



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS DE ERECHIM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA
AMBIENTAL
CURSO DE MESTRADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

CLENOIR ANTONIO SOARES

Estudo da Produção de Biogás em Escala Real a partir de Dejetos Suínos

**ERECHIM
2016**

CLENOIR ANTONIO SOARES

**ESTUDO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM ESCALA REAL A PARTIR DE DEJETOS
SUÍNOS**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental sob a orientação da Prof^a Dra. Helen Treichel e Prof^a Dra. Gean Delise Leal Pasquali Vargas.

**ERECHIM
2016**

UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL

Rua General Osório, 413D
CEP: 89802-210
Caixa Postal 181
Bairro Jardim Itália
Chapecó - SC
Brasil

FICHA CATALOGRÁFICA

Soares, Clenoir Antonio
Estudo da Produção de Biogás em Escala Real a Partir de Dejetos
Suínos/Clenoir Antonio Soares
2016 67.f: il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Fronteira Sul, Ciência e
Tecnologia Ambiental.

Orientador: Helen Treichel

Gean Delise Leal Pasquali Vargas

Inclui Bibliografia

1. Biogás. 2. Dejetos Suínos. 3. Digestão Anaeróbia.

I. Clenoir Antonio Soares. II. Estudo da Produção em Escala Real a partir de
Dejetos Suínos.

CLENOIR ANTONIO SOARES

ESTUDO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM ESCALA REAL A PARTIR DE DEJETOS SUÍNOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS, para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental, defendido em banca examinadora em 24/08/2016.

Orientador (a): Prof. Dra. Helen Treichel

Orientador (a): Prof^a Dra. Gean Delise Leal Pasquali Vargas

Aprovado em: 24/08/2016

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Helen Treichel – UFFS

Prof. Dra. Gean Delise Leal Pasquali Vargas - UFFS

Prof. Dra. Juliana Steffens – URI

Prof. Dr. Altemir José Mossi - UFFS

Erechim/RS, Agosto de 2016.

Dedico esta conquista a Deus e a todos que diretamente e indiretamente contribuíram para a ampliação destes conhecimentos e que os mesmos possam ser usados para o bem e para o futuro da humanidade.

AGRADECIMENTOS

Á Deus, por permitir saúde e a mim pela vontade de continuar estudando;

Á Cooperativa Agroindustrial Alfa, através do seu dirigente Sr. Cládis Jorge Furlanetto, que autorizaram a continuidade dos estudos e aplicar os conhecimentos em minha área de atuação na empresa;

Á minha esposa Daniela e meu Filho Duan que sempre apoiaram nas horas boas e difíceis durante estes dias que estive ausente para estudar e as vezes resmungando em casa.

Às minhas orientadoras, Helen Treichel e Gean Delise Leal Pasquali Vargas, pela colaboração, incentivo, apoio e amizade, aos demais professores, alunos da turma de mestrado e funcionários da UFFS;

Á Universidade Federal da Fronteira Sul, campos Erechim-RS pela abertura do mestrado na área ambiental, ao prof. Geraldo C. Coelho que me ajudou em 48 horas fazer inscrição, providenciar documentos até ser protocolado no correio no último minuto do segundo tempo;

Aos colegas de trabalho que atuam na Unidade de Produção de Leitões da Cooperalfa de Palma Sola - SC, onde foi realizado as pesquisas, Srs. Paulo Both, Jeferson, Cleo e Luiz Giongo.

Á minha equipe da área ambiental que sempre fazem o melhor para os trabalhos acontecerem. Em especial a Eng^a Ambiental Marina Sbardelotto que com seu conhecimento ajudou nas conduções dos trabalhos desta pesquisa e lapidar este trabalho.

Ao amigo Santiago Ibarra (Gter), velho parceiro sempre presente nos desenvolvimento de Tecnologias e Inovações nas atividades de energias renováveis;

Às técnicas de laboratório Elivânia e Lorena da Aurora Alimentos pelas parcerias de sempre e pelas análises laboratoriais realizadas da pesquisa;

Aos amigos Nei e Janete que sempre apoiaram a continuidade de estudo.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.
Marthin Luther King

RESUMO

A utilização da digestão anaeróbia para redução da carga poluidora dos dejetos suínos têm se apresentado como uma tecnologia viável e promissora, uma vez que além de tratar o efluente torna possível o aproveitamento do biogás para geração de energia elétrica, aquecimento das instalações e substituição do Gás Liquefeito de Petróleo – GLP, além da produção de um biofertilizante para aplicação no solo como fonte de nutrientes. Diante de tal contexto, o presente trabalho teve por objetivo analisar a produção de biogás em escala real a partir de dejetos suínos, a fim de melhorar o sistema de tratamento, bem como identificar as variáveis que influenciam no processo. O estudo foi realizado em uma Unidade Produtora de Leitões - UPL, no extremo-oeste de Santa Catarina, em um sistema composto por três biodigestores, com fluxo contínuo do tipo canadense, com tempo de retenção calculado para 30 dias e capacidade de 1.800 m³ cada. Foram avaliados, em dois períodos sazonais distintos (verão e inverno), diariamente os parâmetros, volume de dejetos com e sem manejo de calha, temperatura do dejetos e ambiente, densidade do efluente, pluviometria e o manejo das instalações. E, semanalmente, realizou-se análises físico-químicas do dejetos bruto e do efluente tratado, sendo a análise de eficiência do sistema e o cálculo da produção de biogás, baseado na remoção da Demanda Química de Oxigênio – DQO. Para ambos os períodos analisados a eficiência de remoção da DQO apresentou média superior a 74%. Através da análise do Potencial Bioquímico de Metano (BMP) do efluente bruto tem-se que na granja é possível obter cerca de 0,580 Nm³ de Biogás/kg DQO_{removida}, desse modo, no verão foram produzidos durante o período de análise cerca de 16.772 Nm³ de biogás, sendo que os biodigestores 1, 2 e 3 produziram, respectivamente, o equivalente a 6.623 Nm³, 6.488 Nm³, 3.661 Nm³. Já para o período de inverno, produziu-se cerca de 11.409 Nm³ de biogás sendo para os reatores 1, 2 e 3, respectivamente, a quantidade de 4.234 Nm³, 3.083 Nm³ e 4.092 Nm³ de biogás. O estudo aponta esta tecnologia como viável para o tratamento dos dejetos, e por consequência para produção de biogás, podendo ainda ser incrementada através da melhoria na qualidade dos dejetos, no sistema de agitação e remoção de lodo. Na literatura não foram encontrados muitos trabalhos em escala real o que torna o estudo relevante para desencadear outras pesquisas na área ambiental.

Palavras-chave: Biogás. Dejetos suínos. Digestão anaeróbia.

ABSTRACT

The use of anaerobic digestion to reduce the pollution load of pig waste manure has been presented as a viable and promising technology, in addition to treat the effluent makes possible the use of biogas electricity generation, heating facilities and replacement of Liquefied Petroleum Gas - LPG, beyond the production of bio-fertilizers applied to the soil as a source of nutrients. Faced with this context, this study aimed to analyze the biogas production in full scale from pig waste, to improve the treatment system and to identify the variables that influence the process. The study was conducted in a Production Unit of Piglets - PUP, in the far west of Santa Catarina, in a system of three digesters, continuous flow of Canadian type, with retention time calculated for 30 days and capacity of 1,800 cubic meters each. They were evaluated, in two distinct seasonal periods (summer and winter), daily parameters, volume of waste with and without rail handling of waste and room temperature, effluent density, rainfall and the management of facilities. And, every week, there was physical and chemical analysis of raw manure and treated effluent, and system efficiency analysis and the calculation of the biogas production, based on the removal of Chemical Oxygen Demand - COD. For both periods analyzed, the COD removal efficiency showed an average of more than 74%. Through this analysis of Biochemical Methane Potential (BMP) of raw wastewater we have that the farm can get about 0.580 Nm³ Biogas/kg DQO_{removed}, thus in the summer were produced during the analysis period about 16,772 Nm³ of biogas, and the biodigester 1, 2 and 3 produced, respectively, equivalent to 6,623 Nm³, 6,488 Nm³, 3,661 Nm³. In the winter period, it produced about 11,409 Nm³ biogas and for reactors 1, 2 and 3, respectively, the amount of 4,234 Nm³, 3,083 Nm³ and 4,092 biogas Nm³. The study shows how this technology feasible for the treatment of waste, and therefore for biogas production, and can be further improved by improving the quality of waste, in the agitation and sludge removal system. In the literature, they were not found many works in full scale, which makes the study relevant to trigger further research in the environmental area.

Keywords: Biogas. Swine waste. Anaerobic digestion.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma do sistema produtivo de uma granja de suínos.	02
Figura 2. Etapas de formação do Biogás.....	05
Figura 3. Visualização da área de estudo - UPL Palma Sola.....	12
Figura 4. Gerador de energia elétrica.	13
Figura 5. Visualização dos Biodigestores da unidade de produção de leitões.	14
Figura 6. (a) Visualização do balão de Gás filtrado (b) Queimador de gás.....	14
Figura 7. Visualização das lagoas anaeróbias.	15
Figura 8. Esquematização do sistema de tratamento.....	16
Figura 9. Visualização da determinação da densidade do dejetos.	17
Figura 10. Visualização da coleta de amostras para análise da BMP.....	18
Figura 11. a) efluente bruto da caixa de homogeneização (b) amostra após o processo de digestão anaeróbia.....	18
Figura 12. Ilustração do assoreamento no Biodigestor 1.....	30
Figura 13. Ilustração do assoreamento no Biodigestor 1.	31
Figura 14. Visualização do novo sistema de agitação do Biodigestor 1.....	32
Figura 15. Visualização da distribuição novo sistema de agitação do Biodigestor 1.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características físico-químicas de dejetos suínos.....	03
Tabela 2. Composição média do biogás.....	04
Tabela 3. Tabela de conversão de Nutrientes.....	21
Tabela 4. Análises físico-químicas do dejetos bruto e efluente tratado, realizadas no período de verão.....	24
Tabela 5. Análises físico-químicas do dejetos bruto e efluente tratado, realizadas no período de inverno.....	24
Tabela 6. Características físico-químicas para efluentes brutos da suinocultura	26
Tabela 7. Produção de biogás e de metano a partir da DQO removida durante o período de verão.....	29
Tabela 8. Produção de biogás e de metano a partir da DQO removida durante o período de inverno.....	29

