

II-051 – AVALIAÇÃO DE PARTIDA E MONITORAMENTO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DA MATÉRIA CARBONÁCEA EM BIODIGESTOR DE LODO TRATANDO SÓLIDOS DECANTADOS DE DEJETOS SUÍNOS

Rui Guilherme Cavaleiro de Macedo Alves⁽¹⁾

Engenheiro Sanitarista pela Universidade Federal do Pará. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba (Campina Grande). Doutor em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Professor Adjunto II da FAESA/ITEC/UFPA.

Paulo Belli Filho

Engenheiro sanitarista pela Universidade Federal de Santa Catarina. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela EESC-SP. Doutor em Química Industrial e Ambiental – Université de Rennes/França. Professor Adjunto do ENS/CTC/UFSC

Rejane Helena Ribeiro da Costa

Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo.. Doutora em Traitement des Eaux pelo Institut National des Sciences Appliquées da França. Pós Doutora pela Université Montpellier 1 da França. Professora titular do ENS/CTC/UFSC.

Iria Sartor Araújo

Doutora em Engenharia Ambiental pela UFSC

José Luiz Rocha Oliveira

Engenheiro Sanitarista pela Universidade Federal de Santa Catarina. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Engenheiro da SANEPAR.

Endereço ⁽¹⁾: Avenida Conselheiro Furtado, 3520 – Ed. Montmartre, apto. 1304. São Brás, Belém – Pará. CEP: 66.073-160 - Brasil - Tel: (91) 3229-2491 - e-mail: rmacedo@ufpa.br

RESUMO

Estima-se que Santa Catarina produza anualmente 18 milhões de m³ de dejetos suínos, lançados no meio ambiente, e que a poluição orgânica promovida por um suíno é 3,3 vezes maior que a produzida por um homem. Portanto, o potencial poluente da suinocultura no Estado é equivalente a uma população superior a 18 milhões de habitantes. A elevada concentração de matéria orgânica, favorecendo a ação de bactérias metanogênicas, a produção e a utilização do biogás, subproduto do processo, justifica a utilização de reatores anaeróbios no meio rural. A partida de um reator tratando dejetos suínos é um processo lento, mas possível, em um biodigestor de lodo, utilizando-se inóculo envelhecido do próprio dejetos suíno. O reator alimentado com uma vazão de 0,86 m³/dia de lodo decantado foi monitorado no período de setembro/04 a setembro/05 e apresentou eficiências de remoção de matéria carbonácea de 60 e 69%, respectivamente, para DQO e DBO. Para uma produção de 6 m³/dia de biogás, com pureza estimada de 60% de CH₄, pode-se garantir a geração de energia elétrica para uma residência com consumo de até 246 kWh/mês.

PALAVRAS-CHAVE: Suinocultura, Tratamento de Dejetos, Digestão Anaeróbia, Biodigestor de Lodo.

INTRODUÇÃO

O Brasil é o quarto maior produtor de carne suína do mundo e o estado de Santa Catarina detém a maior e mais desenvolvida suinocultura do país com um rebanho permanente de 5,5 milhões de cabeças (17% do rebanho nacional) e responde por mais de um terço dos abates totais de suínos (7,8 milhões de cabeças) e por 40% dos abates industriais, o que o torna o maior produtor do Brasil. A suinocultura é a principal atividade em pequenas e médias propriedades rurais do Estado e a dimensão social dessa atividade se sobressai pelos 150.000 empregos que gera e pelas 500.000 pessoas que dependem, diretamente, dela. O município de Braço do Norte, no sul do Estado, caracteriza-se economicamente por seu perfil agropecuário, destacando-se por seu rebanho de suínos. Nele concentra-se a maior densidade de suínos do país, com significância a nível mundial: são 662 suínos/km².

Na contramão dos benefícios sociais a suinocultura no Estado apresenta grande inconveniente ambiental. Estima-se que Santa Catarina produza anualmente 18 milhões de m³ de dejetos suínos que são lançados no meio ambiente afetando a qualidade da água, do solo e do ar. O valor médio per capita da DBO de suínos é de

198 g/animal.dia; comparando-se com o esgoto sanitário (DBO per capita média de 60 g/hab.dia), conclui-se que a poluição orgânica promovida por um suíno é 3,3 vezes maior que a produzida por um homem, comprovando-se, portanto, que o potencial poluente da suinocultura em Santa Catarina é equivalente a uma população superior a 18 milhões de habitantes. Esses números ganham expressão quando confrontados com a pequena base territorial do estado: Santa Catarina representa apenas 1,12% do território nacional. A grande quantidade de dejetos suínos produzidos, seu grande poder de poluição e a reduzida área disponível para a sua valorização no solo (para fertilização agrícola), exigem a aplicação de metodologias e tecnologias que proporcionem o controle da poluição ambiental deste setor.

A digestão anaeróbia apresenta-se com grande potencial de aplicação, haja vista que este dejetos possui elevada concentração de matéria orgânica, favorecendo a ação de bactérias metanogênicas. A produção e a utilização do biogás, subproduto do processo, na propriedade (para geração de energia elétrica, por exemplo) justificam a utilização de reatores anaeróbios no meio rural. A digestão anaeróbia de esterco de animais foi aplicada na França, Argélia e Alemanha, após a II Guerra Mundial, em um período de carência de energia. Com o passar do tempo, o seu interesse diminuiu devido aos baixos preços dos combustíveis fósseis. Motivado pela crise do petróleo, em 1973, voltou a crescer o interesse europeu na produção de energia por digestão anaeróbia de lodo animal. A direção para a aplicação desses digestores foi simplesmente a produção de energia. Além disso, com o aumento dos problemas ambientais, como o efeito estufa devido ao uso excessivo de energia fóssil, pôde-se ter, mais recentemente, um novo impulso para o desenvolvimento de energias alternativas.

