



PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
FUNDAÇÃO PARQUE TECNOLÓGICO ITAIPU

CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENERGIAS
RENOVÁVEIS COM ÊNFASE EM BIOGÁS

AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS NA OPERAÇÃO DE UM BIODIGESTOR PARA TRATAMENTO DE DEJETOS SUÍNOS

FELIPE PINHEIRO SILVA

**Foz do Iguaçu, PR – Brasil
2013**

Felipe Pinheiro Silva

**AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS NA OPERAÇÃO
DE UM BIODIGESTOR PARA TRATAMENTO DE DEJETOS SUÍNOS**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Especialista em Energias Renováveis com Ênfase em Biogás, pela Universidade Federal da Integração Latino-Americana.

Prof.^a. Orientadora: Janine Padilha Botton

Foz do Iguaçu, PR - Brasil

2013

533.73 Silva, Felipe Pinheiro
S586a Avaliação de parâmetros físico-químicos na operação de um biodigestor para tratamento de dejetos suínos. / Felipe Pinheiro Silva. -- Foz do Iguaçu, 2013. 61 f.: il.

Monografia (Especialização em energias renováveis com ênfase em biogás) – Universidade Federal da Integração Latino Americana, Foz do Iguaçu, PR, 2013.

Bibliografia.

Orientador: Profa. Janine Padilha Botton

1. Biogás. 2. Energia renováveis. I. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA) pela oportunidade de realizar este curso de especialização.

Aos meus pais, pelo incentivo e apoio em todo o caminho.

À minha orientadora, Prof.^a. Janine Padilha Botton, que contribuiu com sugestões e melhorias para este trabalho.

Aos meus colegas, que mesmo em poucos encontros, tive a oportunidade de trocar informações que foram relevantes para a elaboração do trabalho.

Ao Sr. José Carlos Colombari, ao seu filho Pedro Colombari, e à sua família, proprietários da Granja Colombari, que foram sempre atenciosos e hospitaleiros, e quando possível fornecendo informações relevantes para o trabalho.

Ao Instituto de Tecnologia Aplicada e Inovação (ITAI) e à Fundação Parque Tecnológico Itaipu (FPTI), em especial Antônio Hachisuca e Patricia Leonardo, pela oportunidade na minha carreira profissional e por fornecer subsídios para realização deste estudo.

E a todas as outras pessoas que de alguma forma contribuíram para que esse trabalho fosse realizado.

EPIGRAFE

"O que sabemos é uma gota, o que ignoramos é um oceano".

Isaac Newton

RESUMO

A suinocultura é uma atividade de grande importância na região oeste do Paraná, porém a concentração de suínos gera grandes volumes de dejetos que necessitam de um tratamento. Este que pode ser realizado utilizando os biodigestores, gerando ainda subprodutos de valor econômico como o biogás e o biofertilizante. Este estudo buscou caracterizar e avaliar parâmetros físico-químicos de importância na operação de biodigestores para melhor funcionamento e conseqüentemente melhor qualidade nos subprodutos gerados. A área de estudo escolhida está localizada no município de São Miguel do Iguaçu – PR, e possui um sistema de criação para suínos em crescimento e terminação, utilizando dois biodigestores ligados em série para o tratamento de dejetos dos suínos. Para amostragem foram escolhidos três pontos, na entrada do sistema, entre os biodigestores e na saída do segundo biodigestor. Os parâmetros físico-químicos analisados foram pH, demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5), demanda química de oxigênio (DQO), sólidos totais (ST), sólidos totais voláteis (STV), acidez volátil (AV) e alcalinidade total (AT), durante o período de janeiro a junho de 2012. Os resultados indicam que o pH variou de 7,16 a 7,59 no efluente. Os valores de DQO no afluente tiveram média de 30.800 mg.L^{-1} . A remoção de DBO_5 e DQO pelo sistema foi de 60 e 59% respectivamente. O volume de sólidos totais variou de 29.421 a 15.376 mg.L^{-1} . A remoção de sólidos voláteis foi de 61%. A relação AV/AT mostrou um processo de biodigestão estável e com grande consumo de ácidos. De modo geral, o monitoramento de biodigestores através destes parâmetros físico-químicos se mostrou suficiente na avaliação das características dos processos de biodigestão.

PALAVRAS-CHAVE: suinocultura, tratamento anaeróbio, biomassa, energia renovável

RESUMEN

La crianza de cerdos es una actividad de gran importancia en el oeste de Paraná, pero la concentración de cerdos genera grandes volúmenes de residuos que requieren tratamiento que se pueden realizar utilizando los digestores, generando incluso subproductos de valor económico como el biogás y biofertilizante. Este estudio tuvo como objetivo caracterizar y evaluar los parámetros físicos y químicos de importancia en la operación de digestores para un mejor funcionamiento y la mejor calidad en los productos generados. El área de estudio elegido se encuentra en el municipio de São Miguel do Iguazu - PR y tiene un sistema de cultivo para cerdos en crecimiento y finalización, mediante dos digestores conectados en serie para el tratamiento de estiércol de cerdo. Para muestreo fueron elegidos tres puntos. en la entrada del sistema, entre los digestores y en la salida de segundo digestor. Los parámetros fisicoquímicos analizados fueron pH, DBO₅, DQO, ST, STV, acidez volátil y la alcalinidad total durante el período de enero a junio de 2012. Los resultados indican que el pH varió desde 7,16 hasta 7,59 en el efluente. Los valores de DQO en el afluente tenían un promedio de 30.800 mg.L⁻¹. La eficiencia de remoción del sistema de DQO y DBO₅ fue 60 y 59% respectivamente. El volumen de sólidos totales varió de 29.421 a 15.376 mg.L⁻¹. La eliminación de los sólidos volátiles fue del 61%. La relación de AV/AT mostró un proceso de digestión estable y con gran consumo de ácido. En general, la supervisión de digestores a través de estos parámetros fisicoquímicos he demostrado ser suficiente en la evaluación de las características de los procesos de digestión.

PALABRAS CLAVE: porcina, tratamiento anaerobio, biomasa, energía renovable

ABSTRACT

The pig farming is an activity of great importance in western Paraná, but the concentration of pigs generates large volumes of waste that requires adequate treatment. This can be accomplished using the digesters, even generating byproducts of economic value such as biogas and biofertilizer. This study aimed to characterize and evaluate physical and chemical parameters of importance in the operation of digesters for better functioning and consequently better quality in the generated products. The chosen area is located in the city of São Miguel do Iguaçu - PR and has a grow-finishing breeding system, using two digesters connected in series for the treatment of swine manure. Three were chosen for sampling points in system input, between the two digesters and in the second digester's output. The physico-chemical parameters analyzed were pH, BOD₅, COD, TS, TVS, volatile acids and total alkalinity during the period of January to June 2012. Results indicate that the pH ranged from 7.16 to 7.59 in the effluent. The values of COD in the influent had an average of 30,800 mg.L⁻¹. The removal of COD and BOD₅ in the system was 60 and 59% respectively. The volume of total solids ranged from 29,421 to 15,376 mg.L⁻¹. The removal of volatile solids was 61%. The ratio AV / AT showed a stable digestion process with great acid consumption. In general, monitoring digesters through these physicochemical parameters proved sufficient in the evaluation of the characteristics of digestion processes.

KEYWORDS: swine, anaerobic treatment, biomass, renewable energy

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1. Eutrofização artificial do lago de Itaipu | 18 |
| FIGURA 2. Esquema das etapas de produção de biogás..... | 21 |
| FIGURA 3. Biodigestor modelo indiano..... | 24 |
| FIGURA 4. Biodigestor modelo chinês..... | 24 |
| FIGURA 5. Biodigestor UASB ou holandês..... | 25 |
| FIGURA 6. Biodigestor modelo fluxo tubular..... | 25 |
| FIGURA 7. Matriz do conteúdo de sólidos | 29 |
| FIGURA 8. Localização do município de São Miguel do Iguaçu – PR | 35 |
| FIGURA 9. Vista aérea da Granja Colombari..... | 36 |
| FIGURA 10. Biodigestores em série no tratamento de dejetos..... | 37 |
| FIGURA 11. Localização dos pontos de amostragem..... | 38 |
| FIGURA 12. Realização da coleta no Ponto 1 | 40 |
| FIGURA 13. Temperaturas médias do município..... | 42 |
| FIGURA 14. Remoção de DBO ₅ e DQO nos biodigestores em % | 45 |
| FIGURA 15. Remoção de ST e STV nos biodigestores em % | 47 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| TABELA 1. Produção média de dejetos por suíno conforme diferentes categorias .. | 16 |
| TABELA 2. Parâmetros físico-químicos de dejetos de suínos | 17 |
| TABELA 3. Composição química média de dejetos suínos - Embrapa - SC..... | 17 |
| TABELA 4. Vantagens e desvantagens do processo anaeróbio..... | 22 |
| TABELA 5. Dimensões dos biodigestores..... | 38 |
| TABELA 6. Parâmetros analisados do efluente e metodologias empregadas | 40 |
| TABELA 7. Resultados das análises físico-químicas | 43 |
| TABELA 8. Análises físico-químicas do pH para os pontos 1, 2 e 3 | 43 |
| TABELA 9. Análises físico-químicas do Ponto 1 da DBO ₅ e da DQO..... | 44 |
| TABELA 10. Taxa de remoção da DBO ₅ e da DQO nos biodigestores..... | 45 |
| TABELA 11. Relação DBO ₅ /DQO e DQO/DBO ₅ | 46 |
| TABELA 12. Análises físico-químicas do Ponto 1 para ST e STV | 47 |
| TABELA 13. Taxa de remoção da ST e da STV nos biodigestores (%)..... | 48 |
| TABELA 14. Valores de alcalinidade total, acidez volátil e recomendações | 48 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APP – Área de Preservação Permanente

AT – Alcalinidade Total

AV – Acidez Volátil

CC – Ciclo Completo

COPEL – Companhia Paranaense de Energia Elétrica

COT – Carbono Orgânico Total

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

pH – Potencial Hidrogeniônico

RL – Reserva Legal

ST – Sólidos Totais

STV – Sólidos Totais Voláteis

SV – Sólidos Voláteis

TRH – Tempo de Retenção Hidráulico

UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket

UPL – Unidade Produtora de Leitões

UPT – Unidade Produtora de Terminação

SUMÁRIO

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 11 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 13 |
| 2.1 | Suinocultura no Brasil | 13 |
| 2.1.1 | Suinocultura no Paraná | 13 |
| 2.2 | Características da Suinocultura..... | 14 |
| 2.2.1 | Sistemas de criação..... | 14 |
| 2.2.2 | Fases de desenvolvimento do suíno..... | 15 |
| 2.2.3 | Manejo de suínos..... | 15 |
| 2.2.4 | Volume de dejetos gerados | 16 |
| 2.2.5 | Características físico-químicas dos efluentes | 17 |
| 2.3 | Impactos Ambientais da Suinocultura | 18 |
| 2.4 | Biodigestão Anaeróbia das Águas Residuárias da Suinocultura | 19 |
| 2.4.1 | Produtos da biodigestão anaeróbia | 22 |
| 2.5 | Modelos de Biodigestores..... | 23 |
| 2.5.1 | Alimentação de Biodigestores | 26 |
| 2.6 | Parâmetros Físico-químicos na Operação de Biodigestores | 26 |
| 2.6.1 | Temperatura | 27 |
| 2.6.2 | Potencial hidrogeniônico (pH)..... | 27 |
| 2.6.3 | Acidez volátil, alcalinidade total e relação AV/AT | 28 |
| 2.6.4 | Sólidos totais e sólidos totais voláteis..... | 29 |
| 2.6.5 | DBO, DQO e relação DBO/DQO | 31 |
| 2.7 | Remoção de Carga Orgânica..... | 33 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS..... | 35 |
| 3.1 | Caracterização da Área de Estudo..... | 35 |
| 3.2 | Sistema de Tratamento dos Dejetos | 36 |
| 3.3 | Pontos de Amostragem | 38 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 3.4 | Coleta das Amostras | 39 |
| 3.5 | Parâmetros Físico-Químicos Analisados | 40 |
| 3.5.1 | Temperatura | 41 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 42 |
| 4.1 | Temperatura Ambiente | 42 |
| 4.2 | Análises Físico-químicas dos Dejetos Suínos..... | 42 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 50 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 52 |

1 INTRODUÇÃO

A suinocultura é uma atividade de grande importância na agroindústria brasileira. A cada ano, a produção de suínos cresce no país e tem como destaque a região sul, com maior representatividade neste setor.

Esta atividade traz consigo um grande passivo ambiental, pois através da criação de animais em modo intensivo, ocorre a redução dos custos, porém acaba concentrando grandes volumes de dejetos ou biomassa residual.

O impacto ambiental causado pela disposição não adequada desses dejetos causa a poluição da água, do ar e do solo. Uma das soluções encontradas para os criadores de suínos é o tratamento desta biomassa em biodigestores.

Os biodigestores possuem grande capacidade de tratamento de efluentes com altas cargas orgânicas, e com a vantagem de ter como um dos subprodutos o biofertilizante e o biogás, uma fonte de energia renovável que pode ser utilizado como renda extra para o produtor na produção de energia elétrica ou térmica.

Porém, como todo tratamento de biomassa, o biodigestor é um sistema complexo, e sua operação e manutenção são necessárias no dia a dia para o correto funcionamento e para maximizar a produção de biogás e a qualidade do biofertilizante.

Uma das maneiras para verificar as condições de operação da biodigestão é através de alguns parâmetros físico-químicos. Estes parâmetros e sua relação podem representar o atual estado da biodigestão e prevenir eventuais problemas no sistema de tratamento.

A correta operação e manutenção destes biodigestores através do monitoramento dos parâmetros físico-químicos pode aperfeiçoar a produção do biogás e biofertilizante, mantendo a estabilidade e conseqüentemente a viabilidade técnico-econômica do tratamento.

O objetivo deste estudo é realizar a caracterização dos dejetos suínos gerados, juntamente com a utilização dos parâmetros físico-químicos obtidos nas diversas partes do tratamento para obtenção de relações que podem ser de grande importância na operação de biodigestores rurais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Suinocultura no Brasil

A produção de carne suína existe no Brasil desde os primórdios da nossa civilização, com sua carne e banha sendo consumidas pela população brasileira desde então. A imigração europeia no final do século XIX e início do século XX, para os estados do Sul, trouxeram para o Brasil hábitos alimentares de produzir e consumir suínos (DAMBRÓS JÚNIOR, 2012).