LISTA DE ABREVIACÕES

ALC - Alcalinidade

BMP – Potencial Bioquímico de Metano

CA – Com Agitação

CNTP – Condições Normais de Temperatura e Pressão

COOPERALFA – Cooperativa Agroindustrial Alfa

DB – Dejeito Bruto

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

DT – Dejeito Tratado

FATMA – Fundação do Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina

GEE – Geração de Energia Elétrica

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

MS – Matéria Seca

NTK – Nitrogênio Total Kjeldahl

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

pH – Potencial Hidrogeniônico

SA – Sem agitação

SV – Sólidos Voláteis

ST – Sólidos Totais

TRH – Tempo de Retenção Hidráulica

UFFS – Universidade Federal da Fronteira SUL

UPL – Unidade Produtora de Leitões

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	01
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	11
<u>2.1 Descrição do Sistema em Análise.....</u>	11
<u>2.2 Parâmetros Analisados.....</u>	15
<u>2.3 Determinação do Potencial Bioquímico de Metano – BMP.....</u>	17
<u>2.4 Cálculo da Produção de Biogás.....</u>	19
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	33
5. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	34
6. ANEXOS.....	34
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34

1. INTRODUÇÃO

Em busca de novas fontes energéticas, diversas pesquisas são desenvolvidas a fim de verificar o potencial de produção de energia através de matérias-primas de menor custo e com métodos mais eficientes. Energias alternativas que visam à substituição ou redução do uso da energia fóssil, visto que, a sua utilização está atrelada a problemas ambientais distintos como a contaminação do solo e dos recursos hídricos, pelos hidrocarbonetos (HC) que compõem o petróleo e, ainda, a poluição atmosférica, oriunda da liberação de óxidos de enxofre (SO_x), óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono (CO) (DRUMM et al. 2014), entre outros gases promotores do aquecimento global, ou seja, gases de efeito estufa (FERNANDES, 2012; SILVA e AMARAL, 2013) e de problemas de saúde.

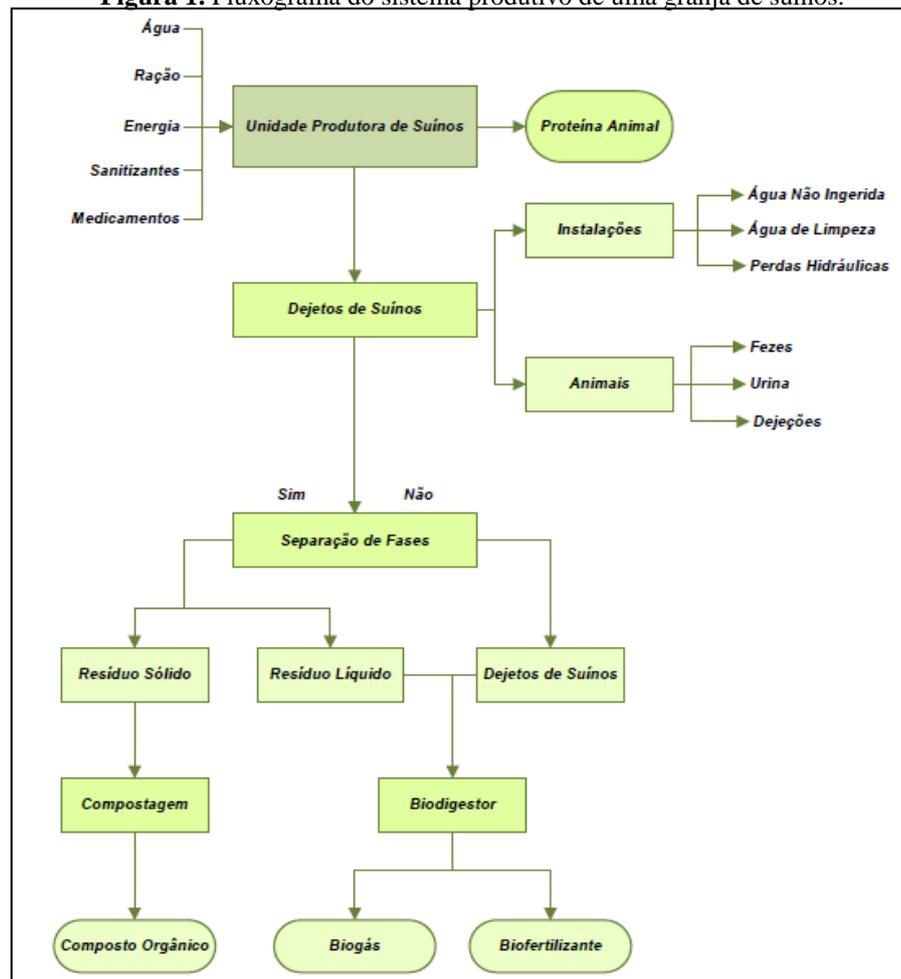
Frente a isto, desenvolveram-se, nas últimas décadas, estudos nas áreas das energias solar, geotermal, eólica, pequenas centrais hidrelétricas e de biomassa. Sendo que para a última, no Brasil, as principais fontes energéticas são a cana-de-açúcar e os resíduos sólidos urbanos, florestais, agrícolas e agropecuários. Totalizando, segundo dados do Balanço Energético Nacional (2015), 7,3% da oferta interna de energia elétrica do país. No entanto, Lima Júnior et al. (2014) ressaltam que o uso e aproveitamento de determinadas fontes, limita-se pela falta de conhecimento com relação ao seu potencial energético, o que torna possível o aumento da produção, dadas as condições de processo otimizadas. Ainda, a utilização das energias alternativas, muitas vezes, está associada ao seu alto investimento inicial, bem como ausência de legislação regulatória que possibilite a competitividade com as energias convencionais.

Neste sentido, o uso da biomassa como fonte energética traz a possibilidade de aproveitamento dos resíduos, e conseqüentemente, a redução dos impactos ambientais associados à sua disposição final inadequada. Dentre estes resíduos, pode-se citar os urbanos (processados em aterros sanitários e estações de tratamento de efluente líquido), a vinhaça de açúcar e, principalmente, os resíduos da pecuária, destacando-se entre estes, aqueles oriundos da atividade de suinocultura. Uma atividade econômica que cresce significativamente no país devido a sua associação com as atividades agroindustriais, tanto em pequenas propriedades quanto em grandes sistemas de produção, tornando-se assim, uma atividade de alto potencial poluidor frente aos órgãos de fiscalização, decorrente da sua composição, que podem degradar e poluir as águas superficiais e subterrâneas, o solo e atmosfera (FERNANDES, 2012), bem como devido a geração do grande volume de efluentes.

A atividade de suinocultura envolve uma série de componentes inter-relacionados,

com o objetivo específico da produção de suínos, ou seja, produção de proteína animal. Neste sistema devem ser consideradas as entradas de insumos como água, energia, medicamentos e sanitizantes, as instalações, o tipo e categoria da produção, as técnicas de manejo adotadas e o gerenciamento do efluente final, pois, a produção eficaz depende da conformidade desses componentes. Neste sentido, a Figura 1, a seguir ilustra os componentes supracitados e todo o processo que pode estar envolvido no sistema de produção de suínos, bem como as formas de tratamento mais utilizadas, dentre elas, a compostagem, com o intuito de produzir um composto orgânico sólido para aplicação no solo e, de fácil transporte quando há baixa disponibilidade de área no entorno do empreendimento e, a biodigestão anaeróbia, que possibilita a recuperação do gás para geração de energia, e ainda, produção de um biofertilizante líquido para aplicação no solo.

Figura 1. Fluxograma do sistema produtivo de uma granja de suínos.



Fonte: Fernandes, 2012.

Além de fezes e urina, este efluente da suinocultura, contém restos de ração, pelos, resíduos da degradação das instalações (areia e concreto), produtos da higienização, perdas

hidráulicas e água desperdiçada nos bebedouros, sendo que o volume gerado pode variar conforme o peso do animal, o consumo de água e produção de urina e, principalmente, com o tipo de manejo empregado na atividade (SINOTTI, 2005). Conforme apontam Salomon et al. (2012), utilizando o equivalente populacional, a capacidade poluidora de um suíno é equivalente a poluição gerada por 3,5 pessoas.

Entretanto, além do volume, a composição também é dependente dos itens supracitados e, por consequência, do sistema de manejo da granja, resultando em variações amplas na concentração dos seus constituintes, que dependem tanto da diluição, como do manuseio e armazenamento dos dejetos. Sob tal contexto, este efluente resultante é constituído, em sua maioria, de material orgânico e compostos como nitrogênio (N), potássio (K), sódio (Na), magnésio (Mg), cálcio (Ca), fósforo (P), manganês (Mn), ferro (Fe) e zinco (Zn) (DIESEL et al. 2002), apresentando variações nas características físico-químicas, conforme ilustra a Tabela 1.

Tabela 1. Características físico-químicas de dejetos suínos.

Parâmetros	Mínimo	Máximo	Média
pH	6,5	9,0	7,75
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)	5.000	15.500	10.250
Demanda Química de Oxigênio (mg/L)	12.500	38.750	25.625
Sólidos Totais (mg/L)	12.697	49.432	22.399
Sólidos Voláteis (mg/L)	8.429	39.024	16.389
Sólidos Fixos (mg/L)	4.268	10.408	6.010
Sólidos Sedimentáveis (mg/L)	220	850	429
Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	1.660	3.710	2.374
Fósforo Total (mg/L)	320	1.180	578
Potássio Total (mg/L)	260	1.140	536

Fonte: Konzen, 1980.

No ambiente, os dejetos suínos podem promover alterações na qualidade dos recursos naturais como solo, água e ar. No solo, além da disposição direta do efluente, tem-se a aplicação do mesmo na forma de adubo orgânico, uma técnica amplamente utilizada no Brasil, que se aplicada de forma inadequada pode promover o carreamento, principalmente, dos compostos nitrogênio (N) e fósforo (P) para as camadas subsuperficiais do solo, limitando a produção agrícola (SINOTTI, 2005). Ainda, a superdosagem deste adubo, torna o meio vulnerável ao escoamento superficial, podendo assim atingir os recursos hídricos e, por consequência, promover a eutrofização, bem como alteração da qualidade de água (SINOTTI, 2005; SILVA, 2013), decorrente do aumento da demanda bioquímica de oxigênio para degradação do material orgânico, bem como a contaminação por patógenos.