A digestão de lodo é conhecida desde 1850, mas hoje é empregada com conhecimento e controle do processo, favorecendo seu dimensionamento. Os biodigestores de fluxo semicontínuo foram desenvolvidos para uso no tratamento de lodo e/ou esterco de animais. A eficiência é limitada pelo fato de não ter sistema de agitação e/ou aquecimento, portanto, resultando em um prolongado tempo de retenção.

No funcionamento de um biodigestor, num processo convencional de fluxo ascendente, em uma só fase, a digestão, o adensamento do lodo e a formação do sobrenadante se efetuam simultaneamente. O lodo afluyente é introduzido na zona em que o lodo está sendo digerido ativamente, liberando biogás. Quando o biogás sobe até a superfície, arrasta partículas de lodo e outros materiais, como óleos e graxas, formando uma camada de escumas. O lodo retorna ao fundo mais mineralizado e se adensa por ação da gravidade. Por sua vez, isto motiva a formação de uma zona sobrenadante, acima da zona de digestão do lodo (ver Figura 1).

A partida de um reator é definida como o período necessário para a obtenção de uma qualidade constante do efluente, a partir de uma massa de lodo também constante, em qualidade e quantidade. Em se tratando de dejetos suínos o processo é lento, pois, é necessário o desenvolvimento de uma massa bacteriana adaptada às características do afluyente, que diferentemente do esgoto sanitário, tende a se desenvolver no próprio reator. Este processo pode ser conseguido a partir de uma das três seguintes formas: (a) utilizando-se um inóculo já adaptado ao afluyente; (b) utilizando-se um inóculo não adaptado; e (c) na condição mais desfavorável, sem a utilização de inóculo. O teste de atividade metanogênica específica (AME) é um bom indicador para avaliar as condições de partida de um reator anaeróbio.

Henn (2005) deu partida em um biodigestor clássico (em setembro/03), com 90 m³ de volume útil, utilizando 45 m³ de um inóculo assim constituído: 39 m³ de lodo suíno e 6 m³ de uma mistura de lodo suíno e bovino. O teste de atividade metanogênica apresentou 0,0331 g DQO-CH₄/g SV.dia e 0,0565 g DQO-CH₄/g SV.dia, para os lodos de suíno e bovino, respectivamente; e de 0,040 g DQO-CH₄/g SV.dia para a mistura, na proporção apresentada. Monteiro (2005) no período de janeiro a março/04 mediu uma produção média de biogás no biodigestor 32 m³/dia, para um crescimento da AME de 147%, medido em abril/04 (AME do biodigestor igual a 0,0486 g DQO-CH₄/g SV.dia). Testes de cromatografia gasosa realizados no mês de maio/04 revelaram uma concentração média de 62,3% de metano no biogás

A remoção da matéria carbonácea, por digestão anaeróbia, depende de condições ambientais, além da interação entre bactérias fermentativas e metanogênicas. A temperatura e o pH influenciam o crescimento microbiano. Como os microrganismos não possuem meios para controlar sua temperatura interna, ela é determinada pela temperatura ambiente externa. Níveis ótimos têm sido reportados: um na faixa mesófila (de 30 a 35°C) e outro na faixa termófila (50 a 55°C). Sabe-se que a melhor faixa de temperatura para o processo está entre 30 e 40°C; e ressalte-se, em temperaturas abaixo de 15°C as bactérias param de produzir metano, interrompendo o processo e gerando subprodutos que originam maus odores. As bactérias produtoras de

metano têm um crescimento ótimo na faixa de pH entre 6,6 e 7,4, embora se possa conseguir estabilidade numa faixa mais ampla, entre 6,0 e 8,0. Valores abaixo ou acima desta faixa podem inibir por completo as bactérias formadoras de metano.

A digestão anaeróbia de esterco animal leva a uma conversão parcial da DQO do lodo para DQO do metano. Na digestão de lodo de suínos, sob condições ideais, cerca de 40% da DQO é convertida em metano.

Neste trabalho avaliou-se a partida e monitorou-se a eficiência de remoção da matéria carbonácea de um biodigestor de lodo, tratando os sólidos decantados de dejetos suínos, parte de uma estação de tratamento e valorização de dejetos, com o objetivo de valorizar a produção de biogás com vistas a um futuro aproveitamento do metano para geração de energia elétrica na propriedade.