O crescimento do consumo de carne suína cresce a cada ano no Brasil. Em 2011, foram abatidos 34,9 milhões de suínos, um aumento de 7,2% em relação ao ano anterior (IBGE, 2012).

No mundo, também existe um crescimento constante na produção de suínos. Em 2007, estimava-se uma produção mundial de 99,9 milhões de toneladas ao ano (DAMBRÓS JÚNIOR, 2012).

No Brasil, em 2011, a produção foi cerca de 3,4 milhões de toneladas de carne suína, contando com aproximadamente 40 mil suinocultores, colocando também o Brasil como quarto maior exportador e produtor do mundo (ABIPECS, 2011).

A região sul tem destaque especial no país, sendo a principal região abatedora de suínos em 2011, respondendo por 65,9% do abate nacional. Santa Catarina liderou com 26,4% do abate nacional de suínos, seguida do Rio Grande do Sul (18,0%) e Paraná (16,6%) (IBGE, 2012).

2.1.1 Suinocultura no Paraná

O Paraná merece um lugar de destaque no setor agrícola nacional, recebendo já o nome de “celeiro do Brasil” devido à liderança na produção de diversas culturas (GONÇALVES, 2011).

Além da produção agrícola, o estado também tem destaque na pecuária com 26,3% do abate nacional na avicultura, e 4,1% e 18% no abate de bovinos e suínos, respectivamente. Na suinocultura, o estado se destacou pelo maior crescimento entre as Unidades da Federação frente a 2010, tendo abatido 1,2 milhões de cabeças a mais, um crescimento de 22,2% (IBGE, 2012).

Segundo Willers *et al.* (2012), o estado é o sétimo mais representativo no setor da criação e o segundo no setor de abates de suínos. Dentro do estado, sua pesquisa indicou que a região oeste do Paraná destacou-se com o melhor desempenho, tanto no setor de criação quanto no setor de abate de suínos.

A região oeste do Paraná teve um grande desempenho econômico, devido principalmente ao aumento da produção pecuária de pequenos animais, diversificando e integralizando o setor agropecuário (ALVES, LIMA & PIFFER, 2009).

2.2 Características da Suinocultura

2.2.1 Sistemas de criação

Pode-se dividir o sistema de criação de suínos em três tipos: criação extensiva, sistema de confinamento e criação ao ar livre (CARNE SUÍNA BRASILEIRA, 2012):

- a) Criação Extensiva: realizada sem utilização de qualquer instalação. É identificada pela permanente manutenção dos animais no campo, durante todo o processo produtivo.
- b) Sistema de criação em confinamento: criação realizada em instalações, em todas as fases produtivas, sem acesso às pastagens. É utilizado pelas empresas que realizam a comercialização da carne suína no mercado atual.
- c) Criação ao ar livre: os animais são mantidos em piquetes nas fases de reprodução, maternidade e creche, cercados com fios e/ou telas de arame eletrificado. As fases de crescimento e terminação ocorrem em confinamento.

2.2.2 Fases de desenvolvimento do suíno

Embora ainda existam sistemas de criação ao ar livre, na suinocultura moderna, a maioria das criações é realizada no sistema confinado, e basicamente essa criação é dividida em quatro fases: gestação, maternidade, creche, e terminação (TRICHES, 2003):

- a) Gestação: a gestação média de suínos é de 114 dias. Na criação tecnicizada abriga matrizes que retornaram do cio, que são porcas desmamadas e aguardam cobertura para nova gestação;
- b) Maternidade: fase onde as matrizes ficam uma semana antes do parto até o desmame dos leitões, que ocorre entre 21 e 28 dias de idade.
- c) Creche: fase que vai do desmame dos leitões até atingirem 25-30 kg (60-70 dias de idade);
- d) Terminação: compreende a fase que vai da creche (25-30 kg) até o abate (100-110 kg com idade em torno de 150-160 dias).

A partir do sistema de criação, dividem-se em três sistemas diferentes de produção utilizados pelos suinocultores (FAEP, 2010):

- a) Ciclo Completo (CC): os suinocultores criam desde a cobertura até o abate dos animais;
- b) Unidade Produtora de leitões (UPL): criação de animais até aproximadamente 23 kg;
- c) Unidade Produtora de Terminação (UPT): recebem os leitões das UPL e conduzem até a idade de abate.

2.2.3 Manejo de suínos

- **Criação de suínos em lâmina d'água**

A lâmina d'água é utilizada para proporcionar maior conforto térmico aos animais (PAIANO *et al.*, 2007).

Trata-se de uma "piscina" construída ao longo do piso das instalações de terminação, no lado mais baixo da inclinação, e tem como objetivo melhorar a higiene das instalações devido à água estimular a defecação dos animais, facilitando, conseqüentemente o manejo, além de ocorrer menor desperdício de ração, devido à ração que cai na água ser aproveitada (ALBUQUERQUE *et al.*, 1998).

- **Criação de suínos em cama sobreposta**

A criação de suínos em cama sobreposta (*Deep litter*) trata-se de uma alternativa ao manejo tradicional dos dejetos suínos na forma líquida. Nesse sistema os suínos podem permanecer todas as fases do sistema criatório sobre uma cama que pode ser de maravalha, casca de arroz, palha de cereais ou serragem (GIACOMINI & AITA, 2008).

2.2.4 Volume de dejetos gerados

O manejo, o tipo de bebedouro e o sistema de higienização utilizado influenciam no volume de dejetos gerados, juntamente com a categoria e o número de animais (PERDOMO, LIMA & NONES, 2001).

A Tabela 1 mostra uma produção média de dejetos líquidos segundo as diferentes categorias de criação de suínos.

Tabela 1. Produção média de dejetos por suíno conforme diferentes categorias

| Categoria de Suínos | Esterco (kg.dia⁻¹) | Esterco + urina (kg.dia⁻¹) | Dejetos Líquidos (litros.dia⁻¹) |
|----------------------------|--------------------------------------|--|---|
| 25 – 100 kg | 2,30 | 4,90 | 7,00 |
| Porcas em gestação | 3,60 | 11,00 | 16,00 |
| Porcas em lactação | 6,40 | 18,00 | 27,00 |
| Machos | 3,00 | 6,00 | 9,00 |
| Leitão Desmamado | 0,35 | 0,95 | 1,40 |
| Média | 2,35 | 5,80 | 8,60 |

Fonte: Oliveira (1993)

Aos dejetos de origem animal, como no caso da suinocultura, geralmente, é adicionada água à mistura a fim de torná-la líquida e de melhor manipulação (CORTEZ *et al.*, 2008).

No Brasil, as atividades de bovinocultura e suinocultura são vastas, abrangendo os principais rebanhos criados. No caso dos suínos, além do aproveitamento energético, os dejetos também são utilizados como fertilizantes, diminuindo o impacto ambiental, e melhorando as características do solo (CORTEZ, LORA & AYARZA, 2008).

2.2.5 Características físico-químicas dos efluentes

Os dejetos suínos são constituídos por fezes, urina, água (desperdiçada pelos bebedouros e de higienização), resíduos de ração, pêlos, poeira e outras matérias provenientes do processo de criação (BORDIN *et al.*, 2005).

Dal Mago (2009) realizou uma pesquisa com diversos autores reunindo parâmetros físico-químicos de dejetos de suínos e está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros físico-químicos de dejetos de suínos

| Parâmetros | Autores | | | | | | | |
|----------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| | Silva (1996) ¹ | Gosmann (1997) ² | Medri (1997) ¹ | Cazarré (2000) ¹ | Henn (2005) ¹ | Monteiro (2005) ² | Alves (2007) ¹ | Gusmão (2008) ^{2*} |
| pH | - | - | 6,9 | 7,06 | 6,6 | 6,75 | 7,35 | 7,44 |
| DQO _{total} | 25.543 | 44.000 | 21.647 | 20.005 | 43.368 | 85.000 | 12.578 | 41.800 |
| DBO ₅ | - | - | 11.979 | - | 21.300 | 23.000 | 9.110 | - |
| NTK | 2.374 | 3.150 | 2.205 | 2.487 | 1.990 | 1.600 | 1.621 | - |
| P _{total} | 578 | 970 | 633 | 541 | 712 | 750 | 286 | - |
| Sólidos Totais | 22.399 | 33.000 | 17.240 | 14.322 | 36.110 | 73.000 | 8.514 | 35.100 |
| Sólidos Voláteis | 16.389 | 26.000 | 10.226 | 9.304 | 25.230 | 53.000 | 5.288 | 24.500 |

¹ mg.L⁻¹; ²mg.kg⁻¹; *Valores médios, dos biodigestores avaliados, obtidos no período do verão. Sendo pH o potencial hidrogeniônico, DQO_{total} – Demanda Química de Oxigênio, DBO₅ – Demanda Bioquímica de Oxigênio, NTK – Nitrogênio Total Kjeldahl, P_{Total} – Fósforo Total

Fonte: Dal Mago (2009)

Os dejetos sofrem variação em seus componentes, dependendo do sistema de manejo adotado, e principalmente da quantidade de água e nutrientes em sua composição, como observado na Tabela 3 (DIESEL, MIRANDA & PERDOMO, 2002).

Tabela 3. Composição química média de dejetos suínos - Embrapa - SC

| Parâmetro | Mínimo (mg.L ⁻¹) | Máximo (mg.L ⁻¹) | Média (mg.L ⁻¹) |
|-----------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| DQO | 11.530,2 | 38.448,0 | 25.542,0 |
| Sólidos Totais | 12.697,0 | 49.432,0 | 22.399,0 |
| Sólidos voláteis | 8.429,0 | 39.024,0 | 16.388,8 |
| Sólidos Fixos | 4.268,0 | 10.408,0 | 6.010,2 |
| Sólidos Sedimentáveis | 220,0 | 850,0 | 428,9 |
| Nitrogênio total | 1.666,0 | 3.710,0 | 2.374,3 |
| Fósforo total | 320,0 | 1.180,0 | 577,8 |
| Potássio total | 260,0 | 1.140,0 | 535,7 |

Fonte: Diesel *et al.* (2002)

2.3 Impactos Ambientais da Suinocultura

Na atividade rural, os resíduos são provenientes, na maioria, de atividades intensivas de produção animal, com finalidade de obter carne, leite, ovos e de atividades agrícolas (CORTEZ *et al.*, 2008).

A suinocultura é uma atividade de grande potencial poluidor por gerar um grande volume de dejetos, e pelo fato do sistema de criação por confinamento trazer um aumento de volume e concentração de dejetos poluentes em pequenas áreas (ROESLER & CESCNETO, 2003).

Os impactos ambientais, pelo não tratamento da biomassa residual podem ser observados em escalas preocupantes pelos efeitos cumulativos das concentrações de nutrientes orgânicos, que reduzem a qualidade das águas, levando à eutrofização desses corpos de água superficiais e subsuperficiais (BLEY JR. *et al.*, 2009).

Esteves (1998) considerou a eutrofização artificial, como uma forma de poluição, já que ela provoca profundas modificações qualitativas e quantitativas nas comunidades aquáticas, nas condições físicas e químicas do meio e no nível de produção do sistema. Esse mesmo autor identifica as principais fontes de eutrofização como sendo oriundas de efluentes domésticos, industriais, agropastoris e das chuvas.

A Figura 1 mostra um estágio de eutrofização do lago de Itaipu.



Figura 1. Eutrofização artificial do lago de Itaipu (BLEY JR. *et al.*, 2009)

A evolução da eutrofização em um corpo d'água, como um lago ou uma represa, está geralmente associada ao uso e ocupação predominante do solo em uma bacia hidrográfica. Von Sperling (2005) apontou como principais efeitos indesejados da eutrofização, sendo resumidamente:

- a) Problemas estéticos e recreacionais;
- b) Condições anaeróbias de fundo de corpo;
- c) Eventuais condições anaeróbias no corpo de água como um todo;
- d) Eventuais mortandades de peixes;
- e) Maior dificuldade e elevação nos custos de tratamento de água;
- f) Problemas com abastecimento de água industrial
- g) Toxicidade das algas;
- h) Modificações na qualidade e quantidade de peixes de valor comercial;
- i) Redução na navegação e capacidade de transporte
- j) Desaparecimento gradual do lago como um todo;

Além das consequências à comunidade aquática, a disposição da biomassa em biodigestores, ou locais onde há a produção de metano, contribuem para o efeito estufa. No contexto global, os dejetos suínos podem representar até 50% das emissões de metano (BLEY JR. *et al.*, 2009).

Outro agravante pela destinação inadequada dos dejetos de animais é a proliferação de insetos e roedores, que acabam trazendo doenças para os seres humanos (BARBOSA & LANGER, 2011).

Para o tratamento desta biomassa são utilizados processos físicos e químicos ou processos de conversão bioquímica através de microrganismos. Entre os processos microbiológicos conhecidos, destaca-se a biodigestão anaeróbia, a qual ultimamente sofre um intenso desenvolvimento tecnológico devido à problemática do tratamento de resíduos industriais, urbanos e da agroeconomia (CORTEZ *et al.*, 2008).

2.4 Biodigestão Anaeróbia das Águas Residuárias da Suinocultura

O tratamento biológico das águas residuárias reproduzem de certa maneira, os processos naturais que ocorrem após lançamento de despejos em corpos d'água, caracterizados como processos autodepurativos. Em estações de tratamento, com a

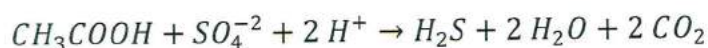
utilização de tecnologia, objetiva-se fazer com que o tratamento se desenvolva em condições controladas e em taxas mais elevadas (VON SPERLING, 1996).

O processo da digestão anaeróbia consiste na transformação de compostos orgânicos complexos em substâncias mais simples, como metano e dióxido de carbono, através da ação combinada de diferentes microrganismos que atuam na ausência de oxigênio (DIESEL, MIRANDA & PERDOMO, 2002)

Quando os dejetos são facilmente biodegradáveis, o processo de biodigestão anaeróbia se mostra mais eficiente e mais econômico (CHERNICHARO, 2007). Segundo Cortez *et al.* (2008), o tratamento anaeróbio é um grande produtor de energia, produzindo baixa biomassa celular e necessitando somente 10% dos nutrientes necessários para um processo aeróbio.

As principais reações para geração de energia que ocorrem em condições anaeróbias estão relacionadas a seguir (VON SPERLING, 1996):

- a) redução de sulfatos (dessulfatação);



- b) redução de CO₂ (metanogênese hidrogenotrófica);



- c) metanogênese acetotrófica;



A Figura 2 mostra um fluxograma das diferentes etapas e produtos do processo de biodigestão anaeróbia.