Na atmosfera a contaminação associa-se a liberação de gases tóxicos como óxido

nitroso (N_2O) amônia (NH_3), ácido sulfídrico (H_2S) e dióxido de carbono (CO_2) (SILVA, 2013), podendo acarretar em problemas no sistema respiratório. Além disso, tem-se a geração de gases promotores do efeito estufa como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), nitrogênio (N_2), óxido nitroso (N_2O), resultantes do processo de digestão anaeróbia em lagoas de estabilização (SINOTTI, 2005). Cabe salientar ainda que, embora presente em concentrações reduzidas, os metais pesados como cobre (Cu) e zinco (Zn), também merecem atenção, devido a sua elevada toxicidade para os microrganismos presentes no solo.

Desse modo, deve-se ressaltar que ao promover a degradação do meio ambiente, este passivo ambiental acarreta ainda em alterações negativas na qualidade de vida da população, de tal maneira, que a busca por alternativas tecnológicas de tratamento destes efluentes é de extrema relevância (SILVA, 2013). A partir do exposto percebe-se que a tecnologia da biodigestão para o tratamento de dejetos suínos, apresenta-se como uma ferramenta promissora no campo da biotecnologia (DIAS et al., 2013) e, uma alternativa viável para transformar este passivo ambiental da pecuária em energia (biogás) e biofertilizante (SILVA, 2013). Tecnologia, esta, apontada como solução eficaz em diferentes pontos de vista (social, econômico e ambiental) (KUNZ et al., 2004; DIAS et al., 2013).

Este processo de geração do biogás consiste na conversão bioquímica do material orgânico complexo em compostos orgânicos mais simples e nutrientes dissolvidos, através da ação de diferentes grupos de microrganismos que, em ambiente com ausência de oxigênio livre e determinadas condições de temperatura, umidade e acidez, promovem a geração de uma mistura gasosa (FERNANDES, 2012; RICARDO, 2012; SILVA, 2013) composta basicamente por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) (SILVA, 2013) além de outros gases traços em menor quantidade como, hidrogênio (H_2), nitrogênio (N_2), monóxido de carbono (CO), amônia (NH_3) e gás sulfídrico (H_2S), em quantidades médias conforme exposto na Tabela 2 (SALOMON e LORA, 2009).

Tabela 2. Composição média do biogás.

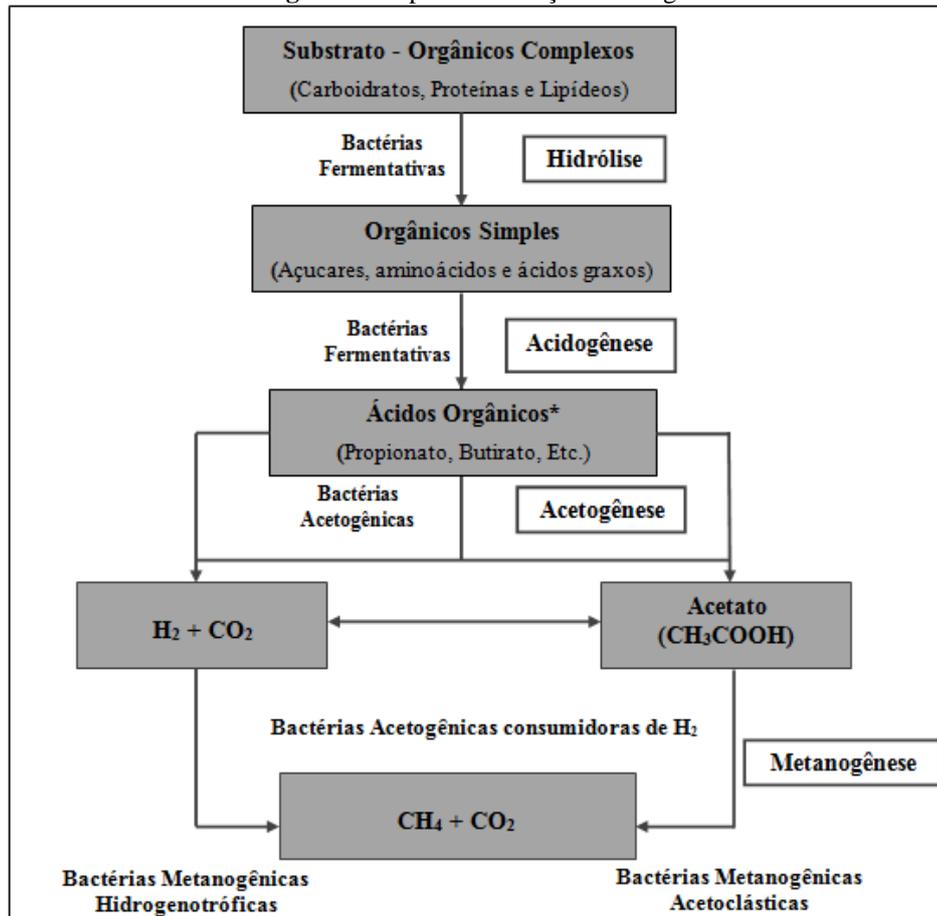
Gases	Quantidade (%)
Metano (CH_4)	40 a 75
Dióxido de Carbono (CO_2)	25 a 40
Nitrogênio (N_2)	0,5 a 2,5
Oxigênio (O)	0,1 a 1
Ácido Sulfídrico (H_2S)	0,1 a 0,5
Amônia (NH_3)	0,1 a 0,5
Monóxido de Carbono (CO)	0 a 0,1
Hidrogênio (H_2)	1 a 3

Fonte: Salomon e Lora, 2009.

Sendo que esta composição pode variar conforme o funcionamento do biodigestor e as

peculiaridades da biomassa utilizada (FERNANDES, 2012), uma vez que a biotransformação dos compostos orgânicos está associada às diversas reações metabólicas do grupo de bactérias presentes no meio, que podem ser divididas em quatro etapas principais, sendo elas, hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, conforme ilustra a Figura 2 (FERNANDES, 2012).

Figura 2. Etapas de formação do Biogás.



Fonte: Fernandes 2012.

Na etapa de hidrólise, em que se tem a ação de bactérias fermentativas hidrolíticas, as enzimas extracelulares promovem a transformação das moléculas orgânicas complexas, incapazes de penetrar na célula bacteriana, em compostos de menor massa molar (SANTA'ANNA JÚNIOR, 2010; SALOMON et al., 2012). Nesta etapa, carboidratos, proteínas e lipídeos, por exemplo, são hidrolisados a açúcares, aminoácidos e ácidos graxos, respectivamente. Ou seja, na hidrólise são convertidos os compostos particulados (polímeros orgânicos) a compostos dissolvidos (monômeros) de tamanho reduzido e capazes de penetrar na parede celular bacteriana (PECORA, 2006; FERNANDES 2012; SILVA, 2013). Segundo Salomon et al., (2012), devido à presença de compostos poliméricos, esta etapa pode ser a mais lenta e determinante do processo de digestão.

Na segunda etapa do processo, acidogênese ou fermentação ácida, as bactérias fermentativas acidogênicas metabolizam os compostos gerados na primeira etapa. Estes substratos são convertidos no interior da célula, em ácidos orgânicos, alcoóis, ácidos graxos voláteis, amônia, gás carbônico, hidrogênio e outros compostos intermediários. (FERNANDES 2012; PECORA, 2006). Nesta etapa ocorre redução do pH do meio decorrente dos ácidos e gás carbônico gerados no processo. Segundo Pecora (2006) as bactérias responsáveis pelas duas primeiras fases, são anaeróbias estritas, em sua maioria, podendo ainda, ser facultativas.

Na etapa de acetogênese, as bactérias acetogênicas convertem os metabólitos gerados na etapa de acidogênese, transformando os ácidos orgânicos parte em hidrogênio e dióxido de carbono e parte em acetato (ZHENG et al., 2009; SALOMON et al., 2012). Sendo estes os substratos para as bactérias metanogênicas da última etapa da biodigestão, denominada metanogênese. Esta etapa é decisiva para o processo de bioconversão, visto que o carbono presente no substrato orgânico é transformado em CO₂ e CH₄, sendo assim realizada a mineralização dos poluentes do substrato (SANTA'ANNA JÚNIOR, 2010). Nesta etapa, a formação do metano pode ocorrer de duas formas: através da ação do grupo de bactérias arqueas hidrogenotróficas que utilizam dióxido de carbono e hidrogênio ou, a partir de bactérias arqueas acetoclásticas que tem como substrato o acetato (SALOMON et al., 2012). As reações abaixo, representadas pelas Equações 1 e 2 respectivamente, mostram a ação das bactérias acetoclásticas e hidrogenotróficas.



Além dessas reações, em substratos que contenham compostos a base de enxofre (sulfatos e sulfitos), tem-se ainda a etapa de sulfetogênese. Nesta etapa há a formação de sulfeto de hidrogênio e dióxido de carbono devido à presença de bactérias anaeróbias estritas, também denominadas redutoras de sulfato ou sulforedutoras (PONTES, 2003). Estes microrganismos tem habilidade de utilizar diversos compostos como fonte de carbono e energia, dentre eles os acetatos, competindo assim com as bactérias metanogênicas e consequentemente, comprometendo o desempenho do sistema (SALOMON et al., 2012).

Nesta mistura de gás gerada com a bioconversão do material orgânico, o metano é o combustível por excelência, desse modo, quanto maior o teor do gás na mistura, maior a pureza do biogás obtido (SILVA, 2013). Além disso, a redução da eficiência do biogás pode

ser associada a presença de componentes não combustíveis como a água e o dióxido de carbono, que dificultam seu processo de queima por absorverem a energia gerada. Além disso, a presença de sulfeto de hidrogênio, mesmo que em concentrações menores (Tabela 2), pode promover corrosão dos componentes do sistema, reduzindo assim, a vida útil dos equipamentos e o rendimento energético (SALOMON et al., 2012). Portanto, dependendo da aplicação desta energia, deve haver processos de limpeza/purificação do biogás a fim de retirar impurezas como CO_2 , H_2S e a água e, por consequência, maximizar a produção e o uso do gás gerado.

O biogás também conhecido como “gás dos pântanos” foi descoberto em 1667 (CLASSEN; LIER; STAMS, 1999 *apud* PECORA, 2006), e em 1776, o italiano Alessandro Volta, apontou a presença de metano (CH_4) no gás dos pântanos, decorrente da decomposição de vegetais em ambiente fechado (GASPAR, 2003). No entanto, foi no século XIX, que um aluno de Louis Pasteur, Ulysse Grayon, realizou uma fermentação anaeróbia obtendo cerca de 100 litros de gás por m^3 de matéria, a partir da mistura de esterco e água, a uma temperatura de 35°C (NOGUEIRA, 1986). Sendo que ao apresentar os estudos de Grayon para a Academia das Ciências, Pasteur apontou que esta fermentação poderia ser uma fonte de energia elétrica e aquecimento (PECORA, 2006).

