, inicialmente por uma grade grossa com espaçamento de 40 mm entre barras com 10 mm de espessura para remoção de sólidos grosseiros (ex. galhos de árvores) evitando a obstrução do sistema, em seguida um desarenador remove a areia contida no efluente, que danifica equipamentos eletromecânicos, seguido de uma Calha Parshall que mantém a velocidade “constante” (regime laminar) facilitando a vazão afluente variável.

O efluente é finalmente bombeado para uma caixa de equalização (utilizada para superar os problemas operacionais advindos das variações que são observadas na vazão e nas características dos efluentes líquidos) direcionando o efluente para o reator UASB.



4.3. Dimensionamento do reator

Conforme metodologia adaptada a partir de CHERNICHARO (2007), os cálculos de dimensionamento, a partir de dados secundários, de um reator UASB em escala real para o tratamento de dejetos de suínos estão demonstrados nas equações (1 a 10).

A vazão máxima é calculada em função de dois coeficientes de maior consumo e da vazão média afluyente, como segue:

$$Q_{m\acute{a}x} = K_1 * K_2 * Q_{m\acute{e}d}. \quad [1]$$

Onde:

$Q_{m\acute{a}x}$: vazão máxima afluyente (m³/dia)

$Q_{m\acute{e}d}$: vazão média afluyente (m³/dia)

K_1 = coeficiente do dia de maior consumo (1,2)

K_2 = coeficiente da hora de maior consumo (1,5)

O coeficiente no dia de maior descarga é a relação entre a descarga que ocorre entre a média do dia e a média do ano. E o coeficiente da hora de maior descarga é a relação entre a descarga que ocorre entre a média da hora máxima e da média do dia. Os valores de K_1 e de K_2 antes apresentados (1,2 e 1,5) são os recomendados pela NBR 9649 (ABNT, 1986).

A estimativa das concentrações diária de DBO e DQO no afluyente são obtidas a partir da igualdade entre ambos, ou seja:

$$C_{di\acute{a}ria} = Q_{m\acute{e}d} * C \quad [2]$$

Onde:

$C_{di\acute{a}ria}$: concentração diária de DBO ou DQO no afluyente (Kg/dia)

$Q_{m\acute{e}d}$: vazão média do afluyente (m³/dia)

C : concentração de DBO ou DQO (Kg/m³)

O tempo de detenção hidráulica (TDH) varia conforme a temperatura do ambiente, sendo mais utilizado na faixa de 8 a 10 horas. Considerando uma temperatura média anual em torno de 23°C o TDH recomendado é de 8 horas.

Conseqüentemente, o volume é calculado em função do tempo de detenção hidráulica do sistema, logo:



$$V = TDH * Q_{média} \quad [3]$$

Onde:

V: volume total do reator (m³)

TDH: tempo de detenção hidráulico (h)

Q_{média}: vazão média afluyente (m³/h)

A carga hidráulica volumétrica (CHV) é a quantidade (volume) de esgotos aplicados diariamente ao reator, por unidade de volume dos mesmos (CHERNICHARO, 2007), dada da seguinte forma:

$$CHV = \frac{Q_{média}}{V} \quad [4]$$

Onde:

CHV: carga hidráulica volumétrica (m³/m³.d)

Q_{média}: vazão média afluyente (m³/dia)

V: volume total do reator (m³)

A carga orgânica volumétrica (COV) é a quantidade (massa) de matéria orgânica aplicada diariamente ao reator, por unidade de volume do mesmo:

$$COV = \frac{Q_{média} * S_0}{V}$$

[5]

Onde:

COV: carga orgânica volumétrica (KgDQO/m³.d⁻¹)

Q_{média}: vazão média afluyente (m³/dia)

V: volume total do reator (m³)

S₀: concentração de substrato afluyente (KgDQO/m³)

O TDH da vazão máxima é calculado através da equação abaixo:

$$DTH_{Q_{máx.}} = \frac{V}{Q_{máxima}} \quad [6]$$

Onde:



$DH_{Q_{máx}}$: tempo de detenção hidráulico da vazão máxima (horas)

V : volume total do reator (m^3)

$Q_{máxima}$: vazão máxima afluyente (m^3/dia)