Os processos anaeróbios podem ser divididos em quatro fases principais, como resumidamente dispostos a seguir (CHERNICHARO, 2007; OLIVEIRA & HIRAGASHI, 2006):

a) Hidrólise: através das enzimas, as bactérias fermentativas hidrolíticas, os materiais particulados complexos (polímeros) são assimilados e ocorre a hidrólise dos materiais dissolvidos em substâncias mais simples (moléculas menores);

b) Acidogênese: os produtos solúveis oriundos da primeira fase da hidrólise são metabolizados pelas bactérias fermentativas acidogênicas, que convertem os compostos entre outros em ácidos graxos, voláteis, alcóois, ácido láctico, gás carbônico, hidrogênio, amônia e sulfeto de hidrogênio.

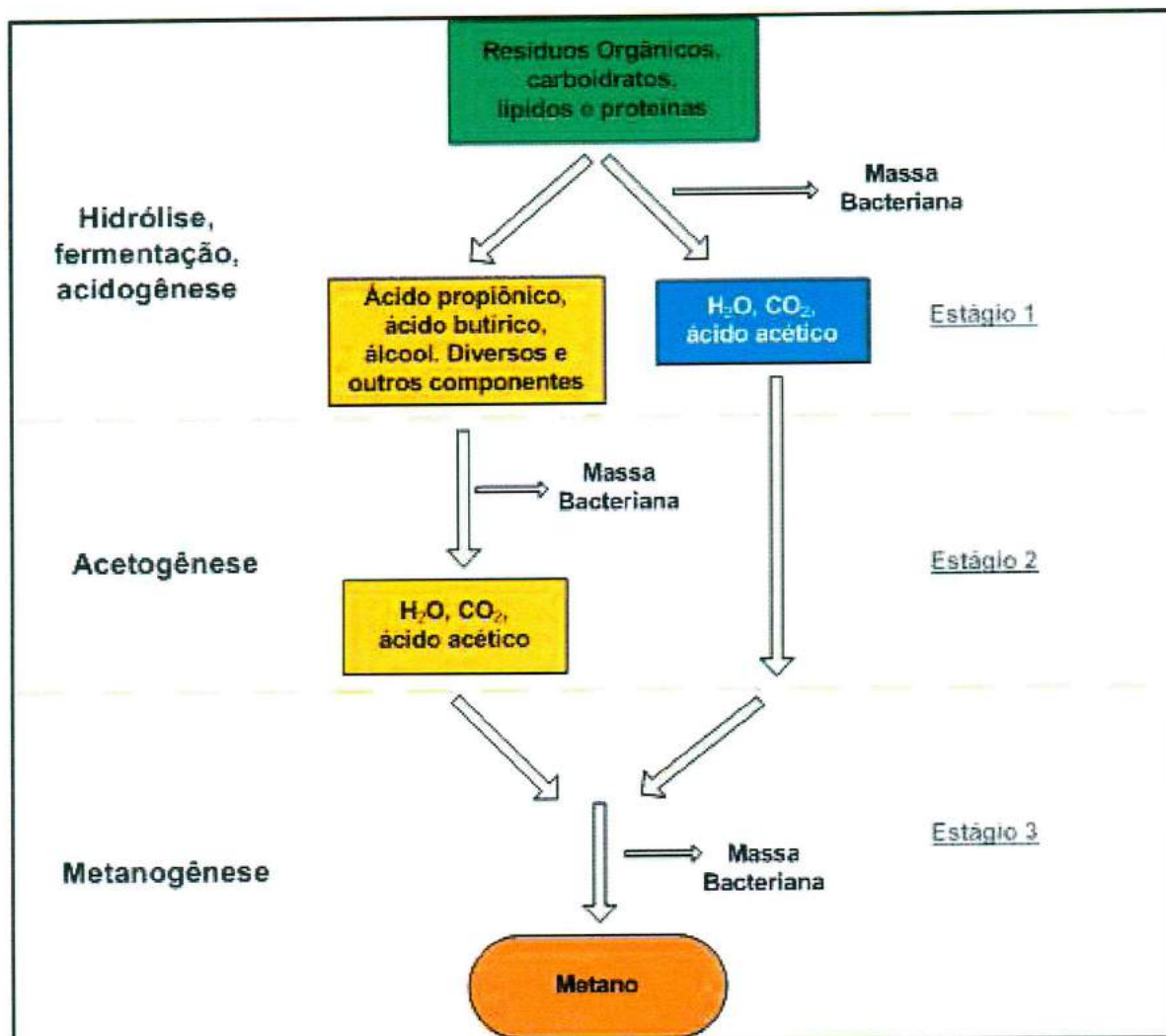


Figura 2. Esquema das etapas de produção de biogás (BLEY JR. *et al.*, 2009)

c) Acetogênese: os principais produtos da fase acidogênica são oxidados pelas bactérias acetogênicas, gerando compostos assimiláveis pelas bactérias acetogênicas, entre eles o hidrogênio, o dióxido de carbono e o acetato.

d) Metanogênese: a etapa final transforma os compostos em metano e dióxido de carbono. Os compostos orgânicos como ácido acético, hidrogênio/dióxido de carbono, ácido fórmico, metano, metilamida e monóxido de carbono são convertidos pelas bactérias metanogênicas, que podem ser acetoclásticas ou hidrogênionicas, conforme sua afinidade de assimilação.

Assim como outros processos de tratamento, os processos anaeróbios possuem algumas vantagens e desvantagens, explicadas na Tabela 4:

Tabela 4. Vantagens e desvantagens do processo anaeróbio

| Vantagens | Desvantagens |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Baixa produção de sólidos; • Baixa demanda de área; • Aplicabilidade em pequena e grande escala; • Menor consumo de energia em relação aos processos aeróbios • Menor produção de lodo em relação aos processos aeróbios, gerando custos menores para disposição; • Aceita maiores taxas de matéria orgânica; • Metano pode ser utilizado como combustível; | <ul style="list-style-type: none"> • Maior tempo de retenção em relação aos processos aeróbios; • Produção de gases como o H₂S, que causam odores e corrosão; • Temperatura adequada por volta de 35°C, para o processo apresentar taxas adequadas de conversão; • Operação mais sensível a diferenças de cargas, devido as diferentes fases bioquímicas; • São necessárias formas de pós-tratamento • Possibilidade de geração de efluente com aspecto desagradável; |

Fonte: Adaptado de CORTEZ *et al.* (2008) e CHERNICHARO (2007)

2.4.1 Produtos da biodigestão anaeróbia

Nos processos de biodigestão anaeróbia da biomassa residual podem-se gerar dois produtos e um “serviço”: o biogás, o biofertilizante e a venda dos serviços de sequestro de carbono, também conhecido como créditos de carbono (BLEY JR. *et al.*, 2009).

O biogás é um gás composto por diversos outros gases, entre eles estão o metano (CH₄), o gás sulfídrico (H₂S), hidrogênio (H₂), vapor d’água, entre outros gases em menor quantidade (OLIVEIRA & HIRAGASHI, 2006).

O outro produto do processo anaeróbio é o biofertilizante, que se trata dos efluentes dos biodigestores que após passarem em lagoas de decantação, pode ser então utilizando como fertilizante, sendo rico em carbono, nitrogênio, fósforo, potássio, entre outros (BLEY JR. *et al.*, 2009).

A importância do biofertilizante tem sido cada vez mais valorizada para os solos agrícolas, segundo Jewell (1977) *apud* Cortez *et al.*(2008) comparando-se o valor econômico do metano (no biogás) com o do nitrogênio (do efluente), pode-se verificar a importância dos resíduos como fertilizantes, sendo inclusive superior ao valor econômico da energia contida no metano.

Segundo Miranda *et al.* (2009), além do atendimento da demanda energética pela utilização do biogás e a disposição do biofertilizante no solo, a utilização de biodigestores trazem também como produto, o saneamento no meio rural.

A construção de estações de tratamento de dejetos é obrigatória, entretanto somente uma pequena parte dos criadores utilizam biodigestores, devido ao elevado custo, ficando restrito às propriedades com grande número de suínos (LEMOS *et al.*, 2008).

2.5 Modelos de Biodigestores

O setor produtivo rural, em especial a suinocultura, vem buscando reduzir o prejuízo ao meio ambiente com utilização de biodigestores nas propriedades de forma a tratar os resíduos gerados adequando às necessidades da legislação e saneando o meio ambiente (FERNANDES *et al.*, 2010).

No mundo, em países ricos e pobres dos quatro continentes, os biodigestores vêm sendo utilizados como fonte de energia e biofertilizante (BARREIRA, 2011).

Segundo Cortez *et al.* (2008) os biodigestores podem ser classificados de acordo com o tipo de reação e com as características hidráulicas.

Existem diversos tipos de reatores anaeróbios ou biodigestores, sendo os mais utilizados os seguintes modelos:

a) Modelo indiano: esse modelo é caracterizado por possuir uma campânula como gasômetro, a qual pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação, e possui uma parede central que divide o tanque permitindo que o material circule por toda a câmara de fermentação sendo o gás produzido em pressão constante (DEGANUTTI *et al.*, 2002). Este modelo é apresentado na Figura 3.

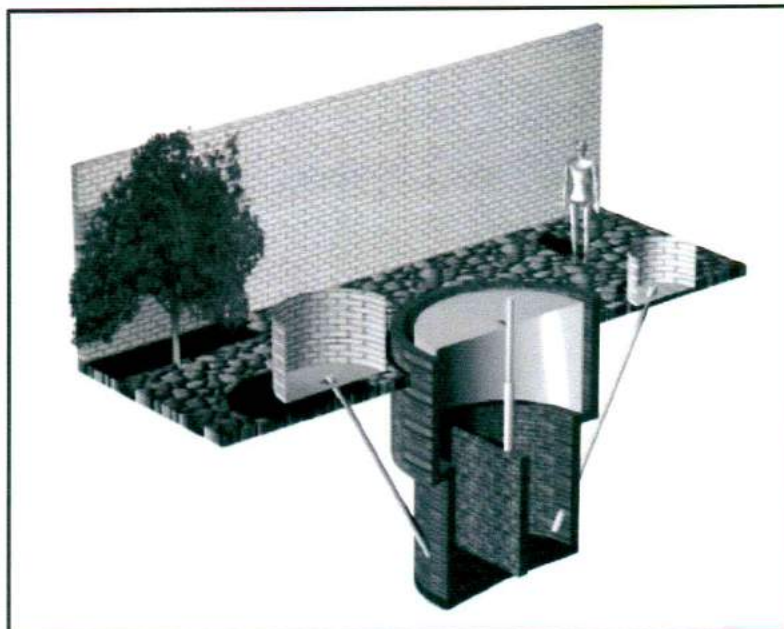


Figura 3. Biodigestor modelo indiano (DEGANUTTI *et al.*, 2002)

b) Modelo chinês: é formado por uma câmara cilíndrica em alvenaria para a fermentação, com teto abobado, impermeável, destinado a armazenar o biogás (DEGANUTTI *et al.*, 2002). O modelo chinês é apresentado na Figura 4.

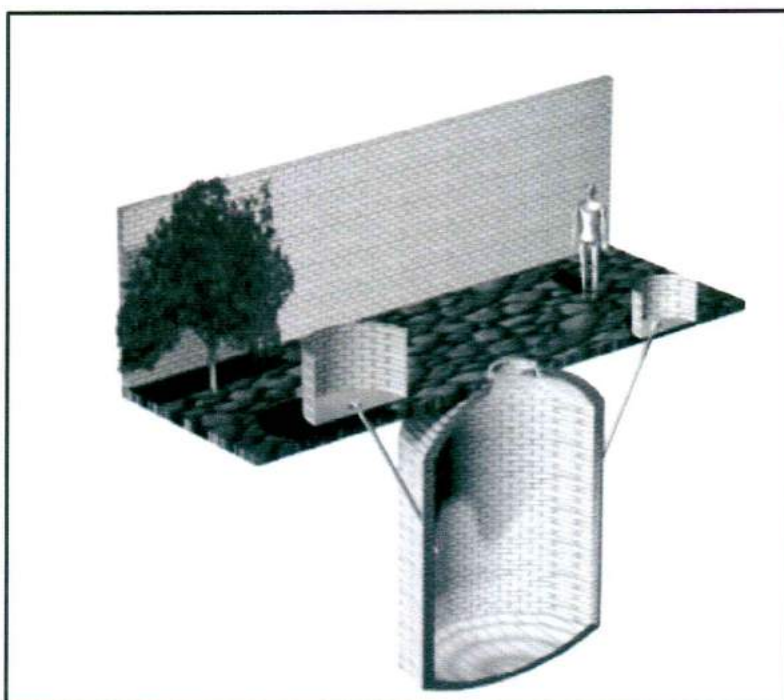


Figura 4. Biodigestor modelo chinês (DEGANUTTI *et al.*, 2002)

c) Reatores Holandeses tipo UASB: os reatores *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo), é uma tecnologia mais eficiente para efluentes com teor de sólidos abaixo de 2%, que

apresenta também um baixo tempo de residência. Os reatores anaeróbios de manta de lodo e fluxo ascendente se baseiam no princípio da passagem do efluente por um leito de lodo (bactérias) no sentido ascendente - como apresentado na Figura 5 (CORTEZ *et al.*, 2008).

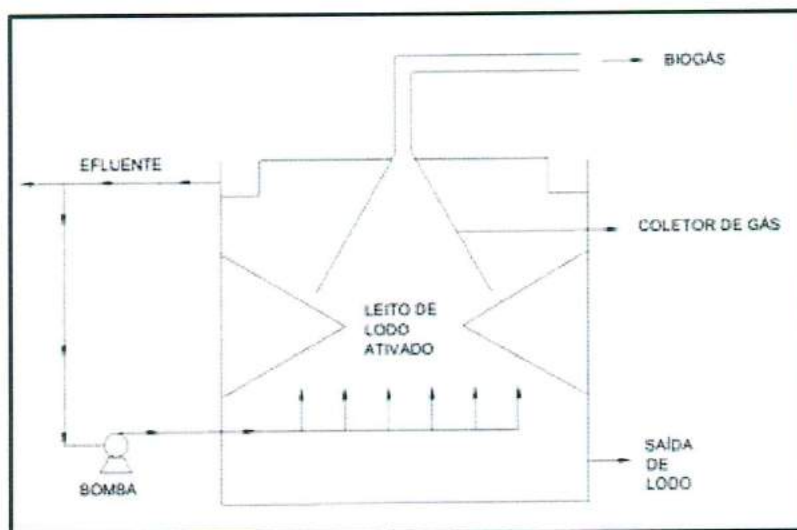


Figura 5. Biodigestor UASB ou holandês (CORTEZ *et al.*, 2008)

d) Modelo fluxo tubular: também chamado de fluxo pistão (plug-flow), é um reator de alimentação caracterizado como uma lagoa coberta (relação comprimento/largura de 3:1) (LIMA, 2011). Este modelo é o mais difundido no Brasil, oferece menor custo e sua instalação é bem mais fácil em relação aos modelos antigos, podendo ser usado tanto em pequenas como em grandes propriedades (NEVES, 2010). Este modelo pode ser visto na Figura 6.