No ano de 1806, Humphrey Davy, na Inglaterra, reconheceu a existência de um gás composto por carbono (C) e dióxido de carbono (CO_2), oriundo da decomposição de resíduos de animais em ambientes úmidos. Entretanto foi em 1857, na cidade de Bombaim, na Índia, que se constituiu a primeira experiência de utilização do biogás, destinado a um hospital. Outras descobertas foram realizadas nesta mesma época por pesquisadores da França e da Alemanha, que constituíram o embasamento da biodigestão anaeróbia (NOGUEIRA, 1986). Mais tarde, em 1890, na universidade de Exeter, na Inglaterra, desenvolveu-se uma fossa séptica para tratamento de efluente doméstico, utilizando o gás produzido para iluminação pública. E no ano de 1920, a evolução do biogás teve uma grande contribuição devido ao desenvolvimento de um tanque biodigestor para tratamento de esgoto doméstico, realizado por Karl Imhoff na Alemanha (NOGUEIRA, 1986).

No entanto, a grande disponibilidade de fontes convencionais nas décadas de 50 e 60, reduziu o investimento de muitos países na recuperação do biogás. Porém, na China e na Índia, devido a menor disponibilidade de recursos, o biogás apresentou grande destaque, sendo estes os primeiros países a explorarem o processo de biodigestão de forma mais intensa, desenvolvendo assim, seus próprios modelos de biodigestores (PECORA, 2006). Estes países promoveram através da biodigestão de resíduos agrícolas, um relevante marco na difusão da

decomposição anaeróbia, uma vez que além de assegurar uma melhoria nas condições sanitárias do resíduo, a tecnologia permitia a produção de um insumo energético de ampla aplicabilidade, o biogás (SANT'ANNA JÚNIOR, 2010).

A partir disto, em 1939, em Kanpur, o Instituto Indiano de Pesquisa Agrícola construiu a primeira usina de gás de dejetos de animais, que impulsionou a pesquisa indiana para que em 1950, fosse criado o *Gobar Gas Institute*. Já na China, o *Gobar Gas*, como era denominado pelos indianos, o gás de esterco, impulsionou o uso da biodigestão fazendo com que no período entre 1958 e 1972, fossem instalados 7,2 milhões de biodigestores no país (GASPAR, 2003).

A partir disto a tecnologia de digestão anaeróbia evoluiu expandindo-se para o tratamento de resíduos municipais, agrícolas e industriais. Assumindo caráter científico a partir de 1960, em que se passou a investigar o processo da biodigestão, bem como os projetos e equipamentos auxiliares (PECORA, 2003). No entanto foi na década de 70, com a crise do petróleo, que o biogás passou a ser de interesse tanto de países desenvolvidos como subdesenvolvidos, tornando-se alvo de pesquisas energéticas.

No Brasil, a tecnologia foi implantada primeiramente no nordeste, através de programas de difusão dos biodigestores, porém, os resultados obtidos não foram benéficos, tornando inviável a continuidade dos programas (PECORA, 2003). Em 1979, em Brasília, a EMBRATER instalou o primeiro biodigestor modelo chinês (GASPAR, 2003) que foi impulsionado pelo novo aumento dos preços do petróleo.

Segundo Oliveira e Higarashi (2006) o maior interesse pela tecnologia da biodigestão no Brasil ocorreu nas décadas de 70 e 80, principalmente entre os produtores de suínos. Todavia a deficiência dos conhecimentos técnicos referentes a construção e operação dos biodigestores, o elevado custo de implantação e manutenção, a necessidade de equipamentos específicos para aplicação do biofertilizante e, o baixo tempo de vida dos equipamentos do sistema devido a ação dos gases corrosivos gerados no processo, são alguns dos fatores que alavancaram um decréscimo na utilização desta tecnologia (KUNZ et al., 2004).

Atualmente, esta tecnologia encontra-se difundida em diversos países, apresentando-se como uma alternativa viável para solução do passivo ambiental e incremento da matriz energética. Visto que no processo ocorre a conversão de grande parte da carga poluente dos dejetos em bioenergia (biogás) e adubo orgânico (biofertilizante) (OLIVEIRA e HIGARASHI, 2006). Silva e Amaral (2013) apontam que na China há cerca de sete milhões de biodigestores em funcionamento, que a Índia apresenta mais de 36.000 unidades e, na Coreia do Sul em torno de 27.000 e nas Filipinas 100 biodigestores em funcionamento,

respectivamente.

Com relação aos substratos que podem ser utilizados para a produção de biogás, pode-se destacar a utilização de resíduos da pecuária como os dejetos de suínos, de aves e de bovinos, vinhaça de cana de açúcar, resíduos urbanos (processados em aterros sanitários e estações de tratamento de efluentes líquidos), entre outros substratos, cada qual com suas peculiaridades decorrentes da composição do substrato e organismos presentes no meio.

Segundo Salomon et al. (2012), a vinhaça de cana-de-açúcar também denominada vinhoto é um líquido de coloração marrom escuro, com elevada acidez, resultante do processo de fermentação do melaço e do caldo de cana-de-açúcar, em destilarias. Este resíduo pode ser utilizado como fertilizante e fonte de potássio, entretanto, por apresentar alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO) exibe elevado potencial poluidor, o que torna necessário seu tratamento para aplicação no solo. A composição deste substrato varia conforme a variedade da cana-de-açúcar e o processo utilizado para a produção de etanol, no entanto, em sua maioria apresentam DBO entre 30.000 e 40.000 mg/L e pH variando entre 4 a 5 (decorrente da presença de ácidos orgânicos). Devido a esta elevada carga orgânica, este substrato pode ser aplicado na produção de biogás através da digestão anaeróbia e posterior aplicação do efluente para fertirrigação.

Outra alternativa para produção de energia é a aplicação da biodigestão em resíduos urbanos, aplicado para o tratamento de efluentes e recuperação de gases em aterros sanitários. Com relação aos efluentes domésticos, atualmente no Brasil os tratamentos de maior aplicabilidade são as lagoas de estabilização, filtros biológicos, processos de lodo ativado com aeração prolongada e ainda, sistemas individuais de fossas assépticas (SALOMON et. al., 2012). Entretanto, devido a sua composição ser basicamente sólidos em suspensão, nutrientes, organismos patogênicos e alta carga de matéria orgânica (PECORA, 2006), os efluentes domésticos consistem em uma excelente fonte de gás metano a partir da decomposição anaeróbia do material orgânico (SALOMON et al., 2012). Segundo Campos (1999), em condições normais de temperatura e pressão, em termos de matéria orgânica degradada, removendo-se um quilograma de DQO pode-se obter aproximadamente 350 litros de metano.

Um exemplo desta aplicação é o estudo realizado por Pecora (2006), referente à avaliação da geração de energia elétrica, a partir de biogás oriundo do tratamento do esgoto do conjunto residencial da Universidade de São Paulo (USP), em um projeto do Programa de Uso Racional de Energias e Fontes Alternativas (PUREFA). Este estudo teve por objetivo a captação, purificação e armazenamento de biogás gerado em reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) de fluxo ascendente com manto de lodo e, a sua aplicação na geração de

energia elétrica.

Além destes estudos, a aplicação da digestão anaeróbia para tratamento e geração de energia (WU et al., 2010) a partir de dejetos de animais, vem ganhando destaque dentre os programas de pesquisas. Diversos estudos destacam a utilização desta tecnologia para tratamento de dejetos suínos, devido ao seu elevado potencial poluidor que acarreta em diversos impactos ambientais quando lançado diretamente em recursos hídricos (LEITE et al., 2011). Por promover a dispersão de patógenos, redução do teor de oxigênio dissolvido e a contaminação da água pela presença de amônia, nitratos e compostos tóxicos (SALOMON et al., 2012).

Esta tecnologia capaz de reduzir impactos ambientais através da redução da carga orgânica dos efluentes, promoveu a possibilidade de geração de uma energia renovável, visto que o biogás gerado pode ser aplicado na produção de energia elétrica, térmica ou mecânica, utilizado para substituir combustíveis fósseis como o gás liquefeito de petróleo (GLP) e a madeira (KUNZ et al., 2009; FERNANDES, 2012; SILVA, 2013).

Deste modo tendo que, cada suíno adulto gera cerca de 7 a 8 litros de efluentes líquidos por dia (DIESEL et al., 2002) e que, o seu ciclo de vida, para atingir 100 kg, varia entre 140 a 150 dias (SALOMON et al., 2012), obtém-se grande quantidade de dejetos a ser tratado e, conseqüentemente, grande disponibilidade de substrato para a produção de energia.

Esta tecnologia de biodigestão já é conhecida em países como China e Índia há muito tempo, e desse modo, o manejo dos dejetos, conformações dos biodigestores, entre outras variáveis da construção e operação, encontram-se em estágios de desenvolvimento e execução mais avançados (SILVA e AMARAL, 2013). Em contra partida, no Brasil, esta tecnologia surgiu a pouco mais de duas décadas, e, portanto, há uma ampla gama de variáveis de operação a serem investigadas, uma vez que diversos fatores influenciam no processo de biodigestão anaeróbia, promovendo assim alterações na qualidade e quantidade do produto final, dentre os quais pode-se destacar: a temperatura, o pH, a densidade da biomassa, o sistema de agitação, a conformação do biodigestor, a sazonalidade e as necessidades nutricionais.

Diante do exposto, o objetivo e interesse desta pesquisa é avaliar as variáveis que influenciam no processo de produção de biogás a partir de dejetos suínos em escala real, a fim de verificar a interferência da sazonalidade, das características do efluente e do manejo produtivo no produto final. Para tal, o estudo foi realizado em uma Unidade de Produção de Leitões (UPL), localizada no extremo oeste de Santa Catarina, na qual o biogás produzido tem sua utilização como combustível, na forma direta em substituição do GLP – Gás Liquefeito de

Petróleo para fins de aquecimento dos leitões na creche, aquecimento da água para uso nos chuveiros, utilização na cozinha, bem como geração de energia elétrica – GEE com o gás excedente.

Tendo em vista que para a realização do trabalho em escala real teve-se custos de análises laboratoriais, de transporte das amostras (moto-táxi) e do trabalho dos técnicos e dos operadores, custeados pela empresa.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Descrição do Sistema em Análise

Os estudos foram conduzidos em uma Unidade Produtora de Leitões - UPL da Cooperativa Agroindustrial Alfa, localizada na cidade de Palma Sola, no extremo oeste do estado de Santa Catarina, em um sistema composto por três biodigestores modelo híbrido (fluxo pistão e mistura completa), com capacidade de 1.800 m³ cada, sendo dois destes sem processo de agitação.