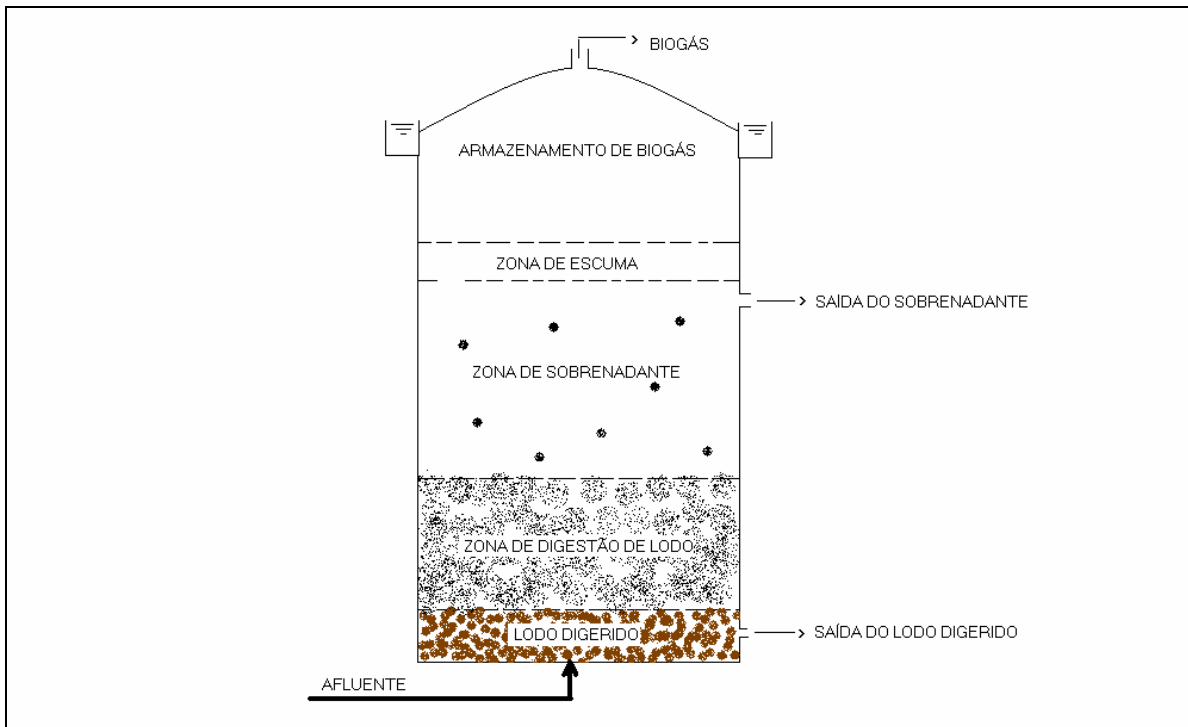


Figura 1: Representação esquemática do biodigestor de lodo de fluxo ascendente

MATERIAIS E MÉTODOS

O biodigestor estudado está situado numa propriedade de média produção de suínos com cerca de 2000 animais, equivalente a 200 criadeiras em ciclo completo, localizada na estrada geral do Rio Cachoeirinha, na Bacia do Rio Tubarão, município de Braço do Norte, sul do estado de Santa Catarina, Brasil (Figura 2). Os dejetos gerados nas granjas são encaminhados para uma caixa de recepção, uma parcela de até 10,0 m³/dia, vai para o sistema de tratamento onde uma lagoa de decantação faz a separação das fases sólida e líquida. Os sólidos separados são encaminhados para o biodigestor de lodo (a partir da manobra de um registro de fundo), alimentado com uma vazão de 0,86 m³/dia; e o líquido, para tratamento em uma lagoa anaeróbia, seguida de um reator UASB. O biogás produzido no biodigestor de lodo é medido e, futuramente, será utilizado na propriedade para geração de energia elétrica. Um esquema do sistema de tratamento implantado é apresentado na Figura 3.

O biodigestor de lodo foi operado no período de setembro/04 a setembro/05. A Tabela 1 apresenta um resumo de seus parâmetros construtivos e operacionais e a Figura 4, uma fotografia do biodigestor.

Os dejetos suínos transferidos de uma esterqueira da propriedade, com muitos anos de operação, foram utilizados como inóculo. O biodigestor foi cheio com os dejetos, em setembro/04, e posteriormente, através de manobra de registro, descarregou-se o sobrenadante mantendo-se no interior do reator um volume de 8,0 m³ de lodo decantado. Tomaram-se amostras de lodo do inóculo, para caracterização, e coletaram-se amostras do lodo do fundo do reator para determinação, principalmente, da AME.

Para avaliação da remoção da matéria carbonácea foram feitas coletas semanais na entrada e na saída do biodigestor de lodo e analisados os seguintes parâmetros: potencial hidrogeniônico (pH), temperatura (T), demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sólidos totais (ST), sólidos fixos totais (SFT) e sólidos voláteis totais (SVT). Complementarmente, instalou-se um medidor volumétrico de gás, antecedido de lavadores, principalmente, para remoção de gás sulfídrico (H_2S).

Temperatura e pH foram medidos *in situ*, no momento da coleta, com phmetro portátil da marca Órion, modelo 250A. Em seguida as amostras eram armazenadas, resfriadas e transportadas para o Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA) da Universidade federal de Santa Catarina (UFSC), onde os demais parâmetros foram analisados segundo o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition.