A velocidade de escoamento pode variar de 0,5 m/h a 0,7 m/h, contudo a velocidade adotada será um valor médio de 0,6 m/h, dessa maneira, é possível calcular a altura do reator UASB em função da velocidade de escoamento:

$$H = v * TDH \quad [7]$$

Onde:

H : altura (m)

v : velocidade (m/h)

TDH : tempo de detenção hidráulico (horas)

Da mesma forma, é possível calcular a área total do reator, de acordo com a equação abaixo:

$$A = \frac{V}{H} \quad [8]$$

Onde:

A : área útil do reator (m^2)

H : altura (m)

v : velocidade (m/h)

Em função da área, tem-se o diâmetro do reator:

$$A = \pi * \frac{d^2}{4} \quad [9]$$

Onde:

A : área útil do reator (m^2)

d : diâmetro do reator (m)

3,14



A correta distribuição do esgoto, de modo a garantir um contato efetivo com a biomassa presente no reator, constitui-se em um dos aspectos mais importantes para o correto funcionamento do reator. O número de distribuidores é determinado em função da área da seção transversal do reator e da área de influência adotada para cada distribuidor, como segue:

$$N_d = \frac{A_t}{A_d} \quad [10]$$

Onde:

N_d : número de dutos (unidade);

A_t : da área da seção transversal do reator (m^2);

A_d : área de influência de cada distribuidor (m^2).

Portanto, a área de influência de distribuidores de vazão em um reator UASB é determinada em função do tipo de lodo e das cargas orgânicas aplicadas no sistema.

O lodo proveniente dos dejetos de suinocultura foi classificado como denso e floculento, para uma carga orgânica aplicada maior que $2 \text{ KgDQO}/m^3.d^{-1}$, a área de influência de cada distribuidor variou de 2 a 3 m^2 , adotando-se a área de 2 m^2 .

4.4. Estimativa de eficiência do reator

A estimativa de remoção de DQO e DBO é calculada a partir das equações 11 a 14, e permitem estimar a eficiência de reatores UASB operando na faixa de 20 a $27 \text{ }^\circ\text{C}$, em função do tempo de detenção hidráulica:

$$E_{DQO} = 100 * (1 - 0,68 * t^{-0,35}) \quad [11]$$

Onde:

E_{DQO} : eficiência do reator UASB, em termos de remoção de DQO (%);

t : tempo de detenção hidráulica (h);

0,68: constante empírica;



0,35: constante empírica.

$$E_{DBO} = 100 * (1 - 0,70 * t^{-0,50}) \quad [12]$$

Onde:

E_{DBO} : eficiência do reator UASB, em termos de remoção de DBO (%);

t : tempo de detenção hidráulica (h);

0,70: constante empírica;

0,50: constante empírica.

A partir da eficiência esperada para o sistema, pode-se estimar a concentração de DQO e de DBO no efluente final, como a seguir:

$$S = \frac{E * S_0}{100}$$

[13]

Onde:

S : concentração de DQO ou de DBO efluente (mg/L);

S_0 : concentração de DQO ou de DBO afluente (mg/L);

E : eficiência de remoção de DQO ou de DBO (%).

A concentração de sólidos suspenso totais (SST) no efluente final de reatores UASB é calculado através da equação:

$$C_{SST} = 102 * t^{-0,24} \quad [14]$$

Onde:

C_{SST} : concentração de Sólidos Suspenso Totais no efluente (mg/L)

t : tempo de detenção hidráulica

102: constante empírica

0,24: constante empírica

Para avaliar a produção de biogás é necessário estimar a carga de DQO afluente no reator, que é convertida em gás metano. De maneira simplificada, segundo



CHERNICHARO (2007), a determinação da parcela de DQO convertida em gás metano pode ser feita, como a seguir:

$$DQO_{CH_4} = Q * (S_0 - S) - y * Q * S_0 \quad [15]$$

Onde:

DQO_{CH_4} : carga de DQO convertida em metano (KgDQO_{CH₄}/d);

Q : vazão média afluyente (m³/dia);

S_0 : concentração de DQO afluyente (KgDQO/m³);

S : Concentração de DQO efluyente (KgDQO/m³);

Y : coeficiente de produção de sólidos no sistema, em termos de DQO (0,11 a 0,23 KgDQO_{lodo}/KgDQO_{apl}).