Esta Unidade de Produção de Leitões (Figura 3) encontra-se localizada em uma área de 23 hectares, com alojamento completo de 2.700 matrizes, as quais produzem cerca de 6.580 leitões de 23 kg/mês, que são destinados aos integrados da empresa para terminação destes animais. Por consequência, o desenvolvimento da atividade gera aproximadamente 61,6 m³ de dejetos por dia, visto que segundo a Instrução Normativa N° 11 (FATMA, 2014) cada animal, produz 22,8 litros de dejetos, totalizando assim, 22.447 m³ de dejetos por ano, que devem ser tratados para posterior aplicação no solo na forma de biofertilizante.

Figura 3. Visualização da área de estudo - UPL Palma Sola.



O efluente gerado na atividade é submetido ao tratamento de biodigestão anaeróbia, para tal, o dejetos é conduzido por gravidade através de tubulações subterrâneas até o sistema de tratamento composto por gradeamento, no qual são removidos materiais indesejáveis e de maior tamanho, caixa de homogeneização, três biodigestores modelo híbrido (fluxo pistão e mistura completa) e quatro lagoas anaeróbias revestidas com manta PEAD (polietileno de alta densidade) de 1,5 mm.

Através da captação do biogás produzido, é realizado o aquecimento dos leitões na creche, aquecimento da água utilizada nos chuveiros, consumo na cozinha, bem como geração de energia elétrica, substituindo o GLP (Gás Liquefeito de Petróleo). Após a produção do biogás, o substrato fermentado é utilizado como biofertilizante, sendo aplicado nas áreas agricultáveis e de reflorestamento em propriedades rurais localizadas ao entorno da granja, com contrato de parceria de terra para o manejo em quantidades determinadas a partir da análise de solo e recomendação agrônômica de aplicação, observando a legislação vigente e as características nutricionais de cada cultura.

Os dejetos da caixa de homogeneização são distribuídos por tubos de concreto, através de um sistema *by pass*, sendo o volume de dejetos para cada biodigestor, de 33% do

volume total diário produzido que é de aproximadamente de 100 m³, tendo assim um período de retenção hidráulica de trinta dias para cada biodigestor, nos quais faz-se a produção e captura do biogás que segue para o sistema de filtragem.

O sistema em estudo é composto por três biodigestores (Figura 3): o biodigestor 01, sem sistema de agitação, que além da adição de dejetos, faz-se diariamente a adição de placenta suína triturada, totalizando cerca de 780 kg do material por semana; o biodigestor 02 que não possui sistema de agitação e, recebe apenas, dejetos de suíno; e, o biodigestor 03 com sistema de agitação automatizada através de bombas e tubulações que fazem a sucção do dejetos decantado injetando-o novamente na parte superior, localizado no meio do reator, ponto em que se tem a fase metanogênica. Este procedimento de agitação é realizado três vezes ao dia, por 45 minutos cada, totalizando 135 minutos de agitação diária e, 39 minutos de retirada de lodo de fundo.

As Figuras 4 a 7 ilustram respectivamente, o gerador de energia elétrica, os biodigestores, o armazenamento do gás filtrado, queimador de biogás e lagoas anaeróbias da unidade.

Figura 4. Gerador de energia elétrica.



Figura 5. Visualização dos Biodigestores da unidade de produção de leitões.



Figura 6. (a) Visualização do balão de Gás filtrado (b) Queimador de biogás.



(a)



(b)

Figura 7. Visualização das lagoas anaeróbias.

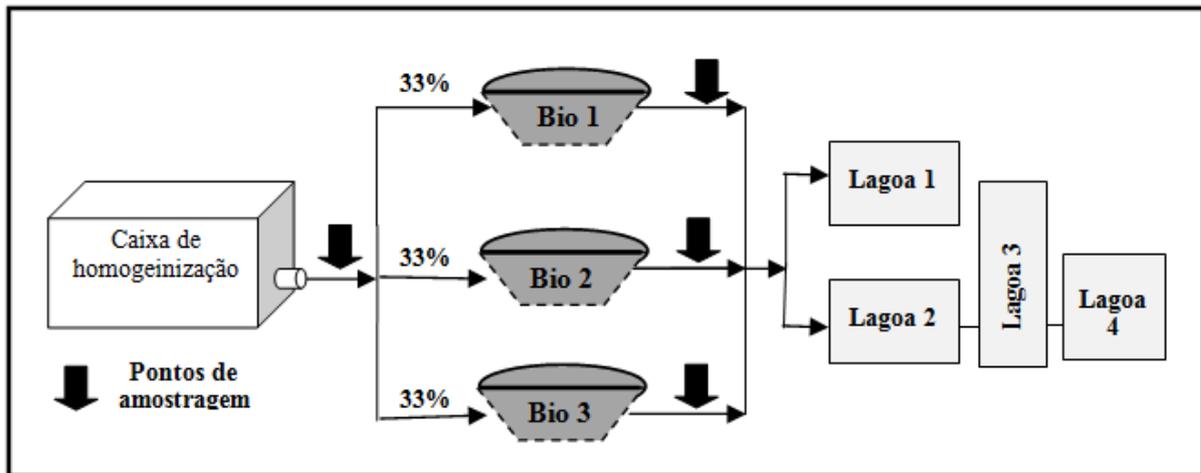


2.2 Parâmetros Analisados

Para o estudo, anotou-se o manejo das desinfecções com produtos químicos, tendo como finalidade investigar através de análises físico-químicas, a presença de surfactantes e sua interferência na atividade dos biodigestores. Os dejetos foram retidos nas calhas internas das pocilgas e liberados diariamente, ciclando semanalmente nos setores de Creche, Preparação de Leitoas, Gestação Primíparas, Maternidade, Gestação 2, Terminação de Leitoas, Gestação 3 e Gestação 1, sendo que no Biodigestor 1 fez-se, a adição de dejetos e inserção de placenta suína moída, sem agitação do sistema. No biodigestor 2, adicionou-se apenas dejetos suínos, sem agitação. E, no biodigestor 3 teve a adição de dejetos com agitação e retirada de lodo de fundo.

Para análise das variáveis que influenciam na produção de biogás, foram realizadas, semanalmente, análises físico-químicas do dejetos brutos, na saída da caixa de homogeneização e do efluente tratado na saída de cada biodigestor, conforme esquematizado na Figura 8.

Figura 8. Esquemática do sistema de tratamento da área de estudo.



As análises da biomassa residual e do efluente tratado foram realizadas em dois períodos sazonais distintos (verão e inverno), no Laboratório de Análises Físico-Químicas de Águas e Efluentes da Cooperativa Central Aurora Alimentos, utilizando metodologias do Standard Methods, tendo por base Merck (1981) e SMWW (2012), avaliando os seguintes parâmetros físico-químicos: Potencial Hidrogeniônico (pH), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Totais (ST), Sólidos Voláteis (SV) e surfactantes, sendo a análise da eficiência do sistema baseada na remoção da DQO, uma vez que esta variável correlaciona-se com a quantidade de biogás produzido.

Além disso, realizou-se diariamente, durante todo o estudo, o controle dos indicadores do volume de dejetos produzidos, mensurados na caixa de homogeneização nos períodos (noturno e diurno), sendo que, no período noturno não há manejo de calhas e o período diurno com manejo de calhas. Ainda, monitorou-se diariamente, a densidade do efluente, a temperatura do dejetos, a precipitação e a temperatura ambiente (mínima e máxima), com o intuito de avaliar quais variáveis influenciam na produção de biogás.

A Figura 9 ilustra a determinação da densidade do dejetos de suíno efetuada, utilizando densímetro, conforme metodologia descrita por Tedesco et al., (2004).

Figura 9. Visualização da determinação da densidade do dejetos.



2.3 Determinação do Potencial Bioquímico de Metano – BMP

No período de verão, realizou-se uma análise do Potencial Bioquímico de Metano (BMP), no Laboratório de Energias Renováveis – Genética Tecnologias Ambientais, conforme Metodologia descrita no Anexo I.

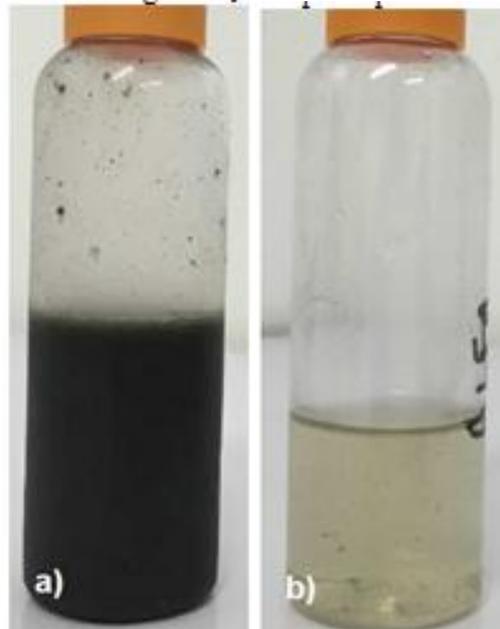
Para análise, coletou-se, na saída da caixa de homogeneização, aproximadamente 2 litros do efluente, conforme ilustra a Figura 10, e, conforme relatório da empresa terceirizada (Anexo I). A partir disto, fez-se a determinação do potencial bioquímico de metano, apresentado em $\text{Nm}^3 \text{ biogás} \cdot \text{kg DQO}^{-1} \text{ rem}$ e em $\text{Nm}^3_{\text{CH}_4} \cdot \text{kg DQO}^{-1} \text{ rem}$, calculados a pressão de 1 atm e uma temperatura de 273,15 K (0°C). Para tal, as reações foram realizadas em temperatura de $37 \pm 2^\circ \text{C}$ (condição mesofílica), sendo a avaliação mantida por 60 dias ou, até que a produção do biogás diária seja igual a 1% do volume total produzido pela amostra em análise (Anexo I).

Figura 10. Visualização da coleta de amostras para análise da BMP.



A Figura 11 expõe a amostra in natura, ou seja, o efluente bruto coletado na caixa de homogeneização (a) e (b) após o processo de digestão anaeróbia.

Figura 11. a) efluente coletado na caixa de homogeneização (b) amostra após o processo de digestão anaeróbia.



Fonte: Genética Group.