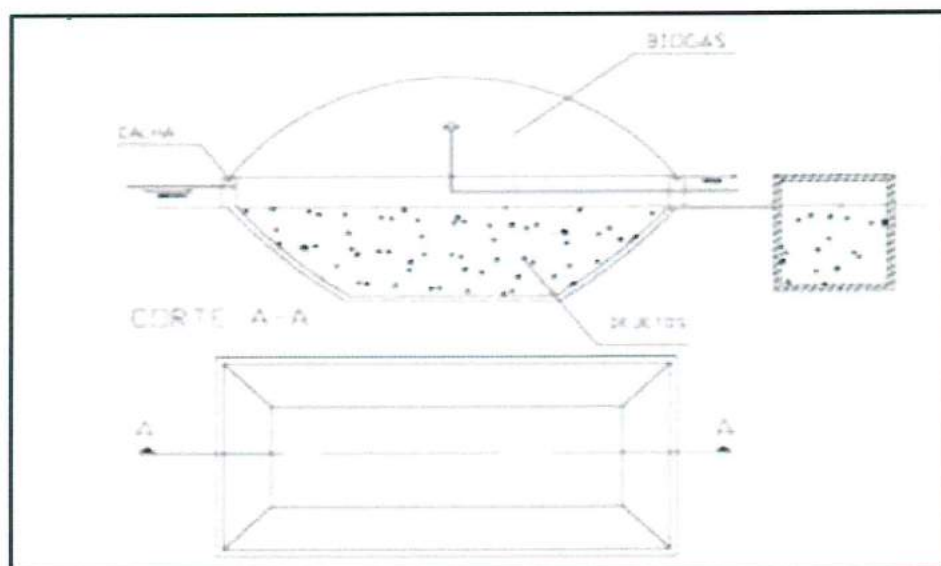


Figura 6. Biodigestor modelo fluxo tubular (CORTEZ *et al.*, 2008)

2.5.1 Alimentação de Biodigestores

Os biodigestores podem ser alimentados e operados de maneira contínua, semi-contínua ou batelada (batch), sendo mais comum o sistema semi-contínuo em granjas suínícolas (ANDRADE *et al.*, 2002; KUNZ & PALHARES, 2004).

Nos biodigestores do modelo batelada é inserida uma única carga de todos os dejetos a serem tratados. Essa biomassa permanece no reservatório destinado ao tratamento até que todo o ciclo de biodigestão esteja completo, quando normalmente cessa a produção de biogás (LIMA, 2011).

Quando operados no modo contínuo, ocorre continuamente a alimentação do biodigestor desde que haja matéria-prima disponível. Neste tipo de biodigestor a biomassa é líquida ou semi-líquida (COMASTRI FILHO, 1981).

Em regime semi-contínuo, ocorre o descarregamento dos dejetos para o biodigestor diariamente de uma só vez (KUNZ & PALHARES, 2004).

2.6 Parâmetros Físico-químicos na Operação de Biodigestores

Geralmente, o controle de processos de digestores anaeróbios é difícil, pois inúmeras condições operacionais estão interligadas e mudanças em um dos parâmetros podem afetar indiretamente outros (GERARDI, 2003).

Para um funcionamento adequado do sistema não é somente necessário garantir a eficiência na remoção da carga orgânica e produção constante de biogás, mas também prevenir perturbações e potenciais falhas no sistema de biodigestão (LABATUT & GOOCH, 2012).

Tradicionalmente os parâmetros utilizados no monitoramento do tratamento biológico são pH, alcalinidade, DQO (Demanda Química de Oxigênio), DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e vazão de biogás. Porém, esses parâmetros não antecipam desordens no funcionamento microbiológico do reator. Deste modo faz-se necessário o monitoramento de biossólidos no reator, com as análises de sólidos voláteis (SILVEIRA *et al.*, 2000).

Labatut e Gooch (2012) também consideraram outros parâmetros importantes no monitoramento, como o nitrogênio-amoniaco e as concentrações de metano e hidrogênio no biogás.

2.6.1 Temperatura

A temperatura possui correlação com a cinética da velocidade e com a atividade microbiana do sistema de tratamento biológico (CHERNICHARO, 2007).

Jordão e Pessôa (2009) consideraram a influência da temperatura nos processos de tratamento principalmente nas operações de natureza biológica, onde a velocidade do tratamento de esgoto aumenta com a temperatura.

Na digestão anaeróbia essa influência merece atenção especial, pois as bactérias anaeróbias são muito sensíveis às variações de temperatura, e às vezes, uma pequena variação pode interromper a produção de metano com o consequente acúmulo de ácidos voláteis (OLIVEIRA, 1993).

Nos processos anaeróbicos os melhores desempenhos para operação são obtidos em duas faixas mais altas de temperatura, de 30 a 40°C para as mesofílicas ou 50 a 60°C para as termofílicas (GRADY, DAIGGER & LIM, 1999).

Kunz *et al.* (2005) avaliou um biodigestor classificado como pequeno porte (150 m³), onde o sistema apresentou baixa perda de calor para o meio, e acredita que o efeito da temperatura para grandes biodigestores seja ainda menor devido ao aumento no volume desses biodigestores.

A temperatura influenciou nos valores de sólidos encontrados por Dal Mago (2009). Nos meses de inverno houve um aumento do volume de sólidos no efluente devido principalmente ao menor desperdício de água, tanto pelos bebedouros, quanto pela higienização.

2.6.2 Potencial hidrogeniônico (pH)

É definido como logaritmo negativo da concentração de íons hidrogênio, tipicamente estando entre 6,5 e 7,5 nos esgotos novos, porém os esgotos velhos ou sépticos possuem pH inferior a 6,0 (JORDÃO & PESSÔA, 2009)

De maneira geral, o crescimento bacteriano ocorre dentro de faixas de pH limitadas, embora a sobrevivência ocorra dentro de faixas bem mais amplas, sendo que a maior parte das bactérias não suporta valores de pH acima de 9,5 e abaixo de 4,0 (VON SPERLING, 1996).

O pH afeta todo o sistema ambiental do reator anaeróbio, bem como a produção de enzimas e a toxicidade de compostos químicos para os microrganismos (CHERNICHARO, 2007).

No início do processo (fase ácida) o pH diminui, devido à formação de ácidos orgânicos, e na fase metanogênica, esses ácidos são convertidos e o pH torna a aumentar (CORTEZ *et al.*, 2008).

No controle operacional das estações de tratamento, o pH é um parâmetro muito importante, principalmente na digestão anaeróbia (JORDÃO & PESSÔA, 2009).

A faixa ótima de desempenho de um reator anaeróbio fica entre 6,8 e 7,4. O pH baixo inibe as bactérias metanogênicas, enquanto o pH elevado causa intoxicação por concentrações de amônia livre (GRADY, DAIGGER & LIM, 1999). Porém segundo Chernicharo (2007), pode-se conseguir uma estabilidade na formação de metano numa faixa mais ampla de pH, entre 6,0 e 8,0.

2.6.3 Acidez volátil, alcalinidade total e relação AV/AT

Como indicador de processo, a concentração de ácidos voláteis (AV) é um dos parâmetros mais sensíveis no monitoramento. Ele pode ser inibidor do processo de biodigestão, que pode levar a uma falha no sistema. (LABATUT & GOOCH, 2012).

Na cadeia de formação de metano, as bactérias acidogênicas têm crescimento ótimo na faixa de pH entre 5 e 6, faixa na qual as bactérias metanogênicas estão com seu metabolismo inibido. Este fato pode acarretar em acúmulo de ácidos voláteis no sistema e interrupção da produção de metano (CHERNICHARO, 2007).

A capacidade tampão de um biodigestor anaeróbico é dada pela quantidade de alcalinidade presente no sistema. A alcalinidade no sistema deve ter capacidade de amortecer cargas moderadas de ácidos voláteis, impedindo mudanças bruscas de pH (LABATUT & GOOCH, 2012).

De acordo com Souza (1984), um valor de alcalinidade de 2.500 a 5.000 mgCaCO₃.L⁻¹ já confere um poder de tamponamento ao meio em digestão. Com relação à acidez volátil, concentrações de até 6 a 8 mil mg.L⁻¹ não são tóxicas à digestão anaeróbia, desde que o pH seja mantido próximo da neutralidade.

A acidez e alcalinidade se relacionam diretamente com o pH, sendo de particular importância no tratamento anaeróbio. A acidez se relaciona à presença de gás carbônico livre e a alcalinidade à presença de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos (JORDÃO & PESSÔA, 2009).

Segundo Silva (1977) *apud* Feiden (2001), a relação Acidez Volátil/Alcalinidade Total (AV/AT) é a chave para o sucesso de uma boa digestão anaeróbia. As concentrações dos ácidos voláteis e a alcalinidade total do material em digestão são os principais valores mensuráveis do estado do processo de digestão. Enquanto essa relação variar entre 0,1 e 0,5, a digestão está ocorrendo sem problemas, mas, quando ultrapassar 0,5 mostra algum distúrbio ou sobrecarga do processo.

No entanto, segundo Ripley *et al.* (1986), os biodigestores com a relação AV/AT no período entre 0,1 e 0,35 são considerados bem operados, e a acima disto podem apresentar problemas na digestão anaeróbia.

Quando ocorrer algum distúrbio no sistema devido ao excesso na produção de ácidos voláteis (pH < 6,5), deve-se efetuar a correção com soda cáustica, cal ou bicarbonato de sódio ou amônio. Porém, como solução mais simples, recomenda-se interromper a alimentação até o reator voltar às condições normais (OLIVEIRA, 1993).

2.6.4 Sólidos totais e sólidos totais voláteis

O conteúdo de sólidos é importante, pois determina a necessidade ou não de diluição do resíduo rural, e a presença maior ou menor de compostos de origem orgânica (sólidos voláteis) (CORTEZ *et al.*, 2008).

A Figura 7 mostra uma matriz que define o conteúdo de sólidos:

$$\begin{array}{rcc}
 \boxed{\text{TTS}} & = & \boxed{\text{TSV}} + \boxed{\text{TSF}} \\
 \parallel & & \parallel \quad \parallel \\
 \boxed{\text{TSS}} & = & \boxed{\text{SSV}} + \boxed{\text{SSF}} \\
 + & & + \quad + \\
 \boxed{\text{TSD}} & & \boxed{\text{SDV}} \quad \boxed{\text{SDF}}
 \end{array}$$

Figura 7. Matriz do conteúdo de sólidos (CORTEZ *et al.*, 2008)

onde:

TTS= total de sólidos;

TSV = total de sólidos voláteis;

TSF = total de sólidos fixos;

TSS = total de sólidos suspensos;
SSV = sólidos suspensos voláteis;
SSF = sólidos suspensos fixos;
TSD = total de sólidos sedimentáveis;
SDV = sólidos dissolvidos voláteis;
SDF = sólidos dissolvidos fixo.

Com exceção dos gases dissolvidos, todos os contaminantes presentes nas águas residuárias contribuem para a carga de sólidos. Os sólidos podem ser classificados de acordo com sua decantabilidade, seu tamanho e estado, além de suas características químicas (VON SPERLING, 2005).

Os sólidos totais consistem no conteúdo de matéria que permanece como resíduo após evaporação à temperatura de 103 a 105°C. Dessa forma, a fração orgânica se oxidará a esta temperatura (sólidos voláteis) e a fração inorgânica permanecerá como cinza (sólidos fixos) (JORDÃO & PESSÔA, 2009).

Assim, os sólidos totais voláteis caracterizam somente a fração de material orgânico presente no efluente (DIESEL, MIRANDA & PERDOMO, 2002).

Segundo Leite & Polvinelli (1999), a bioconversão só irá acontecer na fração teoricamente orgânica do substrato, portanto quanto maior a concentração de sólidos totais voláteis, maior também deverá ser a taxa de bioconversão do resíduo, ou seja, a potencial produção de biogás.

A diferença entre a concentração de sólidos voláteis no afluente e efluente indica a porcentagem de dejetos que foram estabilizados através do processo de biodigestão (LABATUT & GOOCH, 2012).

De acordo com Oliveira & Hiragashi (2006), os sólidos voláteis correspondem de 70 a 75% dos sólidos totais nos dejetos suínos, e quanto maior essa porcentagem maior a conversão de matéria orgânica e produção de biogás.

Estudando o efeito do manejo de lâmina d'água nas características dos dejetos de suínos em terminação, Gomes *et al.* (2009) encontraram valores para ST e STV para dois tipos de manejo. Os sólidos totais foram de 32,99 e 35,12 g.L⁻¹, e para os sólidos voláteis os resultados médios encontrados foram de 26,39 e 28,34 g.L⁻¹.

2.6.5 DBO, DQO e relação DBO/DQO

Para caracterização da matéria orgânica nos efluentes pode se utilizar duas metodologias, a) medição do consumo de oxigênio (DBO e DQO) ou medição do carbono orgânico (COT). Tradicionalmente a DBO e DQO são as mais utilizadas (VON SPERLING, 2007).

2.6.5.1 Demanda Bioquímica de Oxigênio

A Demanda Bioquímica de Oxigênio ou DBO é entendida como sendo a quantidade de oxigênio necessária para a estabilização da matéria orgânica decomposta aerobiamente por via biológica (MACÊDO, 2005).

Portanto, quanto maior a DBO maior é a poluição causada, deste modo os microrganismos para digerirem necessitam de certa quantidade adicional de oxigênio, também chamada de DBO (DIESEL, MIRANDA & PERDOMO, 2002).

Para determinação da DBO realiza-se a diferença de oxigênio na amostra incubada durante cinco dias a 20°C, por isso chamada também de DBO_{5,20} (LIBÂNIO, 2008).