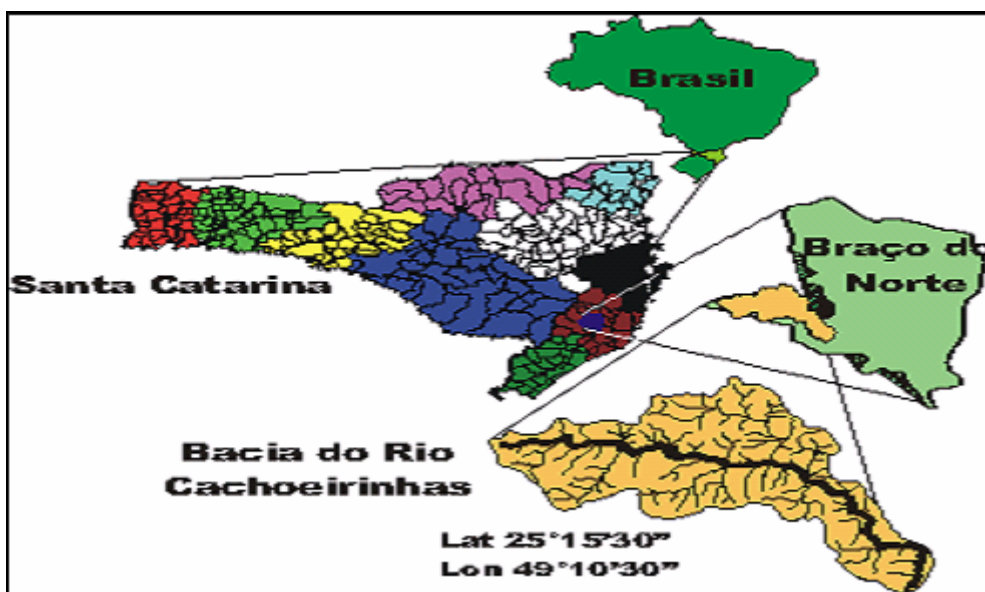


Figura 2: Mapa de localização do experimento

Tabela 1: Parâmetros construtivos e operacionais do biodigestor de lodo

| PARÂMETROS | BIODIGESTOR DE LODO |
|--|--------------------------|
| Diâmetro interno (D_{INT}) | 3,2 m |
| Profundidade (H) | 4,0 m |
| Altura útil (H_{UTIL}) | 3,5 m |
| Vazão de alimentação (Q) | 0,86 m ³ /dia |
| Volume útil do reator (V_R) | 30,0 m ³ |
| Tempo de detenção hidráulico (TDH) | 35,0 dias |

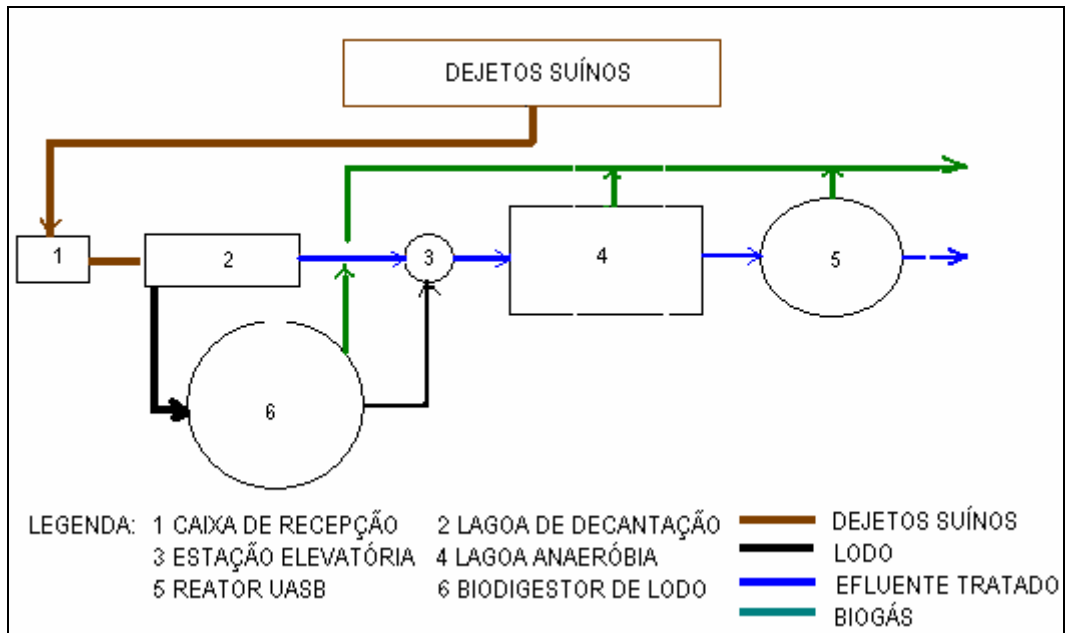


Figura 3: Esquema do sistema de tratamento implantado



Figura 4: Biodigestor de lodo operado

RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta os resultados dos testes para a caracterização físico-químicas e o resultado do teste de atividade metanogênica específica, para o lodo de inóculo, realizados em setembro/04; e para o lodo do fundo do biodigestor, em março/05. No período de seis meses observa-se um crescimento na AME de 105%, principalmente, em função do crescimento do lodo (sólidos voláteis) no interior do biodigestor. O teste de

DQO para o lodo do fundo do biodigestor certamente apresentou erro, pois, não reflete a mesma tendência de desenvolvimento.

Tabela 2: Características físico-químicas e AME dos lodos

| Parâmetro | Unidade | Lodo de Inóculo (set/04) | Lodo do Biodigestor (mar/05) |
|-----------|---------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| pH | | 7,44 | 7,40 |
| SF | mg/L | 31.302 | 67.767 |
| SV | mg/L | 38.169 | 76.418 |
| DQO | mg O ₂ /L | 63.233 | 20.885 |
| AME | g DQO-CH ₄ /g SV.dia | 0,0331 | 0,0350 |

A Tabela 3 apresenta os valores médios de entrada e saída no biodigestor de lodo, bem como, a eficiência de remoção dos parâmetros relacionados com a remoção da matéria carbonácea. Para as condições de pH e temperatura do afluente, de 7,3 e 24,2 °C, respectivamente, houve uma eficiência de remoção de: 60%, para a DQO; 69%, para a DBO; 63%, para ST; 67%, para SVT; e 58% para SFT. As características do efluente, com concentrações em mg/L são: DQO = 8.589, DBO = 4.009, ST = 9.958, SVT = 5.856 e SFT = 4.103; com pH de 7,5 e temperatura de 23,5 °C.