A conversão da *massa* de metano (KgDQO_{CH₄}/d) em produção volumétrica (m³_{CH₄}/d) pode ser feita utilizando-se as equações 16 a 18, seguintes:

$$f_T = \frac{P * KgDQO}{R * (273 + T)} \quad [16]$$

Onde:

P : pressão atmosférica (1 atm)

$KgDQO$: DQO correspondente a um mol CH₄ (64 gDQO/mol);

R : constante dos gases (0,08206 atm.L/mol.K);

T : temperatura operacional do reator (°C)

$$Q_{CH_4} = \frac{DQO_{CH_4}}{f(T)} \quad [17]$$

Onde:

Q_{CH_4} : produção volumétrica de metano (m³/d);

$f(T)$: fator de correção para a temperatura operacional do reator (kgDQO/m³)

Uma vez obtida à produção de metano, pode-se estimar a produção total de biogás, a partir do teor esperado de metano, de acordo coma a equação de 18:



$$Q_{Biogás} = \frac{Q_{CH_4}}{C_{CH_4}}$$

[18]

Onde:

$Q_{biogás}$: produção volumétrica de biogás (m^3/d);

Q_{CH_4} : produção volumétrica de metano (m^3/d);

C_{CH_4} : produção volumétrica de metano no biogás, usualmente da ordem de 70 a 80% (m^3/d);

Os teores de metano no biogás encontram-se entre 70 a 80% (CHERNICHARO, 2007), neste trabalho foi considerado um valor médio em torno de 75% de metano no biogás.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos nesta pesquisa.

Tabela 3: Resultados do dimensionamento do Reator UASB para tratamento de águas residuárias de suinocultura.

Parâmetros	Resultados
Q ($m^3/mês$)	2.663,60
Q _{média} (m^3/dia)	89
Q _{máxima} (m^3/dia)	160,2
Volume (m^3)	29,6
TDH (horas)	8
CHV ($m^3/m^3.dia$)	3
COV ($KgDQO/m^3.d^1$)	2,3
C _{DBO} ($KgDBO/dia$)	912,25



C_{DQO} (KgDQO/dia)	2.280,60
E_{DBO} (%)	75
E_{DQO} (%)	67
CSST_{efluente} (KgSST/dia)	5,51
Q_{metano} (m³/dia)	451,13
Q_{biogás} (m³/dia)	601,5

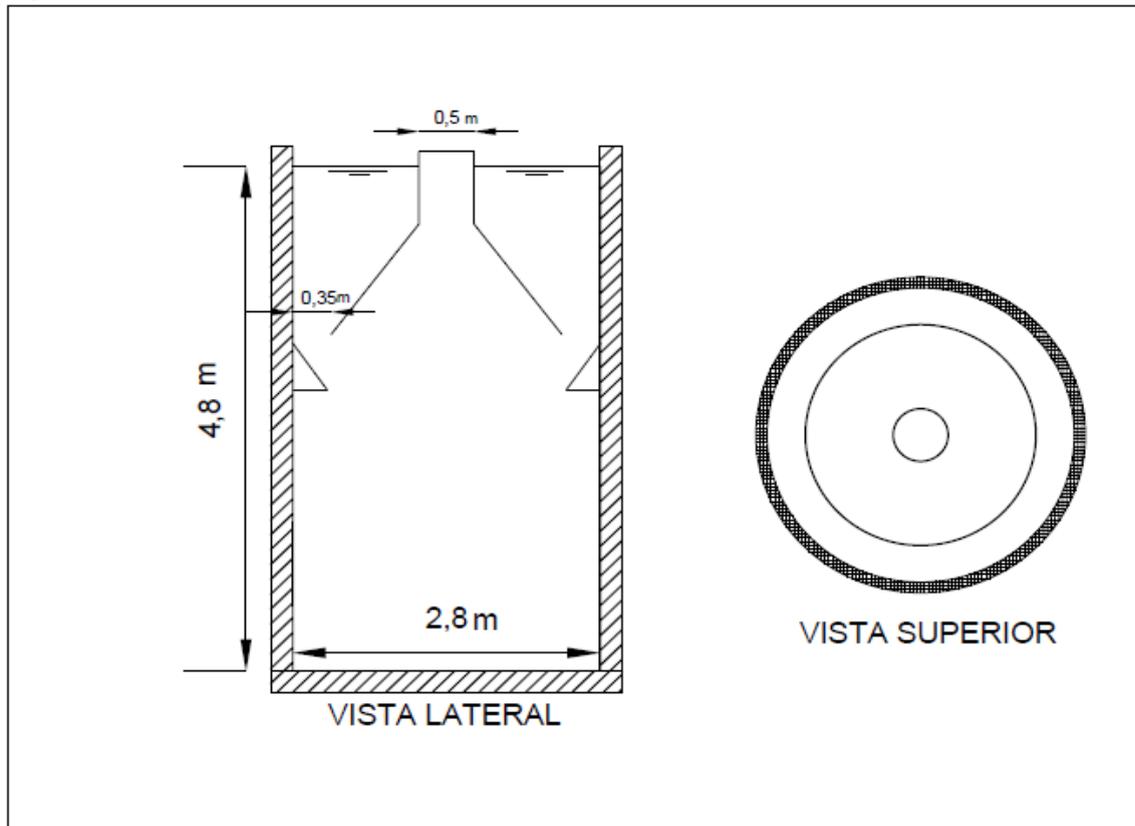
A vazão de águas residuárias de suinocultura é de aproximadamente 2.663,6 m³ de dejetos líquidos com uma vazão média afluyente de 89 m³/dia e a máxima de 160,2 m³/dia.