Segundo Von Sperling (2005), as principais vantagens da DBO seriam:

- a) indicação aproximada da fração biodegradável no esgoto;
- b) indicação da taxa de degradação do despejo;
- c) indicação da taxa de consumo de oxigênio em função do tempo;
- d) determinação aproximada da quantidade oxigênio necessária para estabilização da matéria orgânica.

Ainda segundo Von Sperling (2005), a DBO ainda teria algumas limitações no controle das características das águas residuárias:

- a) pode-se encontrar baixos valores de DBO₅ casos os microrganismos responsáveis pela decomposição não estejam adaptados ao despejo;
- b) metais e outras substâncias tóxicas podem inibir os microrganismos;
- c) o teste demora 5 dias, não sendo útil para efeito de controle operacional de uma estação de tratamento de esgotos.

No tratamento de dejetos suínos em São Gabriel do Sul - MS, Soares *et al.* (2010), obteve valores médios para a DBO₅ de 11.439 mgO₂.L⁻¹ na entrada dos biodigestores.

2.6.5.2 Demanda Química de Oxigênio

A demanda química de oxigênio (DQO) não é considerada um parâmetro de processos de tratamento biológico. Mas é utilizada frequentemente como parâmetro de monitoramento dos processos, pois necessita de pouco tempo para realização do teste (CORTEZ *et al.*, 2008)

O teste da DQO visa medir o consumo de oxigênio que ocorre durante a oxidação química presente numa água. É uma medida indireta do teor de matéria orgânica (NUVOLARI, 2003).

Uma das vantagens da DQO é que permite respostas em tempo muito menor: 2 horas com a utilização do método do dicromato (JORDÃO & PESSÔA, 2009).

Outra vantagem seria a indicação de quantidade oxigênio requerida para estabilização da matéria orgânica, porém o teste pode superestimar a quantidade oxigênio requerido por oxidar tanto a fração biodegradável como fração inerte da matéria orgânica do despejo, além de poder oxidar ainda certos constituintes inorgânicos (VON SPERLING, 2005)

Campos *et al.* (2004) obteve valores de 25.650 mg.L⁻¹ de DQO para uma granja com matrizes operando em regime UPL.

Em um sistema de criação de suínos e terminação, Henn (2005) obteve uma concentração média de DQO de 43.368 mg.L⁻¹ avaliando o dejetos bruto, antes de entrar no sistema de tratamento. Neste estudo, a menor diluição dos dejetos devido a implantação de bebedouros ecológicos, influenciou no aumento das concentrações dos parâmetros físico-químicos analisados.

2.6.5.3 Relação DBO/DQO

Segundo Meneses (2006), a relação DBO/DQO indica a fração biodegradável dos compostos orgânicos pelo dicromato. Esta relação costuma variar à medida que o esgoto passa pelas diversas unidades de sistema do tratamento.

Sridhar *et al.* (2002) relataram que os valores da relação da DQO e DBO deve ser maior que 0,6 (DBO/DQO > 0,6), tanto para tratamentos aeróbios ou anaeróbios. Estes autores citaram como exemplo o efluente de uma indústria de óleo vegetal com uma relação DBO/DQO de 0,2, que pode causar a morte dos microrganismos úteis para a biodegradação.

Cortez *et al.* (2008) considera que quanto maior a relação DBO/DQO, maior será a possibilidade de tratamento biológico do resíduo. Estes autores citam o

trabalho de Silva (1973) que encontrou uma relação de DBO/DQO de 0,43 para suínos em confinamento.

Outros autores consideram a relação como sendo DQO/DBO, portanto os resultados serão valores diferentes da relação DBO/DQO. Para estes autores os valores elevados da relação DQO/DBO são indicativos de despejos menos facilmente biodegradáveis, e o inverso indica maior facilidade no tratamento biológico (JORDÃO & PESSÔA, 2009; VON SPERLING, 2005).

Von Sperling (2005) apresenta algumas relações de onde pode tirar conclusões sobre a biodegradabilidade dos despejos:

- relação DQO/DBO₅ baixa (< cerca de 2,5):
 - fração biodegradável é elevada – tratamento biológico indicado.
- relação DQO/DBO₅ intermediária (entre cerca de 2,5 e 3,5):
 - fração biodegradável não é elevada – verificar viabilidade para tratamento biológico.
- relação DQO/DBO₅ elevada (> cerca de 3,5 ou 4,0):
 - fração inerte é elevada – indicação para tratamento físico-químico.

Através de análises estatísticas de resultados da relação DBO/DQO, Silva *et al.* (1997) concluiu que pode se substituir as análises de DBO₅ por análises de DQO, a um nível de confiança de 95%.

Souza *et al.* (2009) apresentou diversos valores para relação DQO/DBO em granjas de suínos em terminação, que variaram de 1,30 a 3,02 em 12 propriedades. Ainda segundo os autores, ressalta-se que a propriedade que obteve a relação DQO/DBO de 3,02 - indicando baixa biodegradabilidade - não adotou a lâmina da água no manejo dos suínos.

2.7 Remoção de Carga Orgânica

A remoção de carga orgânica fornece informações sobre o desempenho da estação de tratamento. Ela indica se estação de tratamento está cumprindo os objetivos para os quais foram projetadas e relaciona com os parâmetros físico-químicos dos esgotos. É calculada em termos de uma grandeza característica, DBO, DQO, SV, como exemplificado na Equação 1 (KAWAI, 1991).

$$Eficiência (\%) = \frac{DBO_{afluente} - DBO_{efluente}}{DBO_{afluente}} \times 100 \quad \dots(1)$$

Nos processos de digestão anaeróbia pode-se obter rendimentos de remoção de matéria orgânica desde 40 até 98% (SOUZA, 1984).

Em uma granja com criação de ciclo completo de suínos com a utilização de um biodigestor no tratamento de dejetos, Kunz (2006) registrou eficiências de remoção de 87% para DQO e 90% para $DBO_{5,20}$.

Utilizando um biodigestor tubular no tratamento de dejetos de suínos, Campos *et al.* (2004), obteve redução de 58% na remoção de DQO.

Henn *et al.* (2004) obteve eficiências médias significativas com a utilização de um biodigestor em Santa Catarina, removendo 88% de Sólidos Totais e 92% de Sólidos Totais Voláteis.

Kunz *et al.* (2005) verificou que o efluente do biodigestor apresentou um aumento de sólidos fixos e voláteis nos meses de inverno, principalmente no mês de junho, evidenciado o arraste de material particulado do sistema resultado de uma queda de eficiência do sistema, obtendo uma remoção média de 78,86% de sólidos voláteis.

Miranda *et al.* (2009) verificou em seu estudo que os biodigestores removem grandes porcentagens de sólidos, porém não devem ser vistos como sistema definitivo de tratamento de dejetos de suínos, pois obteve altas concentrações de sólidos nos efluentes.

Considerando as características de cada biodigestor e os processos envolvidos no seu funcionamento, os parâmetros físico-químicos devem ser avaliados para o funcionamento adequado deste sistema, e este trabalho mostra alguns destes parâmetros e suas relações, que são utilizadas na operação e monitoramento destas estruturas de tratamento.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo escolhida está localizada na área rural do município de São Miguel do Iguaçu, estado do Paraná. A localização do município está apresentada conforme Figura 8.

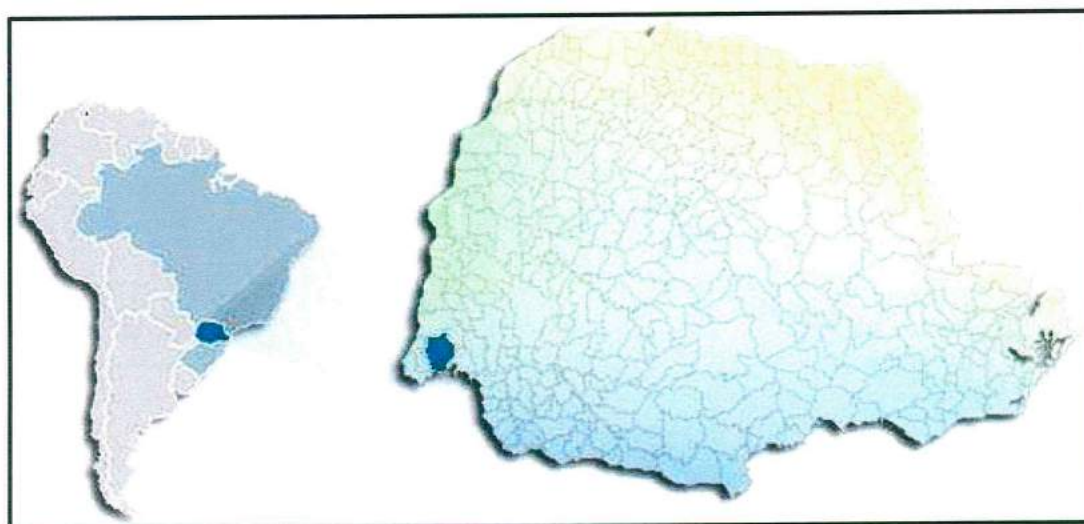


Figura 8. Localização do município de São Miguel do Iguaçu – PR (PARANÁ, 2012)

O município de São Miguel do Iguaçu está localizado na região oeste do Paraná e possui um clima subtropical úmido com verões quentes e pouca ocorrência de geadas no inverno. O mês mais frio é julho, com temperaturas médias entre 14 e 16°C, e o mês mais quente é fevereiro, com temperaturas entre 25 e 35°C, possuindo uma temperatura média anual de 22°C (SÃO MIGUEL DO IGUAÇU, 2012).

A propriedade suinícola escolhida chama-se Granja São Pedro, também chamada de Granja Colombari, e é atualmente administrada pela família do Sr. José Carlos Colombari. A Granja São Pedro está localizada nas coordenadas geográficas 25°29'53" S e 54°13'29" O, com aproximadamente 250 m de altitude.

A atividade de suinocultura utiliza uma área de aproximadamente 50 hectares da propriedade, juntamente com as Áreas de Preservação Permanente (APP's) e Reserva Legal (RL). Os outros 200 hectares da propriedade são destinados à agricultura. A Figura 9 mostra uma vista aérea de parte da propriedade.

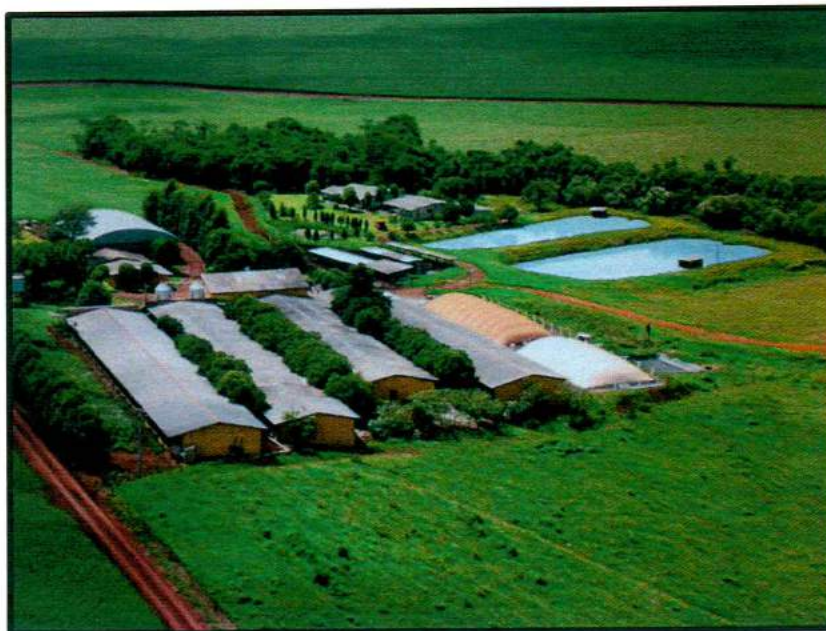


Figura 9. Vista aérea da Granja Colombari (PIER, 2012)

A granja trabalha com o sistema de crescimento e terminação de suínos. O ciclo compreende a engorda do animal de 25 kg até 110 kg, quando o animal é entregue para o abate, processo que leva em torno de 100 dias.

3.2 Sistema de Tratamento dos Dejetos

A geração de dejetos começa nas baias de criação da granja. Cada baia possui aproximadamente 42 m² e comporta 42 suínos, com a utilização de sistemas de lâmina d'água.

A limpeza ocorre por raspagem sempre que necessário, após monitoramento visual, sendo realizado durante todo o ciclo de terminação.

No final do ciclo de terminação, ocorre a limpeza sanitária, quando é realizada a desinfecção das baias e dos galpões com aspersão de sanitizantes.

Após a limpeza das baias, os dejetos são encaminhados via tubulação para o sistema de tratamento de dejetos.

O sistema de tratamento de dejetos suínos gerados na granja é composto por dois biodigestores modelo de fluxo tubular, em série e com alimentação semi-contínua. Os biodigestores são apresentados na Figura 10.

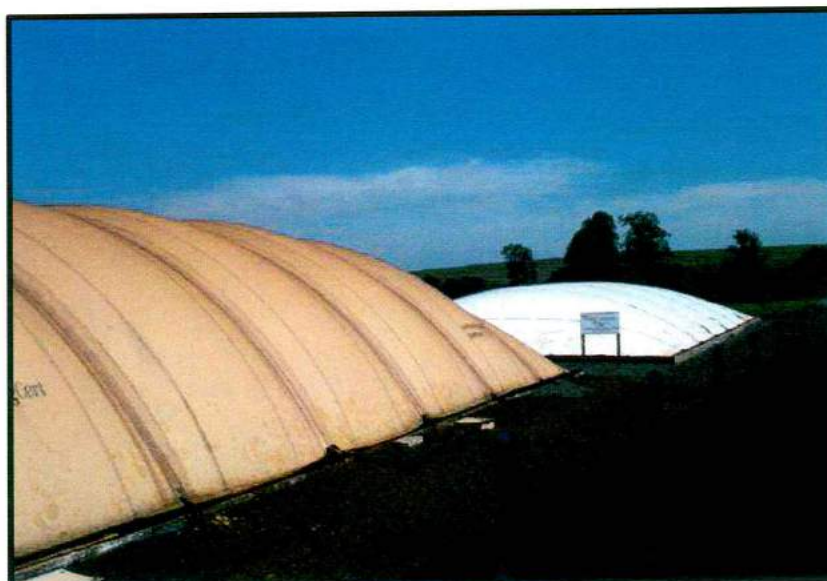


Figura 10. Biodigestores em série no tratamento de dejetos

A produção de suínos na Granja Colombari possuía somente um biodigestor, instalado em 2006, para o tratamento de dejetos de 4.000 suínos, com uma vazão que era de aproximadamente $29 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$, e tempo de retenção hidráulico de 30 dias (ITAI, 2011).