Seguindo a Norma alemã (Anexo I), prepararam-se reatores para digestão anaeróbia com espaço vazio de 30% do volume total da amostra, sendo os mesmos preenchidos com o dejetos em análise e lodo anaeróbio com alta atividade de bactérias metanogênicas, conforme relação $\frac{Substrato_{SVT}}{Lodo\ anaeróbio} \leq 0,5$.

No estudo, os reatores foram conectados em tubos de eudiômetros e, através de uma

célula infravermelha de comprimento de onda duplo com célula eletroquímica interna e canal duplo realizou-se leituras sequenciais da composição do gás gerado, bem como do volume, corrigido para condições normais de pressão e temperatura (CNTP).

2.4 Cálculo da Produção de Biogás

O cálculo da eficiência de cada biodigestor foi realizado a partir do parâmetro químico Demanda Química de Oxigênio (DQO), uma vez que esta variável se correlaciona com a quantidade de biogás produzido (SPRENGER, 2009; LOPES et al., 2011; SOARES, 2013), ou seja, quanto maior a remoção da carga orgânica, maior a produção do gás. Para tal, utilizou-se o resultado da BMP como parâmetros para a percentagem de metano na mistura de gás, ou seja, o combustível utilizado no aquecimento e na geração de Geração de Energia Elétrica.

Para o cálculo da remoção de DQO (mg/L), considerou-se que a carga de DQO inicial ($DQO_{inicial}$), ou seja, aquela disponível para cada reator/biodigestor é resultante da multiplicação entre o volume de dejetos tratados diariamente (V_{med}) e a carga de entrada da caixa de homogeneização ($DQO_{entrada}$) e, a divisão entre os três biodigestores, conforme Equação 3. Sendo que o V_{med} é obtido através da média dos volumes diários adicionados durante o período de análise de cada amostra.

$$DQO_{inicial} = \frac{DQO_{entrada} * V_{med}}{3} \quad \text{Eq. 3}$$

Entretanto, apenas parte da DQO do efluente bruto é convertida em biogás, ou seja, conforme apontado por Sprenger (2009), a DQO acidificada é a parcela da DQO biodegradável que se encontra disponível para as bactérias metanogênicas, sendo que, parte da DQO total é convertida em novas células bacterianas (DQO_{cel}), ou seja, serve de substrato às bactérias fermentativas e parte devido à complexidade, não podem ser degradados biologicamente, determinada assim, de DQO recalcitrante.

Segundo Chernicharo (1997) apud Sprenger (2009) a DQO recalcitrante compreende a parte da matéria orgânica que não pode ser degradada biologicamente pelos microrganismos fermentativos.

Desse modo, considera-se que aproximadamente 70% da carga orgânica estará disponível para a geração do gás (NETTO, 1961) e 10% para desenvolvimento de novas bactérias (DQO_{cel}) (SOARES, 2013), sendo estas as percentagens utilizadas no estudo para determinação da $DQO_{disponível}$. A partir disto, calculou-se a eficiência de cada reator (Equação

4) e, com a mesma produção de biogás e de metano, tendo que, conforme estudo da BMP, da mistura gerada tem-se 0,580 Nm³ de biogás para cada kgDQO removida e 0,382 Nm³ de CH₄ para cada kgDQO removida, conforme equações 5 e 6.

$$Eficiência_{biodigestor} = \left(\frac{Efluente_{bruto} - Efluente_{tratado}}{Efluente_{bruto}} \right) \quad \text{Eq. 4}$$

$$Produção_{Biogás} = (DQO_{disponível} \times Eficiência_{biodigestor}) \times 0,580 \quad \text{Eq. 5}$$

$$Produção_{CH_4} = (DQO_{disponível} \times Eficiência_{biodigestor}) \times 0,382 \quad \text{Eq. 6}$$

O cálculo da produção diária de biogás possibilitou estimar a produção mensal do gás, e posterior gestão do uso com a geração de energia elétrica e utilização na forma direta (aquecimento das instalações, utilização na cozinha e chuveiros).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do controle do volume de dejetos produzidos diariamente na unidade e, por consequência, adicionados nos biodigestores, pôde-se perceber que há variações significativas neste parâmetro, sendo esta variação atrelada ao manejo interno da Granja, ou seja, na área de estudo tem-se os diferentes estágios de produção que vão desde animais em creche até a produção da maternidade, sendo assim, pré-determina-se em quais instalações ocorrerá a liberação de efluente para tratamento e, desse modo, a fase do suíno, por exemplo, influencia na produção de resíduos, uma vez que as quantidades de fezes e urina estão associadas a fatores zootécnicos (tamanho, raça e sexo), fatores do ambiente (umidade e temperatura) e fatores dietéticos do animal como a capacidade de digestão, o conteúdo de fibra e de proteína (DARTORA, PERDOMO e TUMELERO, 1998).

Outro ponto relevante observado é que o volume de dejetos que deve ser produzido diariamente na unidade em análise é de 61,6 m³ de dejetos por dia (FATMA, 2014). Entretanto observam-se valores médios acima de 100 m³ de dejetos/dia, o que pode estar atrelado, além dos itens acima descritos, ao excesso de água utilizado para higienização das instalações, perdas hidráulicas localizadas nos bebedouros, ou ainda, outros problemas que ainda não foram apontados. Neste sentido, segundo Andreadakis (1992), a quantidade de água desperdiçada por animal pode variar de 6 até 45 L de dejetos/suíno/dia. Segundo o autor a variação está atribuída principalmente ao sistema de limpeza em que se tem, em sua maioria, vazões de água elevadas enquanto o mais apropriado seria higienizar a instalações com baixa

vazão e alta pressão.

A densidade do dejetos é outro parâmetro relevante na produção de biogás uma vez que esta é a relação entre o peso e o volume da amostra (CORTEZ et al., 2008) logo, quanto maior a densidade, maior o percentual de matéria seca e por consequência maior a DQO disponível para a produção de biogás e nutrientes para os microrganismos.

A partir do controle diário realizado no estudo, obteve-se médias de densidade de 1.004 kg/m³ de dejetos e 1.005 kg/m³ de dejetos, respectivamente, para os períodos de inverno e verão, sendo que com o manejo de calha, ou seja, com redução da entrada de água, pode-se obter valores de até 1.007 kg/m³ de dejetos. Desse modo, com base na Tabela 3 de conversão de nutrientes, tem-se que o percentual de Matéria Seca (MS) (%) dos dejetos gerados na área de estudo encontra-se entre os valores de 0,27 a 0,72%, enquanto estudos realizados por Oliveira e Higarashi (2006), por exemplo, apontam valores médios das medições semanais, de 1.042 kg/m³, ou seja, um percentual de 8,42% de sólidos totais. Esta variação entre os dados obtidos e a literatura, implica na quantidade de nutrientes para processamento no biodigestor e, por consequência, uma menor produção de biogás.

Tabela 3. Tabela de conversão de Nutrientes.

Densidade (kg/m ³)	MS (%)	N (kg/m ³)	P ₄ O ₅ (Kg/m ³)	K ₂ O (Kg/m ³)
1002	-	0,68	0,22	0,63
1004	0,27	0,98	0,52	0,75
1006	0,72	1,29	0,83	0,88
1008	1,17	1,60	1,14	1,00
1010	1,63	1,91	1,45	1,13
1012	2,09	2,21	1,75	1,25
1014	2,54	2,52	2,06	1,38
1016	3,00	2,83	2,37	1,50
1018	3,46	3,13	2,68	1,63
1020	3,91	3,44	2,99	1,75
1022	4,37	3,75	3,29	1,88
1024	4,82	4,06	3,60	2,00
1026	5,28	4,36	3,91	2,13
1028	5,74	4,67	4,22	2,25
1030	6,19	4,98	4,53	2,38
1032	6,65	5,28	4,84	2,50
1034	7,10	5,59	5,14	2,63
1036	7,56	5,90	5,45	2,75
1038	8,02	6,21	5,76	2,88
1040	8,47	6,51	6,05	3,00
1042	8,97	6,82	6,35	3,13
1044	9,39	7,03	6,56	3,25
1046	9,64	7,43	6,97	3,35
1048	10,30	7,74	7,27	3,50
1050	10,75	8,05	7,58	3,63

Fonte: Tedesco et al., 2004.

Com o estudo pôde-se perceber que os valores de densidade do dejetos diferem daqueles expostos por Oliveira e Higarashi (2006), no entanto, esta variação associa-se ao manejo da granja que apresenta grandes volumes de água para higienização das instalações e perdas hidráulicas, por exemplo. A partir disto percebe-se que a melhoria do dejetos implicaria em melhorias na produção de biogás e aumento do tempo de retenção no biodigestor decorrente da redução do volume de efluente gerado diariamente. Ainda, com a Tabela 3 pode-se observar as quantidades médias de nutrientes contidos no efluente, um parâmetro relevante para o processo, embora a digestão anaeróbia apresente vantagens sobre os processos aeróbios, visto que demanda menor quantidade de nutrientes (FERNANDES, 2012), entretanto, os microrganismos possuem necessidades nutricionais que são estabelecidas conforme a composição química das células microbianas (SALOMON et al., 2012).

Os elementos químicos em maior quantidade na constituição dos microrganismos são carbono, oxigênio, nitrogênio, hidrogênio, fósforo e enxofre. Além destes, outros nutrientes são necessários para a biossíntese dos componentes celulares, como os cátions Mg^{+2} , Ca^{+2} , Na^{+1} , K^{+1} , Fe^{++} , os ânions (SO_4^{-2} , Cl^-) e micronutrientes traços como Co, Cu, Mn, Mo, Zn, Ni, Se, que atuam como cofatores das enzimas (SALOMON et al., 2012).

As bactérias atuantes no processo de digestão dos dejetos suínos necessitam de uma fonte de carbono para o seu crescimento, destas, algumas utilizam o CO_2 e são classificadas em seres autotróficos e outras, utilizam carbono orgânico, e desse modo são classificados como heterotróficos (CHERNICHARO, 1997), desse modo, tem-se a importância da densidade do efluente, e por consequência, da quantidade de matéria seca, nutrientes e DQO disponível para a produção de biogás.