As águas residuárias provenientes de suinocultura têm altas taxas de cargas de DBO e DQO, neste estudo estas são da ordem de 912,25 e 2.280,60 Kg/dia, respectivamente.

Considerando que o TDH é de 8 horas, tratando cerca de 89m³/dia de águas residuárias de suinocultura, utilizando como tratamento anaeróbio o reator UASB, a estimativa de eficiência de remoção de DBO é de 75% e 67% para DQO. Porém, é importante ressaltar, no entanto, que as equações utilizadas para calcular a eficiência de DBO e DQO em função do tempo de detenção hidráulica são limitadas devido ao número bastante limitado de dados utilizados para a determinação das constantes empíricas, que entre si apresentam grandes desvios.

O reator tem capacidade para operar com volume de 29m³, possuindo 4,8m de altura, 2,8m de diâmetro e área total de 6,2m², conforme mostra a Figura 2.

Figura 2: Reator anaeróbio de manta de lodo.



Devido à alta carga de matéria orgânica presente no afluente e a correta distribuição do esgoto, de modo a garantir o contato efetivo com a biomassa presente no reator, a distribuição do afluente no reator é feita a partir da base através de 3 tubos que se ramificarão a partir do coletor principal.

Com relação à produção de biogás, às características das águas residuárias de suinocultura, favorecem a geração de biogás. Considerando o teor de 75% metano, o afluente apresenta um potencial de vazão de 451,13 m³/dia de metano e 601,5 m³/dia de biogás total, podendo ser utilizado para geração de energia.

5. CONCLUSÕES

Analisando os resultados obtidos, o reator UASB apresenta condições favoráveis para o tratamento de águas residuárias de suinocultura, além disso, este tipo de tratamento requer menor área de instalação, baixo custo e sua operação e manutenção são extremamente simples. É importante destacar, também, que o reator UASB tem



baixa produção de lodo e o lodo em excesso já sai estabilizado e com elevada concentração, podendo ser secado diretamente em leitos de secagem.

6. REFERÊNCIAS

ABREU-NETO, M. S. *Tratamento de águas residuárias de suinocultura em reator anaeróbio compartimentado seguido de reator UASB*. Jaboticabal, 2007.xv, 170 f. : il. ; 28 cm.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. *NBR 9649*. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

BELLI, P.F; CASTILHOS, A.B.; COSTA, R.H.R.; SOARES, S.R.; PERDOMO, C. C. *Tecnologias para o tratamento de dejetos de suínos*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental - vol.5 n°1. Campina Grande Jan./Abr. 2001.

CAMMAROTA, Magali Christe. *Curso de tratamento biológico de efluentes*. Escola de Química – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2003.

CAMPOS, C. M. M.; MOCHIZUKI, E. T.; DAMASCENO, L. H. S.; BOTELHO, C. G. *Avaliação do potencial de produção de biogás e da eficiência de tratamento do reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) alimentado com dejetos de suínos*. Ciência e Agrotecnologia, v.29, n.4, p.848-856, 2005.