Com a ampliação do plantel para capacidade de criação de 5.000 suínos, surgiu a necessidade da construção de um segundo biodigestor com o objetivo de manter o mesmo tempo de retenção hidráulico para a nova vazão de aproximadamente $36 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$, implantado em 2010 (ITAI, 2011).

O segundo biodigestor iniciou suas operações no ano de 2010 e não houve manutenções até o momento. No entanto, o primeiro biodigestor devido ao maior tempo de implantação (2006), necessitou de uma manutenção em 2011 para remoção do excesso de lodo, e retorno as condições operacionais de projeto.

A Tabela 5 mostra as dimensões dos biodigestores instalados na Granja Colombari, volume útil de projeto e o tempo de retenção hidráulico de cada um deles.

Tabela 5. Dimensões dos biodigestores

| Biodigestores | Dimensões (m) | | | Volume útil (m ³) | TRH ¹ (dias) |
|---------------|---------------|---------|--------------|-------------------------------|-------------------------|
| | Comprimento | Largura | Profundidade | | |
| Biodigestor 1 | 25 | 10 | 4 | 845 | 23 |
| Biodigestor 2 | 16 | 8,5 | 2 | 245 | 7 |

¹Tempo de retenção hidráulico

O volume útil total correspondente para os dois biodigestores está em aproximadamente 1.100 m³.

Após a passagem pelo sistema de biodigestão, o efluente é encaminhado a uma lagoa de decantação, e posteriormente é utilizado como biofertilizante na pastagem da granja.

A unidade também possui instalada uma tubulação que leva o biogás a um conjunto moto-gerador, onde ocorre conversão para energia elétrica ou para um *flare*¹ quando não utilizado pelo motor. Atualmente, a Granja Colombari possui contrato com a concessionária de energia elétrica, Companhia Paranaense de Energia Elétrica (COPEL), e realiza a Geração Distribuída, vendendo o excedente de energia produzida.

3.3 Pontos de Amostragem

Para a caracterização do efluente gerado na granja e para monitoramento da operação do biodigestor, foram escolhidos três pontos no sistema.

A Figura 11 mostra a localização dos três pontos no sistema de tratamento de dejetos.

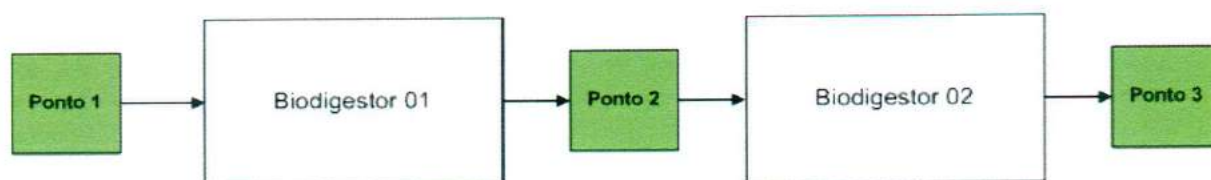


Figura 11. Localização dos pontos de amostragem

O primeiro ponto está localizado na entrada do primeiro biodigestor, e caracteriza o dejetos bruto sem estar tratado.

¹ Pilha vertical ou chaminé destinada à queima de gases.

O segundo ponto localiza-se entre os biodigestores, e através desta amostra é possível a avaliação da eficiência do primeiro biodigestor e caracterizar o efluente que está sendo encaminhado ao segundo processo de biodigestão.

Finalizando o tratamento, o terceiro ponto fornece informações para avaliar a eficiência do segundo biodigestor, e a eficiência global do sistema. Depois deste ponto o efluente é direcionado a uma lagoa, onde ele é armazenado até a utilização como biofertilizante.

3.4 Coleta das Amostras

As coletas foram realizadas nos pontos 1, 2 e 3, semanalmente durante os seis meses de monitoramento, de janeiro a junho de 2012.

Estas coletas eram amostragens simples e geralmente feitas na parte da manhã, entre as 8h e 10h, quando são realizadas as limpezas das baias nos galpões e os efluentes são encaminhados aos biodigestores.

Para a realização das coletas e a preservação das amostras foram seguidas as normas da NBR 9898:1987 que normatiza a preservação e as técnicas de amostragem em efluentes líquidos (ABNT, 1987).

Estas coletas eram realizadas com a utilização de frascos de 1 L e depois acondicionadas em recipiente adequado com temperatura adequada ao transporte das amostras até o laboratório.

A Figura 12 mostra a realização de uma das coletas na entrada do biodigestor.

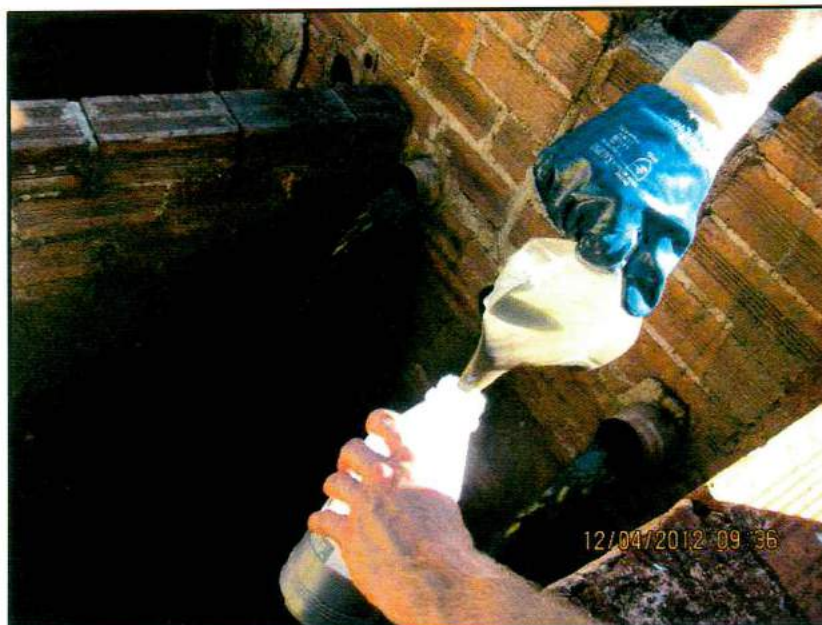


Figura 12. Realização da coleta no Ponto 1

3.5 Parâmetros Físico-Químicos Analisados

Para caracterização do efluente e avaliação do tratamento realizado pelos biodigestores foram escolhidos sete parâmetros físico-químicos que são apresentados na Tabela 6 juntamente com as metodologias e referências utilizadas.

Tabela 6. Parâmetros analisados do efluente e metodologias empregadas

| Parâmetros | Metodologias | Referências |
|---|------------------------------------|--------------|
| pH | Eletrométrico (4500 - H+ B) | |
| Alcalinidade Total ($\text{mg.L}^{-1} \text{CaCO}_3$) | Titulométrico (2320B) | |
| Acidez Volátil ($\text{mg.L}^{-1} \text{CaCO}_3$) | Titulométrico (2310B) | |
| $\text{DBO}_{5,20}$ (mg.L^{-1}) | Incubação a 20 °C - 5 dias (5210B) | (APHA, 2005) |
| DQO (mg.L^{-1}) | Refluxo Aberto (5220B) | |
| Sólidos Totais (mg.L^{-1}) | Gravimétrico (2540B) | |
| Sólidos Totais Voláteis (mg.L^{-1}) | Gravimétrico (2540E) | |

Os parâmetros acidez volátil e alcalinidade total não foram analisados no ponto 1, pois visando a utilização dos resultados para fins operacionais, o primeiro ponto não é relevante para estas duas análises.

As análises dos parâmetros foram realizadas no laboratório A3Q, que é acreditado e certificado pelo INMETRO, e localiza-se na cidade de Cascavel, Paraná.

3.5.1 Temperatura

Para poder avaliar a potencial influência da temperatura ambiente no processo de biodigestão, foram coletados dados sobre as médias históricas de temperaturas mínimas e máximas do município de São Miguel do Iguaçu nos meses em que foi realizado o estudo (CLIMATEMPO, 2013).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Temperatura Ambiente

A cidade de São Miguel do Iguaçu – PR, onde está localizada a área de estudo, possui verões quentes com invernos mais frios. A Figura 13 mostra uma média mensal das temperaturas no município.

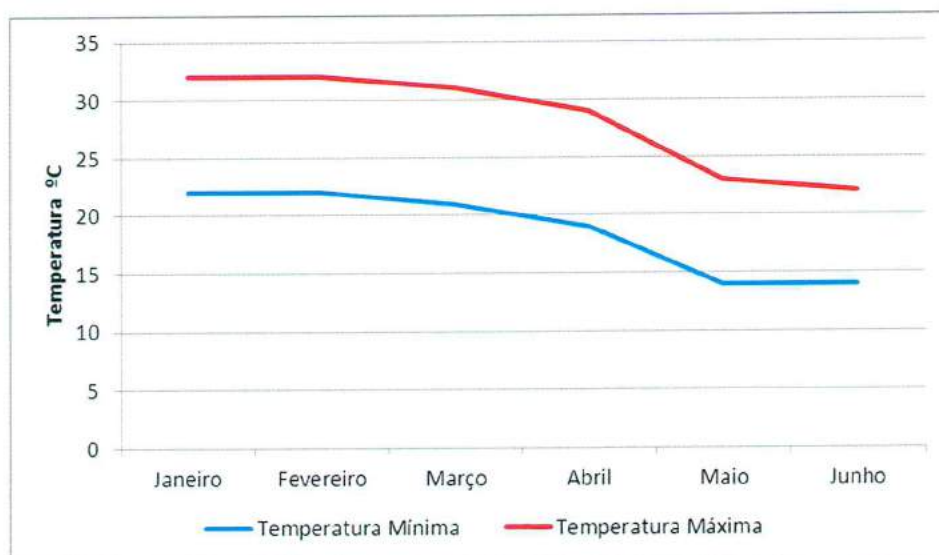


Figura 13. Temperaturas médias do município (CLIMATEMPO, 2013)

Segundo Climatempo (2013), esses valores são médias climatológicas a partir de uma série de 30 anos de dados observados.

Observa-se a tendência do declínio da temperatura até o mês de junho, tendo temperaturas médias mínimas e máximas de 22 e 32°C em janeiro, e 14 e 22°C em junho.

4.2 Análises Físico-químicas dos Dejetos Suínos

Ao todo foram realizadas 23 análises dos dejetos na granja, com exceção do ponto 1, pois houve problema em uma das coletas totalizando 22 amostras. As

médias dos resultados dos parâmetros físico-químicos analisados nos pontos 1, 2 e 3 estão demonstradas na Tabela 7.

Tabela 7. Resultados das análises físico-químicas

| Parâmetro | Ponto 1 | | Ponto 2 | | Ponto 3 | |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | Média | DP* | Média | DP* | Média | DP* |
| pH | 7,16 | 0,53 | 7,50 | 0,10 | 7,59 | 0,16 |
| Acidez Volátil (mg.L ⁻¹) | - | - | 1.700 | 824,5 | 1.679,1 | 925,4 |
| Alcalinidade Total (mg.L ⁻¹) | - | - | 19.164,6 | 15.251,5 | 17.880,6 | 13.608,1 |
| Sólidos Totais (mg.L ⁻¹) | 29.421,1 | 13.826,1 | 19.715,7 | 8.974,3 | 15.376,7 | 7.518,5 |
| Sólidos Voláteis (mg.L ⁻¹) | 18.900,2 | 10.031,6 | 11.274,1 | 6.038,1 | 7.440,1 | 4.111,0 |
| DBO ₅ (mg.L ⁻¹) | 14.616,5 | 6.540,3 | 8656,1 | 5.972,6 | 5.773,7 | 5.386,9 |
| DQO (mg.L ⁻¹) | 30.800,2 | 12.971,1 | 18.264,6 | 11.272,3 | 12.492,6 | 8.311,3 |

*Desvio Padrão

A média dos valores de pH ficaram entre 7,16 afluente e 7,59 no efluente. O valor mínimo encontrado foi de 5,95 e o máximo 8,41, ambos os valores na entrada do biodigestor.

Observou-se durante todos os meses de monitoramento que a tendência do pH foi sempre aumentar à medida que passava pelo tratamento, pois como relatado por Cortez *et al.* (2008), essa elevação se deve ao consumo de ácidos para conversão em biogás pelas bactérias metanogênicas.

A Tabela 8 apresenta os resultados das análises físico-químicas do pH para todos os pontos e a comparação com alguns autores.

Tabela 8. Análises físico-químicas do pH para os pontos 1, 2 e 3

| Parâmetro | Ponto 1 | Ponto 2 | Ponto 3 | Grady <i>et al.</i> | Chernicharo |
|-----------|---------|---------|---------|---------------------|-------------|
| | Média | Média | Média | (1999) | (2007) |
| pH | 7,16 | 7,50 | 7,59 | 6,8 a 7,4 | 6,0 a 8,0 |

Na entrada do sistema, o pH apresentou uma média dentro da faixa ótima para reatores anaeróbios, que seria, entre 6,8 e 7,4. Na entrada do segundo biodigestor e na saída, os valores foram um pouco acima do sugerido como ótimo para Grady *et al.* (1999), no entanto, dentro da faixa aceitável para Chernicharo (2007), e na neutralidade.

A Tabela 9 apresenta os resultados das análises físico-químicas da DBO₅ e da DQO para os dejetos brutos e a comparação com alguns autores.

Tabela 9. Análises físico-químicas do Ponto 1 da DBO₅ e da DQO

| Parâmetro | Ponto 1 | Soares <i>et al.</i> | Campos <i>et al.</i> | Henn (2005) |
|--|----------|----------------------|----------------------|-------------|
| | Média | (2010) | (2004) | |
| DBO ₅ (mg.L ⁻¹) | 14.616,5 | 11.439,6 | - | - |
| DQO (mg.L ⁻¹) | 30.800,2 | - | 25.650 | 43.368 |

A média dos valores de DBO₅ encontrados ficou entre 14.616,5 mg.L⁻¹ no afluente e 5.773,7 mg.L⁻¹ no efluente. O valor máximo encontrado foi de 26.102 mg.L⁻¹ no afluente e o mínimo encontrado foi de 1.384,5 mg.L⁻¹ na saída do sistema de biodigestão.