Com relação a temperatura da biomassa, observou-se no período de verão, valores máximos de $26^{\circ}C$ e mínimo de $21^{\circ}C$, sendo a média de temperatura de $23^{\circ}C$. Já no inverno, a temperatura dos dejetos suínos apresentou média de $19^{\circ}C$, com mínimas de $13^{\circ}C$ e máximas de $23^{\circ}C$. Segundo Fernandes (2012), a temperatura é um parâmetro determinante para a bioconversão do material orgânico, uma vez que influencia no processo de degradação microbiana e nas quantidades de gás e biofertilizante produzidos. Conforme estudos de Oliveira e Higarashi (2006), quando a temperatura da biomassa aumenta de $20^{\circ}C$ para $35^{\circ}C$, tem-se um incremento na produção do biogás estimado em 30%. Além disso, estes autores apontam que a manutenção da estabilidade da temperatura é muito importante para o processo, uma vez que a população microbiana responsável pela produção do gás CH_4 possui sensibilidade a variações da temperatura.

Autores como Cortez et al., (2008) apontam que diversos estudos na área de digestão anaeróbia indicam uma correlação entre a eficiência do processo e a faixa de temperatura de operação, visto que a biotransformação dos compostos é totalmente biológica, e portanto, o grupo de microrganismos deve ser adaptado às condições de temperatura do meio.

Desse modo, uma vez que há uma grande variedade de bactérias no interior do biodigestor, o processo pode ocorrer em uma faixa de temperatura de 10°C a 65°C, conforme o tipo de bactéria atuante, sendo cada faixa classificada como: criofílicas ou psicofílicas para temperaturas inferiores a 20°C; mesofílicas para temperaturas entre 20°C e 45°C e termofílicas para temperaturas superiores a 45°C (CORTEZ et al., 2008; SALOMON et al., 2012).

Para temperaturas inferiores a 10°C pode haver inibição da atividade dos microrganismos, promovendo assim interrupção no processo, ou caso contrário, uma conversão reduzida da carga orgânica (CORTEZ et al., 2008). Isto ocorre, pois, a ação microbiana de degradação diminui com a redução da temperatura, a uma medida em que se tem um declínio de 34% da atividade microbiana para cada 5°C de redução da temperatura do meio, além de promover a geração de ácidos voláteis não digeridos, e conseqüentemente, redução do pH (SPEECE 1996 apud SALOMON et al., 2012; FERNANDES, 2012). Em contrapartida, segundo Cortez et al., (2008) a produção de biogás é duplicada a cada 10°C de aumento de temperatura, para faixas entre 15 e 35°C, pelo fato de as temperaturas mais elevadas acelerarem as reações de bioconversão, resultando em um processo com maior eficiência e menor tempo de retenção hidráulica.

Todavia, tem-se duas faixas ótimas de temperatura para a biodigestão anaeróbia, sendo estas de 35°C e 50°C, para as faixas mesofílica e termofílica, respectivamente. Sendo que, a maior parte dos biodigestores opera na faixa mesofílica, no entanto, sem controle de temperatura (CORTEZ et al., 2008). Destas, a termofílica é a que pode apresentar maior conversão, mas há necessidade de controle de temperatura, pois é a faixa do processo que apresenta maior instabilidade, devido ao intervalo restrito de ação das bactérias metanogênicas (SALOMON et al., 2012).

Desse modo percebe-se a relevância da temperatura da biomassa para o processo, uma vez que temperaturas reduzidas por um longo período podem afetar na temperatura dos dejetos retidos no biodigestor e, além disso, atrelado ao fator da temperatura do efluente, tem-se a temperatura ambiente que, durante o estudo apresentou valores mínimos de 2°C, o que pode interferir na temperatura interna do reator e, por conseqüência, na temperatura de operação do sistema.

Com relação as análises físico-químicas realizadas semanalmente, para os períodos de

verão e inverno, obtiveram-se os resultados expostos nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4. Análises físico-químicas do dejetto bruto e tratado, realizadas semanalmente no período de verão.

Sólidos Voláteis (mg/L)				
Caixa de homogeneização - Dejetto Bruto (DB)	8247	2036	2019	1763
Biodigestor 1 (SA) - Dejetto Tratado (DT)	428	477	405	514
Biodigestor 2 (SA) - Dejetto Tratado (DT)	743	781	408	378
Biodigestor 3 (CA) - Dejetto Tratado (DT)	5506	389	500	449
Demanda Química de Oxigênio - DQO (mg/L)				
Caixa de homogeneização - Dejetto Bruto (DB)	22050	6685	11305	6685
Biodigestor 1 (SA) - Dejetto Tratado (DT)	1485	1311	1589	1311
Biodigestor 2 (SA) - Dejetto Tratado (DT)	1915	2484	1354	2484
Biodigestor 3 (CA) - Dejetto Tratado (DT)	18900	1319	1689	1319
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO (mg/L)				
Caixa de homogeneização - Dejetto Bruto (DB)	16420	3618	4924,5	4120,5
Biodigestor 1 (SA) - Dejetto Tratado (DT)	780	560	754,5	503,0
Biodigestor 2 (SA) - Dejetto Tratado (DT)	908	1609	653,9	603,6
Biodigestor 3 (CA) - Dejetto Tratado (DT)	11650	480	804	402,4
Surfactantes (mg/L)				
Caixa de homogeneização - Dejetto Bruto (DB)	2,9	1,1	1,9	2,0
Biodigestor 1 (SA) - Dejetto Tratado (DT)	0,5	0,9	0,8	0,6
Biodigestor 2 (SA) - Dejetto Tratado (DT)	1,3	0,9	0,9	0,6
Biodigestor 3 (CA) - Dejetto Tratado (DT)	1,8	0,9	1,0	0,8
pH				
Caixa de homogeneização - Dejetto Bruto (DB)	6,8	8,2	7,2	7,6
Biodigestor 1 (SA) - (DT)	7,3	8,0	7,2	7,3
Biodigestor 2 (SA) - Dejetto Tratado (DT)	7,1	8,3	7,2	7,4
Biodigestor 3 (CA) - Dejetto Tratado (DT)	7,0	8,4	7,2	7,2

*SA: sem agitação; *CA: com agitação; *DB – Dejetto Bruto. *DT – Dejetos Tratados. Amostragem semanal.

Tabela 5. Análises físico-químicas do dejetto bruto e tratado, realizadas semanalmente no período de inverno.

Sólidos Voláteis (mg/L)					
Caixa de homogeneização - DB	15902	1375	4100,0	4592,0	5430,0
Biodigestor 1 (SA) – DT	11856	648	1136,0	2198,0	816,0
Biodigestor 2 (SA) – DT	4024	616	2860,0	900,0	1220,0
Biodigestor 3 (CA) – DT	4164	939	652,0	1754,0	4596,0
Demanda Química de Oxigênio - DQO (mg/L)					
Caixa de homogeneização – DB	23295	6870	11447	11595,0	11580,0
Biodigestor 1 (SA) – DT	16020	1730	2861,5	4090,0	3580,0
Biodigestor 2 (SA) – DT	7609	2010	5382	1940,0	1940,0
Biodigestor 3 (CA) – DT	8269	3355	2367,5	3227,5	2581,5
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO (mg/L)					
Caixa de homogeneização – DB	9824	4534,2	8169,0	8148,0	8078,0
Biodigestor 1 (SA) – DT	4814	1141,8	1900,5	2849,0	2534,0
Biodigestor 2 (SA) – DT	3209	1326,6	3666,6	1372,0	1302,0
Biodigestor 3 (CA) – DT	3610	2214,3	1727,6	2271,0	1792,0
Surfactantes (mg/L)					
Caixa de homogeneização – DB	1,1	3,5	5,3	2,2	3,2
Biodigestor 1 (SA) – DT	1,7	2,3	3,8	1,7	2,2
Biodigestor 2 (SA) – DT	1	2,9	3,4	1,9	1,7
Biodigestor 3 (CA) – DT	0,9	0,5	0,9	2,9	3,4
pH					
Caixa de homogeneização – DB	6,7	7,7	7,3	7,4	7,5
Biodigestor 1 (SA) – DT	6,9	7,2	7,4	7,2	7,4
Biodigestor 2 (SA) – DT	6,9	7,3	7,4	7,3	7,2
Biodigestor 3 (CA) – DT	6,9	7,3	7,3	7,4	7,3

*SA: sem agitação; *CA: com agitação; *DB – Dejetto Bruto. *DT – Dejetos Tratados. Amostragem semanal.

Com relação ao potencial hidrogeniônico (pH) do efluente bruto, um parâmetro muito relevante para o processo, calculou-se a partir das Tabelas 4 e 5 os valores médios de 7,5 e 7,4, respectivamente, para os períodos de verão e inverno, sendo estes de acordo com aqueles observados por Fernandes (2012) em seus estudos utilizando dejetos suínos como substrato, estando ainda, de acordo com os valores médios apresentados nos estudos de Konzen (1980), conforme exposto na Tabela 1.

Para o efluente tratado tem-se, no verão, um valor médio calculado de pH de 7,5, apresentado variações de pH mínimo de 7,1 e máximo de 8,4. Já no inverno, pôde-se observar valor médio de 7,3 com valor mínimo de 6,9 e máximo de 7,4. Neste sentido, cabe salientar que para propiciar o desenvolvimento e atividade efetiva dos microrganismos, a faixa de pH do meio deve ser ajustada entre 6 e 8, sendo o ótimo considerado de 7,0 a 7,2 (CORTEZ et al., 2008). Pois, para valores de pH acima 8 ou abaixo 6, ocorre a redução da produção de biogás, visto que as bactérias metanogênicas tem faixa ótima entre 6,5 e 8,2. Já as produtoras de ácidos toleram faixas menores de pH entre 5 e 6 (SALOMON et al., 2012). As variações de pH do estudo ocorrem próximos da média de 7,75 observada por Konzen (1980) e, podem estar atreladas ao manejo interno das instalações, ou seja, ao uso de desinfetantes, por exemplo.

Os valores de pH obtidos no estudo, assemelham-se também, aqueles obtidos por Oliveira e Higarashi (2006), em que foram observados valores de pH médio, máximo e mínimo, para o efluente bruto de 7,8, 8,8 e 7,1, respectivamente e, para o efluente tratado valor médio de 7,5 com mínimo de 7,2 e máximo de 7,6. E, ainda próximos aos dados relatados por diversos autores (Tabela 6), sendo que as variações nos parâmetros nela expostos, podem estar associadas a diversos fatores como o clima, tecnologia e manejo aplicados nas instalações, tipos de bebedouro e ciclo de produção, por exemplo.

Tabela 6. Características físico-químicas para efluentes brutos da suinocultura.