CAMPOS, C.M.M.; DO CARMO, F.R.; BOTELHO, C. G.; DA COSTA, C. C. *Desenvolvimento e operação de reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) no tratamento dos efluentes da suinocultura em escala laboratorial*. Revista Brasileira de Agrociências. Lavras, 2006. vol.30 n.1.

CHERNICHARO, C. A. L. *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: reatores anaeróbios*. Vol 5. 2ª Edição. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2007.

COLDEBELLA, A. *Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais*. Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE. Cascavel – Paraná, 2006.



DARTORA, V.; PERDOMO, C.C.; TUMELERO, I.T. *Manejo de dejetos suínos*. Concórdia: EMBRAPA - CNPSA/EMATER/RS, 1998. 41p. (EMBRAPA-CNPSA/EMATER/RS).

DUDA, R. M.; OLIVEIRA, R.A.de. *Tratamento de águas residuárias de suinocultura em reator UASB e filtro anaeróbio em série seguidos de filtro biológico percolador*. Eng. Sanit. Ambient. [online]. 2011, vol.16, n.1, pp. 91-100.

ENSMINGER M. E.; OLDFIELD, J.E.; HEINEMANN W.W.. *Feeds & Nutrition*. 2 ed. Clovis, California, *The Ensminger Publishing Company*, 1990. 1544 p.

FAEDO, A.M. *Tecnologias convencionais e novas alternativas para o tratamento de efluentes domésticos*. Universidade do Sul de Santa Catarina. Florianópolis, 2010.

FERNANDÓPOLIS. *Meio natural*. Prefeitura Municipal de Fernandópolis – PMF. Disponível em: <http://www.fernandopolis.sp.gov.br/Portal/Principal.asp?ID=7>. Acesso em 27 de Setembro de 2013.

GALBIATTI, João A.; CAMELO, Anaira D.; SILVA, Flavia G.; GERARDI, Eliana A. B.; CHICONATO Denise A. *Estudo qualiquantitativo do biogás produzido por substratos em biodigestores tipo batelada*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol. 14, n° 4, Campina Grande, abril de 2010.

IBGE. *Produção da Pecuária Municipal*. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Brasil, 2009. V.27.

MIRANDA, C.R. de. *Avaliação de estratégias para sustentabilidade da suinocultura*. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. 264.

MORAES, L.M.; PAULA-Jr., D.R. *Avaliação da biodegradabilidade anaeróbia de resíduos da bovinocultura e da suinocultura*. Engenharia Agrícola, v.24, n° 2, p.445-454, 2004.

PECORA, V. *Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP – Estudo de Caso*. USP, 2006. 152 p.

PERDOMO, C.C.; OLIVEIRA, P.A.V.; KUNZ, A. *Sistemas de tratamento de dejetos de suínos: inventário tecnológico*. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2003. P.83.

PEREIRA-RAMIRES, O.; QUADRO, M. S.; ANTUNES, R. M.; KOETZ, P. R. *Influência da recirculação e da alcalinidade no desempenho de um reator UASB no*



tratamento de efluente de suinocultura. Revista Brasileira de Agrociência, v.10, n.1, p.103-110, 2004.

PEREIRA, Gilberto. *Viabilidade econômica da instalação de um biodigestor em propriedades rurais.* Departamento de Física, Estatística e Matemática DeTEC - Departamento de Tecnologia – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, Rio Grande do Sul, 2009.

RAMIRES, R. dél ARCO. *Produção de metano e remoção de matéria orgânica, nutrientes e microrganismos patogênicos em reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) em dois estágios tratando águas residuárias de suinocultura.* 2005. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2005. 136 p.

SANTANA, A. M. *Avaliação de sistema composto por reatores anaeróbios e aeróbio para tratamento de águas residuárias de suinocultura.* 2008. Tese (Doutorado em Microbiologia Agropecuária) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008. 261 p.

SOUZA, V.R.S. *Estudo da eficiência de digestores anaeróbios de fluxo ascendente em série.* Departamento de Tecnologia. Curso de Engenharia Civil – Universidade Estadual de Feira de Santana. Feira de Santana – Bahia, 2008. Monografia (Engenharia Civil).

Data de Recebimento 11/7/13

Data de Aceite 25/9/13