O valor médio de DBO₅ encontrado no afluente do sistema foram próximos aos valores encontrados por Soares *et al.* (2010).

Os valores médios de DQO encontrados ficaram entre 30.800,2 mg.L⁻¹ no afluente e 12.492,6 mg.L⁻¹ no efluente. O valor máximo encontrado foi de 63.000 mg.L⁻¹ no afluente e o valor mínimo encontrado foi de 5.200 mg.L⁻¹ na saída do segundo biodigestor.

A média encontrada para o parâmetro DQO no afluente está acima dos valores encontrados por Campos *et al.* (2004), que caracterizou os dejetos em uma granja de matrizes, e abaixo dos valores encontrados por Henn (2005), que avaliou uma granja de suínos em crescimento e terminação.

Com relação à eficiência de remoção de carga orgânica, DBO₅ e DQO, a Figura 14 mostra a remoção média (%) destes parâmetros ao longo do sistema.

O primeiro biodigestor apresentou valores médios de remoção de 41% para DBO₅ e DQO, e o segundo biodigestor de 33% e 32% para DBO₅ e DQO, respectivamente. A remoção no primeiro biodigestor está dentro da faixa de rendimento de sistemas anaeróbios, já o segundo biodigestor está abaixo, conforme recomendado por Souza (1984).

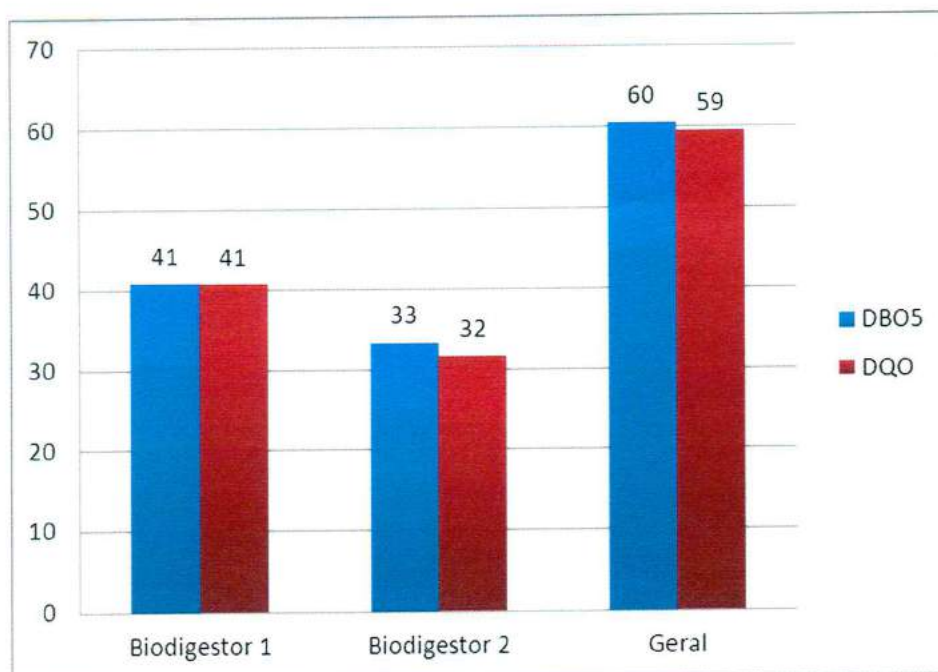


Figura 14. Remoção de DBO₅ e DQO nos biodigestores em %

Tais valores indicam que o primeiro biodigestor realiza maior parte da remoção de carga orgânica, por ter um tempo de retenção hidráulico maior, e o segundo biodigestor conseguiu degradar somente uma pequena porcentagem da matéria orgânica por ter um tempo de retenção bem menor que o primeiro.

A Tabela 10 apresenta a taxa de remoção de carga orgânica para DBO₅ e DQO e a comparação com alguns autores.

Tabela 10. Taxa de remoção da DBO₅ e da DQO nos biodigestores

| Parâmetro | Biodigestor | | Geral | Campos <i>et al.</i> (2004) | Kunz (2006) |
|----------------------|-------------|----|-------|--------------------------------|-------------|
| | 1 | 2 | | | |
| DBO ₅ (%) | 41 | 33 | 60 | 58 | 90 |
| DQO (%) | 41 | 32 | 59 | - | 87 |

De maneira geral, o sistema de biodigestão composto pelos dois biodigestores apresentou uma remoção satisfatória, com uma média de 60% para DBO₅ e de 59% para DQO, próximo aos valores encontrados por Campos *et al.* (2004) no tratamento de dejetos de suínos com biodigestores tubulares, porém bem abaixo da remoção de carga orgânica encontrada por Kunz (2006). Ressalta-se que este dois autores utilizaram somente um biodigestor no tratamento, mas com tempos de retenção hidráulica individuais maiores do que os tempos utilizados neste estudo.

Apesar da diferença típica de temperatura entre os meses de janeiro a junho do ano (Figura 13), a remoção de carga orgânica não teve grandes alterações no período de inverno, por ser um biodigestor de grandes proporções acaba não sofrendo com perdas de temperatura, conforme já relatado por Kunz *et al.* (2005).

Observa-se também que os valores de remoção médios para DQO e DBO_5 estão bem próximos, o que pode possibilitar uma substituição da DQO pela DBO_5 no monitoramento de rotina, por ser um parâmetro com resposta rápida e custo inferior, como proposto por Silva *et al.* (1997).

De posse dos valores de DBO_5 e DQO, pode-se também avaliar a biodegradabilidade do efluente através da relação DBO_5/DQO . A Tabela 11 mostra os valores da relação nos três pontos de amostragem.

Tabela 11. Relação DBO_5/DQO e DQO/DBO_5

| Relação | Ponto 1 | Ponto 2 | Ponto 3 |
|-------------|---------|---------|---------|
| DBO_5/DQO | 0,47 | 0,47 | 0,46 |
| DQO/DBO_5 | 2,11 | 2,11 | 2,16 |

Os valores médios da relação DBO_5/DQO , ou DQO/DBO_5 , mantiveram-se estáveis ao longo do tratamento. Os valores muito próximos indicam grande fração biodegradável no efluente em todas as etapas do processo e a possibilidade de tratamento biológico, conforme indicado por Von Sperling (2005).

A relação DBO_5/DQO de 0,47, encontrada no primeiro ponto está próximo ao valor encontrado por Silva (1973) citado por Cortez *et al.* (2008), onde avaliou esta relação nos dejetos brutos de suínos em confinamento.

Com relação aos sólidos totais, a média dos valores encontrados ficou entre 29.421,1 mg.L⁻¹ no afluente e 15.376,6 mg.L⁻¹ no efluente.

Nos sólidos totais voláteis, a média dos valores encontrados ficou entre 18.900,2 mg.L⁻¹ no afluente e 7.440 mg.L⁻¹ no efluente.

A Tabela 12 apresenta os resultados das análises físico-químicas para os sólidos totais e sólidos totais voláteis no afluente e a comparação com outros autores.

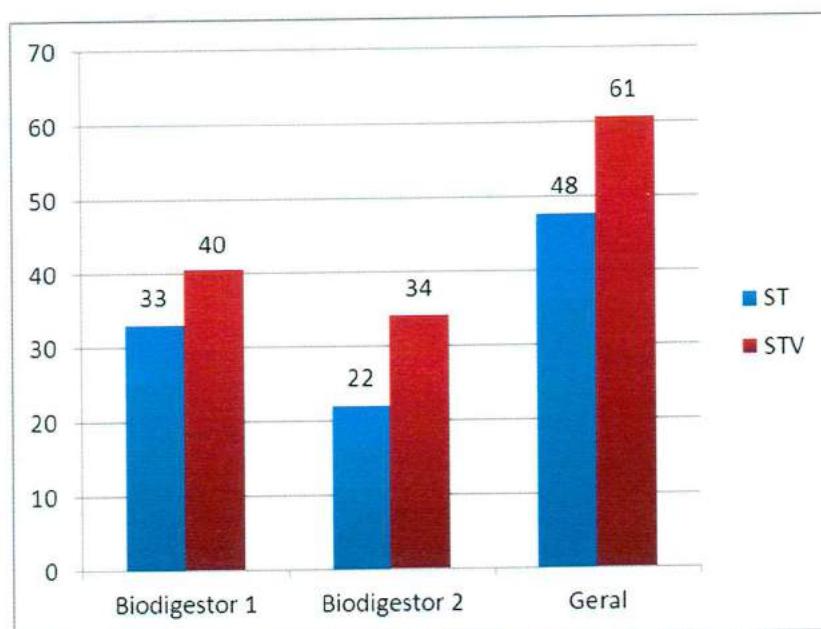
Tabela 12. Análises físico-químicas do Ponto 1 para ST e STV

| Parâmetro | Ponto 1 | | Gomes <i>et al.</i> (2009) |
|---------------------------|----------|----------|----------------------------|
| | Média | | |
| ST (mg.L ⁻¹) | 29.421,1 | 32.990,0 | 35.120,0 |
| STV (mg.L ⁻¹) | 18.900,2 | 26.390,0 | 28.340,0 |

As médias encontradas de ST para o afluente ficaram muito próximas aos valores de Gomes *et al.* (2009) que caracterizou dejetos de suínos de terminação, porém os valores de SV ficam bem abaixo dos valores encontrados por este autor.

A relação entre os sólidos voláteis e totais pode indicar a porcentagem de matéria orgânica nestes sólidos. Neste estudo, a porcentagem média de sólidos voláteis no afluente ficou em 64,2%, que foi inferior às médias encontradas por Oliveira & Hiragashi (2006) em dejetos de suínos. Este valor indica um maior volume de sólidos inertes (fixos) causados possivelmente por uma falta de caixa de separação destes sólidos na entrada do sistema.

Com a utilização dos valores de ST e STV, também se pode obter a remoção média destes parâmetros no sistema, conforme mostra a Figura 15.

**Figura 15.** Remoção de ST e STV nos biodigestores em %

A remoção de sólidos, especialmente os voláteis, reflete a remoção de carga orgânica do sistema. A remoção obtida individualmente nos dois biodigestores foi baixa, principalmente devido ao baixo tempo de retenção hidráulica individual dos biodigestores.

A Tabela 13 apresenta a taxa de remoção de carga orgânica para ST e STV e a comparação com alguns autores.

Tabela 13. Taxa de remoção da ST e da STV nos biodigestores (%)

| Parâmetro | Biodigestor | | Geral | Henn <i>et al.</i> (2004) | Kunz <i>et al.</i> (2006) |
|-----------|-------------|----|-------|------------------------------|------------------------------|
| | 1 | 2 | | | |
| ST (%) | 33 | 22 | 48 | 88 | 92 |
| STV (%) | 40 | 34 | 61 | 96 | 78,86 |

No sistema como um todo, a remoção de sólidos foi satisfatória, mas bem abaixo dos valores encontrados por Henn *et al.* (2004) e Kunz *et al.* (2005), ambos os autores utilizando biodigestores no tratamento de dejetos de suínos.

Ao longo do tempo foi observado claramente um aumento nos valores de sólidos totais, justificado pelo fato que nos meses mais frios ocorre uma menor utilização de água e também um menor desperdício pelos bebedouros, gerando uma menor diluição, como também confirmado por Dal Mago (2009).

Com relação à acidez volátil e à alcalinidade total, consideraram-se para fins operacionais somente os valores obtidos na saída das duas unidades do sistema de tratamento ou biodigestores.

A Tabela 14 apresenta os valores de alcalinidade total e acidez volátil nos pontos coletados e valores recomendados para o processo de biodigestão.

Tabela 14. Valores de alcalinidade total, acidez volátil e recomendações

| Parâmetro | Ponto | | | Souza (1984) |
|--------------------------|-------|----------|----------|-----------------|
| | 1 | 2 | 3 | |
| AT (mg.L ⁻¹) | - | 1.700 | 1.679,1 | >2.500 e <5.000 |
| AV (mg.L ⁻¹) | - | 19.164,6 | 17.880,6 | <6.000 - 8.000 |

Os valores de acidez volátil tiveram uma média de 1.700 mg.L⁻¹ no ponto 2 e 1.676,1 mg.L⁻¹ no ponto 3, com valor máximo de 4.000 mg.L⁻¹ no ponto 3. Os valores médios dos dois pontos, e mesmo o valor máximo encontrado no terceiro ponto indicam que as concentrações não foram em nenhum momento tóxicas ao processo de biodigestão anaeróbia, conforme recomendado por Souza (1984).

Os resultados médios da alcalinidade total situaram-se entre 19.164,6 mg.L⁻¹ no efluente do primeiro biodigestor e 17.880,6 mg.L⁻¹ no final do sistema. Tais

valores indicam um bom sistema de tamponamento no sistema de biodigestão, ficando sempre acima dos valores recomendados por Souza (1984), com exceção de uma ocasião no mês de janeiro que chegou a 1.900 mg.L^{-1} .

Os valores de acidez volátil e alcalinidade total podem gerar uma relação que fornece informações sobre o estado do processo de biodigestão.

A relação AV/AT na saída do primeiro biodigestor variou entre 0,02 e 0,62 e na saída do segundo biodigestor, os resultados da relação AV/AT ficaram entre 0,01 e 0,83, durante os seis meses de monitoramento.

Com exceção de uma única amostragem na saída do primeiro biodigestor e três amostragens na saída do segundo biodigestor, no geral, os resultados não ultrapassaram os valores de 0,35 ou 0,5. Tais amostragens poderiam indicar uma sobrecarga do sistema, conforme observado por Feiden (2001) e Ripley *et al.* (1986).

Neste período onde houve esses altos valores da relação AV/AT, pode ter ocorrido uma sobrealimentação dos biodigestores, o que acabou gerando esses resultados esporádicos, merecendo uma atenção para evitar novas ocorrências.

Nota-se que na saída dos dois biodigestores, esta relação acidez volátil/alcalinidade total está muitas vezes abaixo de 0,1, como recomendado por Ripley *et al.* (1986), indicando que o volume de ácido é bem inferior ao volume de álcalis.

Tal situação aponta para uma produção e conversão dos ácidos ocorrendo na sua maioria no primeiro biodigestor, indicando uma possibilidade de aumento de carga neste primeiro biodigestor.

No entanto, isto contraria a remoção média de carga orgânica obtida pelo primeiro biodigestor que foi bem inferior a outros tratamentos similares, como já observado na Figura 14.