As figuras 5 e 6 apresentam os comportamentos dos parâmetros operacionais pH e temperatura no biodigestor durante o experimento; e as figuras 7, 8, 9 e 10 os dos parâmetros relacionados com a remoção da matéria carbonácea, DQO, DBO, ST e SVT, respectivamente.

Problemas com a lona de cobertura do biodigestor retardaram a medição do biogás produzido, o que só foi possível a partir de 23/08/05. No mês de setembro/05 a produção média de biogás foi de 5,4 m³/dia. A Tabela 10 apresenta os valores medidos e a Figura 11 a plotagem desses valores com a conseqüente curva de tendência de produção de biogás no biodigestor.

Tabela 3: Valores médios dos parâmetros analisados

| PARÂMETRO | BIODIGESTOR DE LODO | | |
|------------------|---------------------|---------------|----------------|
| | AFLUENTE | EFLUENTE | Eficiência (%) |
| pH | 7,3 ± 0,12 | 7,5 ± 0,12 | - |
| Temperatura (°C) | 24,2 ± 4,0 | 23,5 ± 3,8 | - |
| DQO (mg/L) | 21.279 ± 14.324 | 8.589 ± 6.555 | 60 |
| DBO (mg/L) | 12.971 ± 6.483 | 4.009 ± 3.102 | 69 |
| ST (mg/L) | 27.242 ± 19.745 | 9.958 ± 7.438 | 63 |
| SVT (mg/L) | 17.517 ± 13.447 | 5.856 ± 4.966 | 67 |
| SFT (mg/L) | 9.724 ± 6.522 | 4.103 ± 2.487 | 58 |

Tabela 4: Médias mensais de pH

| MÊS | BIODIGESTOR DE LODO | |
|--------------|---------------------|----------|
| | AFLUENTE | EFLUENTE |
| JAN (1) | 7,3 | 7,5 |
| FEV (2) | 7,1 | 7,3 |
| MAR (3) | 7,2 | 7,3 |
| ABR (4) | 7,4 | 7,6 |
| MAI (5) | 7,3 | 7,5 |
| JUN (6) | 7,3 | 7,4 |
| JUL (7) | 7,3 | 7,7 |
| AGO (8) | 7,4 | 7,6 |
| SET (9) | 7,1 | 7,4 |
| MÉDIA | 7,3 | 7,5 |

Tabela 5: Médias mensais de T (°C)

| MÊS | BIODIGESTOR DE LODO | |
|--------------|---------------------|----------|
| | AFLUENTE | EFLUENTE |
| JAN (1) | 28,2 | 26,9 |
| FEV (2) | 27,1 | 27,0 |
| MAR (3) | 29,4 | 28,1 |
| ABR (4) | 27,7 | 26,7 |
| MAI (5) | 24,1 | 24,2 |
| JUN (6) | 21,3 | 21,0 |
| JUL (7) | 19,5 | 18,9 |
| AGO (8) | 21,1 | 20,6 |
| SET (9) | 19,2 | 18,6 |
| MÉDIA | 24,2 | 23,5 |

Tabela 6: Médias mensais de DQO (mg/L)

| MÊS | BIO DIGESTOR DE LODO | |
|--------------|----------------------|----------|
| | AFLUENTE | EFLUENTE |
| JAN (1) | 4.520 | 1.596 |
| FEV (2) | 3.996 | 3.000 |
| MAR (3) | 11.667 | 4.491 |
| ABR (4) | 8.750 | 3.474 |
| MAI (5) | 29.758 | 9.709 |
| JUN (6) | 27.584 | 10.479 |
| JUL (7) | 29.917 | 9.789 |
| AGO (8) | 30.970 | 11.913 |
| SET (9) | 44.350 | 22.850 |
| MÉDIA | 21.279 | 8.589 |

Tabela 7: Médias mensais de DBO (mg/L)

| MÊS | BIO DIGESTOR DE LODO | |
|--------------|----------------------|----------|
| | AFLUENTE | EFLUENTE |
| JAN (1) | 2.700 | 500 |
| FEV (2) | 8.300 | 800 |
| MAR (3) | 12.133 | 1.367 |
| ABR (4) | 8.100 | 1.050 |
| MAI (5) | 11.600 | 6.075 |
| JUN (6) | 24.700 | 6.950 |
| JUL (7) | 15.738 | 4.206 |
| AGO (8) | 18.867 | 7.133 |
| SET (9) | 14.600 | 8.000 |
| MÉDIA | 12.971 | 4.009 |

Tabela 8: Médias mensais de ST (mg/L)

| MÊS | BIO DIGESTOR DE LODO | |
|--------------|----------------------|----------|
| | AFLUENTE | EFLUENTE |
| JAN (1) | 5.118 | 4.600 |
| FEV (2) | 4.435 | 2.935 |
| MAR (3) | 9.328 | 4.132 |
| ABR (4) | 9.648 | 4.455 |
| MAI (5) | 35.711 | 9.069 |
| JUN (6) | 37.726 | 7.196 |
| JUL (7) | 52.600 | 23.696 |
| AGO (8) | 44.512 | 14.505 |
| SET (9) | 46.105 | 19.038 |
| MÉDIA | 27.242 | 9.958 |

Tabela 9: Médias mensais de SVT (mg/L)

| MÊS | BIO DIGESTOR DE LODO | |
|--------------|----------------------|----------|
| | AFLUENTE | EFLUENTE |
| JAN (1) | 2.595 | 2.240 |
| FEV (2) | 2.330 | 1.440 |
| MAR (3) | 5.502 | 2.048 |
| ABR (4) | 5.783 | 2.073 |
| MAI (5) | 23.909 | 5.146 |
| JUN (6) | 21.047 | 3.705 |
| JUL (7) | 35.264 | 14.755 |
| AGO (8) | 30.532 | 8.970 |
| SET (9) | 30.692 | 12.330 |
| MÉDIA | 17.517 | 5.856 |

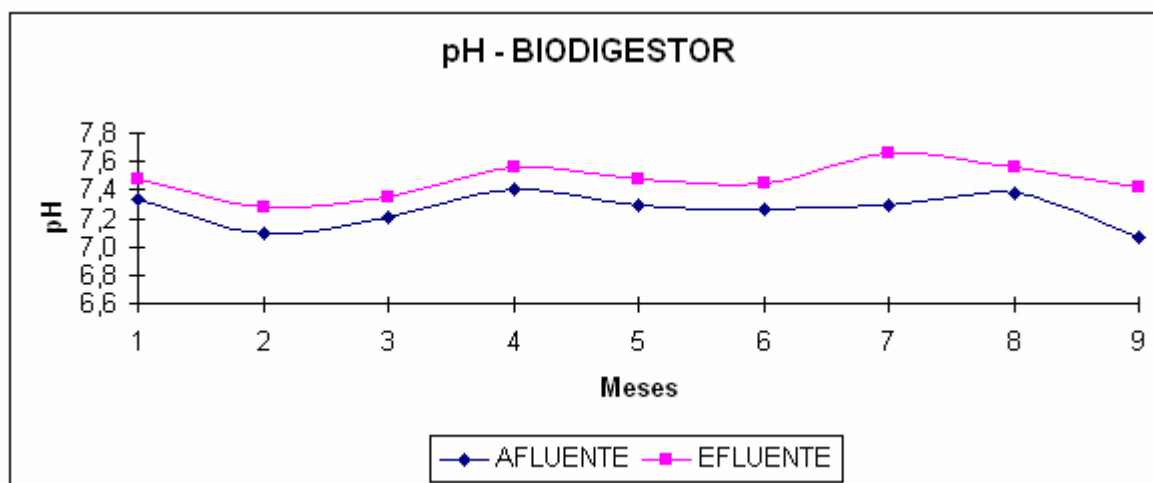


Figura 5: Apresentação gráfica dos valores médios mensais de Ph

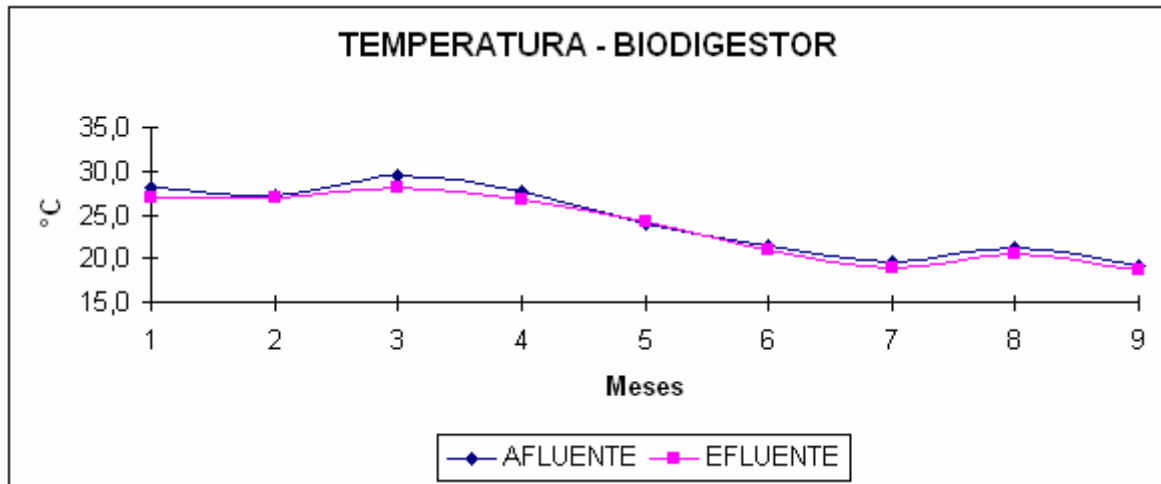


Figura 6: Apresentação gráfica dos valores médios mensais de temperatura

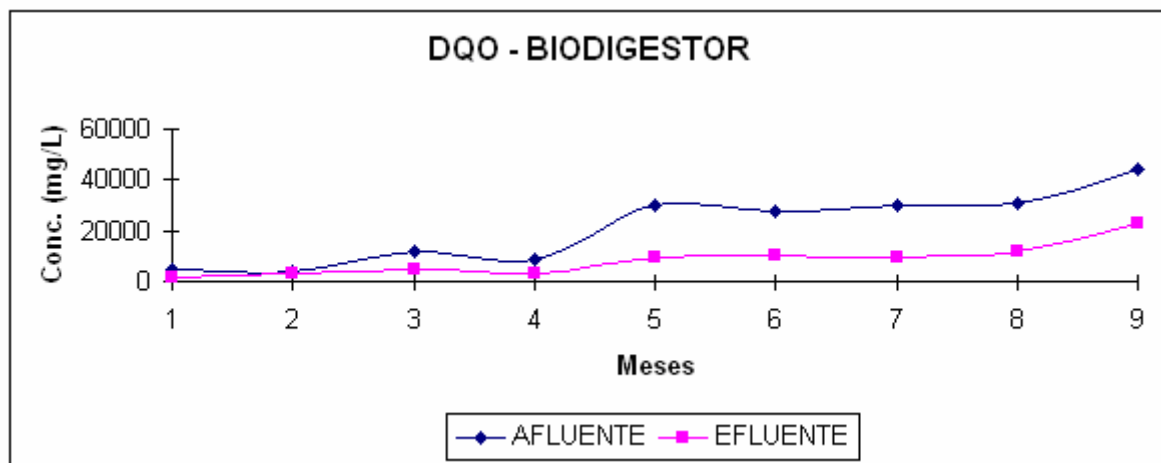


Figura 7: Apresentação gráfica dos valores médios mensais de DQO

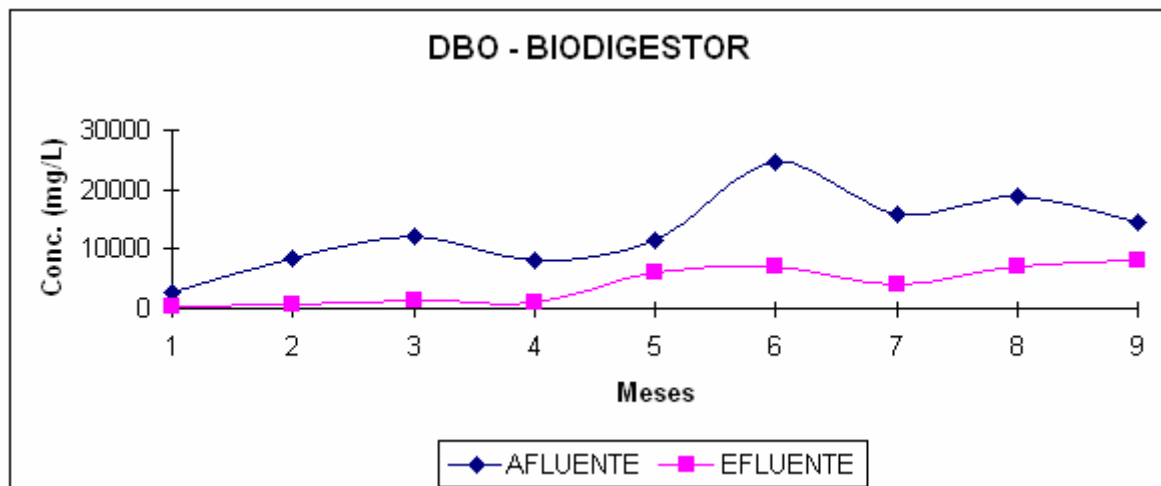


Figura 8: Apresentação gráfica dos valores médios mensais de DBO

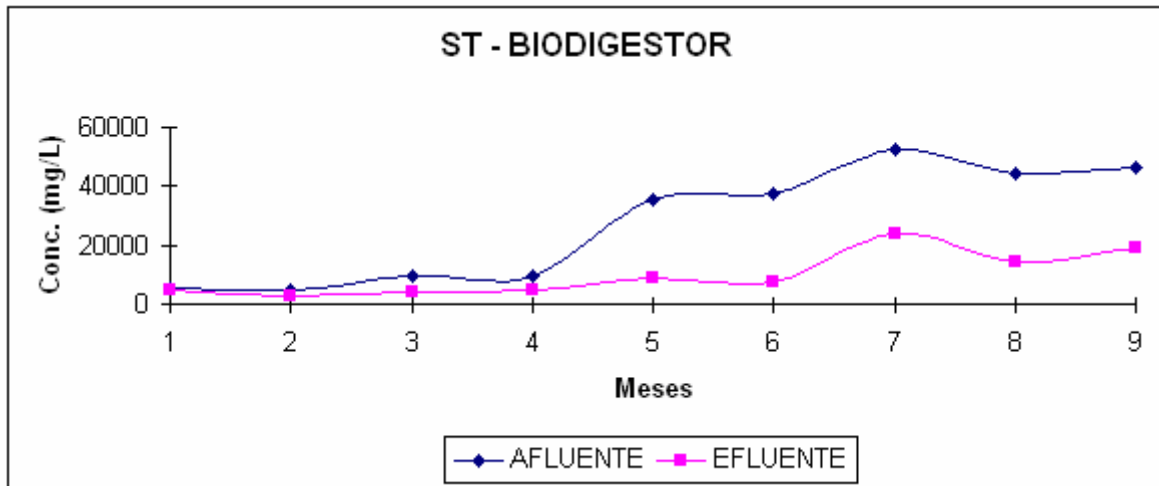


Figura 9: Apresentação gráfica dos valores médios mensais de ST

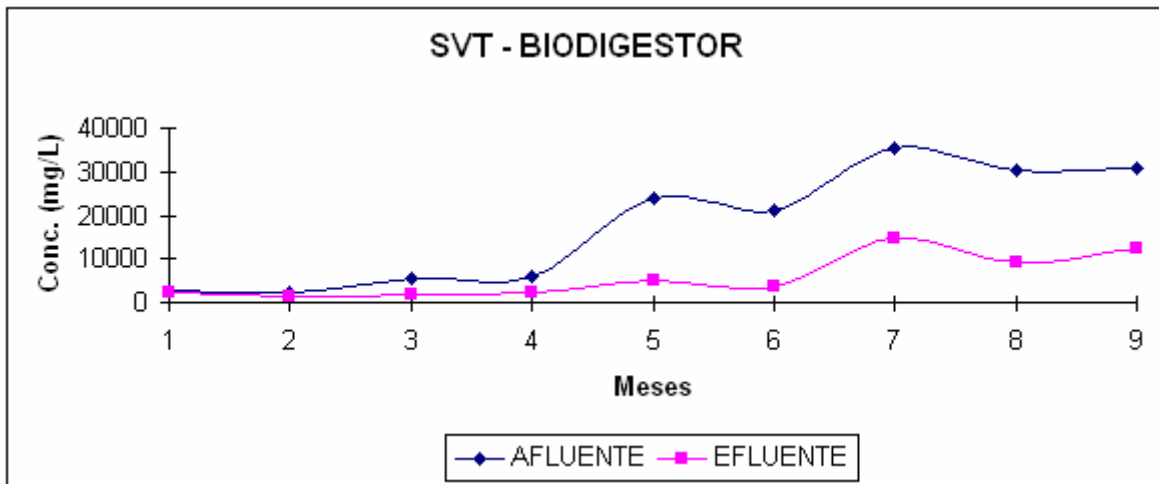


Figura 10: Apresentação gráfica dos valores médios mensais de SVT

Tabela 10: Valores medidos da produção de biogás

| Nº | Data | Biodigestor de Lodo | | |
|----|----------|---------------------|-----------|---------|
| | | Acumulado | Na semana | Por dia |
| 1 | 23.08.05 | 0 | | 0,38 |
| 2 | 24.08.05 | 16 | 16 | 2,28 |
| 3 | 31.08.05 | 31 | 15 | 2,14 |
| 4 | 07.09.05 | 67 | 36 | 5,14 |
| 5 | 14.09.05 | 108 | 41 | 5,86 |
| 6 | 21.09.05 | 145 | 37 | 5,29 |
| 7 | 28.09.05 | 182 | 37 | 5,29 |

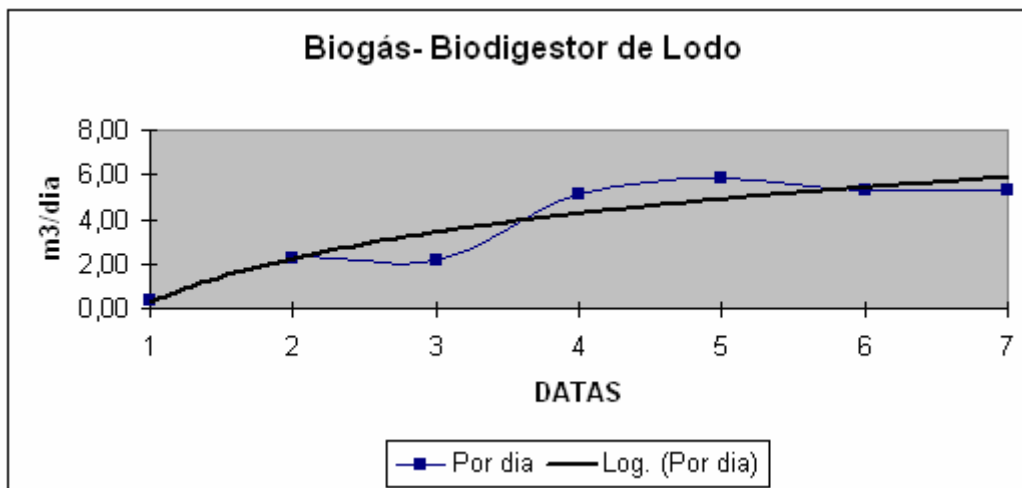


Figura 11: Valores da produção de biogás e tendência da curva de crescimento