Como esta relação AV/AT está sempre muito baixa na saída do primeiro biodigestor, possivelmente, devido à natureza dos sistemas de biodigestão a utilização em paralelo poderia trazer uma maior eficiência na remoção de matéria orgânica através do aumento do tempo de retenção hidráulico dos dois biodigestores, e conseqüentemente aumentando a produção de biogás.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação da operação deste biodigestor teve aproximadamente seis meses de análises físico-químicas que foram suficientes para avaliar diversas características do tratamento.

De maneira geral, os dejetos suínos com exceção de poucos parâmetros não se diferenciaram muito de outros locais com criação de suínos em crescimento e terminação. Notou-se que o cuidado nas amostragens dos dejetos é de grande importância para que ocorra uma coerência e menor variabilidade nos resultados desta caracterização.

A temperatura não se mostrou um fator de muita influência no processo de biodigestão, principalmente devido as grandes proporções dos biodigestores. No entanto, afetou indiretamente a concentração de sólidos nos meses mais frios do ano, em função da menor diluição de água nos dejetos.

A remoção de carga orgânica realizada individualmente pelos biodigestores foi baixa, justificada pelo fato de terem baixos tempos de retenção de hidráulica, mas de maneira geral, o sistema como um todo teve uma eficiência satisfatória.

Como já relatado por outros autores, os biodigestores não podem ser considerados como tratamento único, principalmente pelo alto valor de sólidos encontrados na saída do tratamento.

A relação AV/AT mostrou o comportamento da biodigestão anaeróbia nas duas unidades de biodigestão do tratamento. Os valores encontrados indicam que o sistema poderia ter uma melhor eficiência caso os biodigestores fossem ligados em paralelo.

Os resultados também apontam uma necessidade para novos estudos como a investigação da grande variabilidade (desvio padrão) nos resultados das análises físico-químicas, o motivo do alto valor de ácidos e álcalis na saída do sistema, e a

possibilidade da ligação em paralelo para avaliar se haverá melhoras na eficiência de remoção da carga orgânica do sistema.

A utilização do monitoramento dos sistemas de biodigestão se mostra importante, pois através destas análises é possível o conhecimento do processo, evitando colapsos no sistema e transtornos para os suinocultores, conferindo um melhor aproveitamento dos subprodutos gerados no processo, o biogás e o biofertilizante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIPECS. **Relatório Anual 2011**. Disponível em: <<http://www.abipecs.org.br/pt/relatorios.html>>. Acesso em: 10 jan. 2013.
- ABNT. **NBR 9898 - Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1987. 22 p.
- ALBUQUERQUE, N. I. DE *et al.* **Manual sobre criação de suínos na agricultura familiar: noções básicas**. Belém: Embrapa-CPATU, 1998. 37 p.
- ALVES, L. R.; LIMA, J. F.; PIFFER, M. Dinamismo setorial diferenciado no oeste e no sudoeste do Paraná. **Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos**, v. 3, n. 1, p. 128-153, 2009.
- ANDRADE, M. A. N. *et al.* **Biodigestores rurais no contexto da atual crise de energia elétrica brasileira e na perspectiva da sustentabilidade ambiental**. In: IV Encontro de Energia no Meio Rural - AGRENER. **Anais...**Campinas, SP: UNICAMP/NIPE, 2002
- APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21. ed. Washington: American Water Works Association, Water Environment Federation, 2005.
- BARBOSA, G.; LANGER, M. Uso de biodigestores em propriedades rurais: uma alternativa à sustentabilidade ambiental. **Unoesc e Ciência**, v. 2, n. 1, p. 87-96, 2011.
- BARREIRA, P. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural**. 3. ed. São Paulo: Ícone, 2011.
- BLEY JR., C. *et al.* **Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais**. 2. ed. Foz do Iguaçu/Brasília: ITAIPU BINACIONAL/FAO, 2009. 140 p.

BORDIN, R. D. A. *et al.* Artigos A produção de dejetos e o impacto ambiental da suinocultura. **Revista de Ciências Veterinárias**, v. 3, n. 3, p. 1-4, 2005.

CAMPOS, A. T. *et al.* **Análise energética de biodigestores tubulares usando dejetos de suínos**. In: V Encontro de Energia no Meio Rural. **Anais...**Campinas: 2004

CARNE SUÍNA BRASILEIRA. **Criação de Suínos**. Disponível em: <<http://www.carnesuinabrasileira.org.br/producao2.html>>. Acesso em: 10 jan. 2013.

CHERNICHARO, C. A. DE L. **Reatores Anaeróbios**. 2. ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2007. 720 p.

CLIMATEMPO. **Climatologia - São Miguel do Iguazu - PR**. Disponível em: <<http://www.climatepo.com.br/climatologia/1577/saomigueldoiguacu-pr>>. Acesso em: 10 jan. 2013.

COMASTRI FILHO, J. A. Biogás: Independência energética do pantanal mato-grossense. **Comunicado Técnico Embrapa**, p. 53, out. 1981.

CORTEZ, L. A. B. *et al.* Biodigestão de Efluentes. In: **Biomassa para Energia**. Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 2008. .

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; AYARZA, J. A. C. Biomassa no Brasil e no Mundo. In: **Biomassa para Energia**. Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 2008. .

DAL MAGO, A. **Avaliação de biodigestores com o uso de dejetos de suínos, em Braço do Norte e em Concórdia**. Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

DAMBRÓS JÚNIOR, D. **A suinocultura no Brasil**. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/cias/index.php?option=com_content&view=article&id=5&Itemid=19>. Acesso em: 10 jan. 2013.

DEGANUTTI, R. *et al.* **Biodigestores Rurais: modelo indiano, chinês e batelada**. In: IV Encontro de Energia no Meio Rural - AGRENER. **Anais...**Campinas: 2002

DIESEL, R.; MIRANDA, C. R.; PERDOMO, C. C. Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos. **BIPERS**, n. 14, p. 29, 2002.

ESTEVEZ, F. DE A. **Fundamentos da Limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FAEP. Uma radiografia da suinocultura paranaense suinocultura A O diagnóstico dos custos de. **Boletim Informativo do Sistema FAEP**, v. 1107, p. 2-5, ago. 2010.

FEIDEN, A. **Tratamento de águas residuária de indústria de fécula de mandioca através de biodigestor anaeróbico com separação de fases em escala piloto**. Tese (Doutorado em Agronomia). Botocatu: Universidade Estadual Paulista, 2001.

FERNANDES, D. M. *et al.* **Eficiência da biodigestão anaeróbia no manejo da biomassa residual na Unidade Granja Colombari**. In: I Congresso Sul Brasileiro de Produção Animal Sustentável. **Anais...**Chapecó, SC: 2010

GERARDI, M. H. **The Microbiology of Anerobic Digesters**. New Jersey: Wiley-Interscience, 2003.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C. Cama sobreposta e dejetos líquidos de suínos como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 195-205, fev. 2008.

GOMES, S. D. *et al.* **Efeito do manejo da lâmina d'água nas características de efluentes gerados na produção de suínos**. In: I Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Animais. **Anais...**Florianópolis, SC: SIGERA, 2009

GONÇALVES, A. **Os principais produtos da agricultura paranaense**. Disponível em:
<<http://www.gazetadopovo.com.br/vidaecidadania/retratosparana/curiosidades/conteudo.phtml?id=1202323>>. Acesso em: 29 out. 2012.

GRADY, C. P. L.; DAIGGER, G. T.; LIM, H. C. **Biological Wastewater Treatment**. 2. ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 1999. 1076 p.

HENN, A. *et al.* **Planejamento ambiental e adequação à legislação ambiental de uma pequena propriedade suínica com relação à geração, tratamento e destino de dejetos suínos**. In: XXIX Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. **Anais...**San Juan: AIDIS, 2004

HENN, A. **Avaliação de dois sistemas de manejo de dejetos em uma pequena propriedade produtora de suínos - condição de partida**. Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

IBGE. **Abate de frangos e suínos e produção leite e ovos crescem em 2011.**

Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=2107&id_pagina=1>. Acesso em: 10 jan. 2013.

ITAI. **Manual de implantação de geração distribuída de energia elétrica a biogás com saneamento ambiental.** Foz do Iguaçu: Instituto de Tecnologia Aplicada e Inovação, 2011.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos.** 5. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 940 p.

KAWAI, H. **Avaliação do desempenho de estações de tratamento de esgotos.** São Paulo: CETESB, 1991. 38 p.

KUNZ, A. Experiência da Embrapa com biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos - I. *In: Reunião Técnica sobre biodigestores para tratamento de dejetos de suínos e uso de biogás.* Concórdia, SC: Embrapa Suínos e Aves, 2006. 7-12 p.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. V. DE; HIRAGASHI, M. M. Biodigestor para o tratamento de dejetos de suínos: influência da temperatura ambiente. **Comunicado Técnico Embrapa**, p. 5, dez. 2005.

KUNZ, A.; PALHARES, J. C. P. A importância do correto procedimento de amostragem para avaliação das características dos dejetos de suínos. **Comunicado Técnico Embrapa**, p. 1-4, jul. 2004.

LABATUT, R. A.; GOOCH, C. A. **Monitoring of Anaerobic Digestion Process to Optimize Performance and Prevent System Failure.** *In: Got Manure? Enhancing Environmental and Economic Sustainability Conference.* **Anais...**New York: AgSTAR, 2012

LEITE, V. D.; POVINELLI, J. Comportamento dos sólidos totais no processo de biodigestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos e industriais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 2, p. 229-232, 1999.

LEMOS, B. P. *et al.* **Geração de energia elétrica a partir de dejetos suínos: um enfoque sobre os aspectos técnicos e econômicos.** *In: III Seminário Internacional do Setor de Energia Elétrica - SISE.* **Anais...**Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e Tratamento de Água.** 2. ed. Campinas, SP: Editora Átomo, 2008.

LIMA, H. Q. **Avaliação dos Modelos Hashimoto e AMS-III.D para produção de metano com dejetos suínos**. Dissertação (Mestrado em Energia). Santo André: Universidade Federal do ABC, 2011.

MACÊDO, J. A. B. **Métodos Laboratoriais de Análise Físico-Químicas e Microbiológicas**. 3. ed. Belo Horizonte: CRQ-MG, 2005. 601 p.

MENESES, C. G. R. **Evolução da biodegradabilidade da matéria orgânica em um sistema de lagoas de estabilização**. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Natal/RN: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2006.

MIRANDA, A. P.; LUCAS JÚNIOR, J. DE; THOMAZ, M. C. **Redução de sólidos e produção de biodigestores abastecidos com dejetos de suínos alimentados com dietas formuladas com milho ou sorgo**. In: I Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Animais. **Anais...** Florianópolis, SC: SIGERA, 2009

NEVES, V. L. V. **Construção de biodigestor para produção de biogás a partir da fermentação de esterco bovino**. Araçatuba: Faculdade de Tecnologia de Araçatuba, 2010.

NUVOLARI, A. **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola**. São Paulo: Editora Blucher, 2003.

OLIVEIRA, P. A. V. DE. **Manual de manejo e utilização dos dejetos suínos**. Concórdia, SC: Embrapa - CNPSA, 1993. 188 p.

OLIVEIRA, P. A. V. DE; HIRAGASHI, M. M. **Geração e utilização de biogás em unidades de produção de suínos**. Concórdia, SC: Embrapa Suínos e Aves, 2006. 42 p.

PAIANO, D. *et al.* Comportamento de suínos alojados em baias de piso parcialmente ripado ou com lâmina d'água. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 29, n. 3, p. 345-351, 18 dez. 2007.

PARANÁ. **Investindo no Paraná**. Disponível em: <<http://www.cidadao.pr.gov.br/modules/catasg/catalogo.php?servico=384>>. Acesso em: 3 jan. 2013.

PERDOMO, C. C.; LIMA, G. J. M. M. DE; NONES, K. **Produção de suínos e meio ambiente**. In: IX Seminário Nacional de Desenvolvimento da Suinocultura. **Anais...** Gramado: Embrapa Suínos e Aves, 2001

PIER. **Itaipu Renewable Energy Platform**. Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional/PTI/UNIDO, 2012.

RIPLEY, L. E.; BOYLE, W. C.; CONVERSE, J. C. Improved Alkalimetric Monitoring for Anaerobic Digestion of High-Strength Wastes. **Water**, v. 58, n. 5, p. 406-411, 1986.

ROESLER, M. R. VON B.; CESCNETO, E. A. A produção de suínos e as propostas de gestão de ativos ambientais: o caso da região de Toledo – Paraná. **Informe GEPEC**, v. 7, n. 2, p. 1-19, 2003.

SÃO MIGUEL DO IGUAÇU. **Geografia e População**. Disponível em: <<http://200.150.71.19/geografia>>. Acesso em: 3 jan. 2013.

SILVA, S. R.; AGUIAR, M. M. DE; MENDONÇA, A. S. F. **Correlação entre DBO e DQO em esgotos domésticos para a região da Grande Vitória - ES**. In: XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais...**Foz do Iguaçu: ABES, 1997

SILVEIRA, I. C. T. *et al.* **Monitoramento de biomassa aneróbia presente em reatores de baixa carga: técnicas convencionais x técnicas da biologia molecular**. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais...**Porto Alegre: ABES, 2000

SOARES, M. T. S. *et al.* **Caracterização Físico-Química de Efluentes Líquidos de Granjas Suínas Tratados em Biodigestor**. In: V Simpósio sobre Recursos Naturais e Socioeconômicos do Pantanal. **Anais...**Corumbá: 2010

SOUZA, C. DE F. *et al.* Caracterização de dejetos de suínos em fase de terminação. **Revista Ceres**, v. 56, n. 2, p. 128-133, 2009.

SOUZA, M. E. Fatores que influenciam a digestão anaeróbia. **Revista DAE**, v. 44, n. 137, p. 88-94, 1984.

SPERLING, M. VON. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1996. 211 p.

SPERLING, M. VON. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2005. 452 p.

SPERLING, M. VON. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2007. 588 p.

SRIDHAR, S.; KALE, A.; KHAN, A. A. Reverse osmosis of edible vegetable oil industry effluent. **Journal of Membrane Science**, v. 205, n. 1-2, p. 83-90, 2002.

TRICHES, G. P. **A suinocultura e o desenvolvimento regional: o caso do alto vale do Itajai - SC**. Cascavel, PR: Universidade Regional de Blumenau, 2003.

WILLERS, E. M. *et al.* Análise da concentração dos setores de criação, de abate e processamento da carne de suínos no oeste do Paraná. **RACE Unoesc**, v. 1, n. Especial Agronegócios, p. 103-130, 2012.