CONCLUSÕES

- Mesmo sabendo-se que a partida de reatores anaeróbios tratando dejetos suínos deve ser dada com o auxílio de inóculo de um lodo de AME maior que a do lodo puro de dejetos suínos, conclui-se que este start up pode ser alcançado, num período de seis meses, a partir de lodo de dejetos suínos envelhecido em esterqueira como no caso da propriedade estudada.
- A eficiência de remoção da matéria carbonácea de 60 e 69%, em relação a DQO e DBO, respectivamente, está em conformidade com referências anteriores, mesmo com parâmetros operacionais como pH e temperatura, na média, trabalhando no limite da zona de tolerância.
- O biodigestor foi monitorado, em grande parte, no período de inverno, sob condições de baixa temperatura, principalmente a partir de mês de abril/05, evidenciando um provável melhor desempenho no período de verão.
- As concentrações de DQO e DBO no efluente do biodigestor não recomendam a sua disposição no ambiente. Prevendo esta situação projetou-se o encaminhamento do efluente do biodigestor para o poço de sucção e tratamento juntamente com o clarificado da lagoa de decantação.
- Para uma vazão de alimentação de 0,86 m³/dia de lodo houve uma produção média de 5,4 m³/dia de biogás, com uma tendência de estabilização de produção na faixa de 6 m³/dia.
- Tomando-se como base a produção de 6 m³/dia de biogás, com uma pureza estimada de 60% de CH₄, pode-se garantir a geração de energia elétrica para uma residência com consumo de até 246 kWh/mês.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVES, R.G.C.M. *et al* (2005). **Digestores anaeróbios para tratamento de dejetos suínos – avaliação de partida para diferentes configurações de reatores**. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande/MS.
2. HENN, A (2005). **Comportamento de partida e avaliação de um sistema real de tratamento e armazenamento de dejetos de suínos em uma pequena propriedade suinícola no município de Braço do Norte/SC**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, UFSC. Florianópolis/SC.
3. MONTEIRO, L. W. S. (2005). **Manejo ambiental de dejetos suínos integrado a potencialidade de geração de biogás em uma pequena propriedade em Braço do Norte/SC**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, UFSC. Florianópolis/SC.

AGRADECIMENTOS

Aos financiadores deste projeto de pesquisa: FINEP, FUNCITEC, FUNDAGRO; e aos parceiros EMBRAPA e EPAGRI.