Autor (Ano de Publicação)	Parâmetros							
	pH	DQO mg.L ⁻¹	DBO mg.L ⁻¹	ALC mg.L ⁻¹	ST mg.L ⁻¹	NTK mg.L ⁻¹	NH4 mg. L ⁻¹	P mg.L ⁻¹
Bonett e Monticelli (1998)	-	25.542	-	-	22.399	2.374	-	1.140
Cazarré (2000)	7,06	20.005	-	-	14.322	2.487	-	541
Duarte (1992)	7,46	21.670	7.280	-	-	2.150	-	-
Konzen (1980)	6,94	98.650	52.570	-	90.000	6.000	-	2.500
Medri (1997)(1)	-	21.647	11.979	-	17.240	2.205	-	633
Medri (1997)(1)	-	15.153	8.304	-	9.950	1.825	-	391
Moraes e Paula Jr. (2004)	6,8	2.183	-	441	-	180	164	-
Oliveira (2002)	-	15.223	8.038	-	11.384	1.488	-	337
Santos et al. (2007)	-	31.050,71	-	-	9.147,67	-	6.922,17	-
Schimidt et al. (2002)	-	15.639	7.303	-	11.857	2.000	-	341
Yang e Cicek (2008)	7,14	3.840	-	2.364	494	-	553	-
Zanotelli (2000)	6,87	26.387	-	-	22.867	2.539	-	1.215
Silva F. (1996)	-	25.542,9	-	-	22.399	2.374,3	-	577,8
Moretti (2009)	7,02	30.248	-	7.202	35.493	2.553	-	-
Zhang e Zhu (2005)	7,26	48.392	20.608	-	40.600	6.429	-	1.581
Zhang e Zhu (2006)	6,2	-	21.800	-	42.500	-	-	-
Çelen et al. (2007)	6,87	-	-	1.475	-	-	1.410	-
Kunz et al. (2009)	6,89	34.200	-	-	-	3.121	-	849
Liu et al. (2009)	5,5	89.000	-	-	62.700	-	1.382	-
Massé et al. (2007)	-	131.300	-	-	99.500	6.698	3.875	1.729
Zhang et al. (2006)	7,5	40.396	19.904	-	42.800	5.877	4.719	1.592
González et al. (2008)	7,3	50.400	-	-	25.900	3.165,3	-	614
Karakashev et al. (2008)	7,09	70.000	-	-	48.000	5.600	4.800	1.600
Suzuki et al. (2007)	7,4	-	4.050	2.130	-	-	532	145
An et al. (2007)	-	22.919	11.631	-	-	3.875	2.934	266
Shin et al. (2005)	8,36	4.479	-	5.662	-	1.566	1.502	-
Ahn et al. (2006)	6,37	130.800	-	-	61.800	7.300	4.800	-
Hwang et al. (2010)	-	124.100	-	-	65.600	7.500	-	-
Cantrell et al. (2009)	7,6	16.758	3.046	-	-	1.501	838	566
Zhang et al. (2006)	7,12	7.040	3.780	-	4.590	918	709,1	91,8
Milán et al. (2001)	6,8	26.800	-	3.380	22.100	1.270	410	230
Nohra et al. (2003)	7,4	80.000	-	-	-	4.600	-	-
Walker e Kellei (2003)	7,2	19.330	-	-	-	-	50	5,2
Yang e Wang (1999)	7,01	2.334	-	-	3.178	458	-	-
Yang e Gan (1998)	-	3.242,86	-	-	3.257,57	183,83	79,5	-
Média	7,1	39.196	13.869	3.236	31.603	3.151,3	2.098,8	806,9
Desvio Padrão	0,42	38.164	13.285	2.399	27.094	2.214,4	2.138,3	667,8

Fonte: Fernandes, 2012.

Nota: pH (Potencial Hidrogeniônico); DQO (Demanda Química de Oxigênio); DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio); ALC (Alcalinidade); ST (Sólidos Totais); NTK (Nitrogênio Total Kjeldahl); NH4 (Amônio); P (Fósforo).

Outro parâmetro relevante para a produção de biogás é a quantidade de sólidos voláteis (SV), uma vez que a quantidade de sólidos presentes em uma amostra é um parâmetro físico do efluente bruto que auxilia na quantificação da presença de compostos orgânicos (sólidos voláteis) (CORTEZ et al., 2008) que, durante o processo de biodigestão, são convertidos em biogás. Segundo Silva (2014) a biotransformação ocorre apenas na fração orgânica do material desse modo quanto maior a quantidade de SV maior a produção de biogás, visto que, conforme ressaltado por Oliveira e Higarashi (2006) os SV compreendem a aproximadamente 70 a 75% dos sólidos totais dos dejetos suinícolas.

Com relação ao estudo, no período de verão obteve-se, para o efluente bruto valores máximo, médio e mínimo de 8.247, 3.516 e 1.763 mg/L, respectivamente. Já no período de inverno, obteve-se, respectivamente, 15.902, 6.280, 1.375 mg/L, para os valores máximo, médio e mínimo de sólidos voláteis no efluente suíno. Sendo que, para ambos os períodos pode-se observar que há variações significativas entre as amostras analisadas, o que pode estar associado a diluição dos dejetos pelo elevado volume de água empregado no manejo, e conseqüentemente, baixa densidade, bem como pela variação das instalações que foram liberados os dejetos, ou concentração na amostra coletada. Estes valores obtidos, estão abaixo daqueles apresentados na literatura (Tabela 1), entretanto, este fator associa-se muito com a qualidade dos dejetos gerados na unidade.

Quanto ao efluente tratado, o mesmo apresentou valores médios de Sólidos Voláteis de 915 e 2.559 mg/L, respectivamente para os períodos de verão e inverno, sendo que conforme Labatut e Gooch (2012) a redução dos SV do afluente aponta a percentagem de dejetos que foi estabilizada no processo de tratamento.

Além dos sólidos voláteis parâmetros a análise da Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO, também visa a quantificação do teor de matéria orgânica da amostra, mais específico, aquela que é biodegradável, neste sentido, foram obtidos, para o efluente bruto no período de verão, valores máximo, mínimo e médio, de 16.420, 3.618 e 7.271 mg/L de dejetos, respectivamente. Para o inverno observou-se máximo de 9.824 mg/L, mínimo de 4.534,2 mg/L e valor médio de 7.751 mg/L. Sendo que os valores observados no estudo assemelham-se aqueles expostos na literatura nas Tabelas 1 e 6 e, aqueles obtidos por Fernandes (2012) no estudo da caracterização da biomassa residual e verificação da eficiência do processo de biodigestão anaeróbia no tratamento de dejetos suínos em terminação, que apresenta para o efluente bruto o valor de 15.756,31 mg/L e valores de 10.211,56 (Efluente 1) e 5.139,6 mg/L (Efluente 2) para o efluente tratado em dois biodigestores em série.

Já para Demanda Química de Oxigênio – DQO, parâmetro utilizado para o cálculo da produção de biogás, obteve-se, no período de verão valores máximo, mínimo e médio de 22.050, 6.685 e 11.681 mg/L, respectivamente e, para o inverno valor máximo de 23.295 mg/L, mínimo de 6.870 mg/L e médio de 12.957,4 mg/L, estando de acordo com aqueles expostos na literatura e, com valores menores em algumas análises decorrente das características dos dejetos. Quanto ao efluente tratado obteve-se médias de 5.807 e 4.464 mg/L, para o verão e inverno respectivamente.

Para o estudo de Fernandes (2012), pode-se observar que os valores apontados são superiores aqueles encontrados no experimento, ou seja, a DQO apresentou médias variando

entre 21.623,42 e 14.058,33 mg/L no efluente tratado através de um biodigestor e por dois biodigestores em série, respectivamente, sendo que o dejetos bruto apresentou valor médio de DQO de 30.043,87 mg/L. Esta variação na composição dos dejetos pode estar atrelada ao ciclo produtivo estudado pelo autor, ou seja, Fernandes (2012) avaliou um sistema de produção de animais em terminação em que se tem dejetos com maior densidade e carga orgânica, afetando drasticamente na produção do gás.

A partir dos valores de DQO foram desconsideradas algumas análises realizadas no estudo, uma vez que a DQO inicial apresentou valores menores que a DQO do efluente tratado, apresentando assim eficiência negativa para o ponto em estudo. Este fato pode estar associado a falta de homogeneização da amostra no momento da coleta, por exemplo, ou ainda, pela distribuição do dejetos para cada biodigestor que, embora aleatória, pode ocorrer o direcionamento dos efluentes com maior carga para determinado reator.

Estas variações encontradas não só no parâmetro DQO, refletem o manejo real de uma unidade produtora de leitões em que há variações no manejo, utilizando volume maior ou menor de água, variações nas perdas de ração, resíduos das instalações, fezes, urina, fazendo com que o efluente direcionado para o tratamento oscile de valores médios para mínimos ou máximos, em um sistema biológico que precisa adaptar-se a estas variações.

Além dos parâmetros acima descritos, avaliou-se a influência da utilização dos produtos químicos (detergentes) aplicados para a desinfecção das instalações através da análise de surfactantes e, a partir dos resultados expostos nas Tabelas 4 e 5 tem-se para o efluente bruto valores máximos de 2,9 mg/L para o período de verão e 5,3 mg/L para o inverno, com eficiência de remoção maior que 50%, sendo assim este parâmetro não apresenta interferência significativa para o processo.

Com relação a amostra coletada na caixa de homogeneização, para determinação do Potencial Bioquímico de Metano (BMP) do efluente da área de estudo, apresentou as seguintes características físico-químicas: DQO de 37.060,00 mg/L, biodegradabilidade anaeróbia de 89,1%, relação entre sólidos voláteis por matéria seca de 0,81 e sólidos totais de 26.450 mg/L. Após submetida aos procedimentos experimentais obteve-se os resultados tabelados e gráfico exposto no Anexo I, no qual observou valores de 0,580 Nm³ biogás/kg DQO_{removida} e, 0,382 Nm³ CH₄/kg DQO_{removida}, sendo estes os valores utilizados para o cálculo da produção de biogás apresentados na Tabela 7. Os resultados de BMP obtidos no estudo são considerados promissores, quando comparado com aqueles encontrados em outras pesquisas que apontam valores entre 0,5 e 0,7 Nm³ biogás/kg DQO_{removida} (Anexo I). Quanto ao volume

de biogás gerado durante a avaliação laboratorial, tem-se com duas leituras (steps) o volume de 1.382 Nm³, produzidos em 30 dias de análise.

Com os resultados obtidos na BMP e as análises da DQO do efluente bruto e do efluente tratado, calculou-se o volume de biogás e de metano produzidos por biodigestor e o total diário, conforme expostos nas Tabelas 7 e 8 para os períodos de verão e inverno, respectivamente. Sendo que com estes, obteve-se a produção semanal uma vez que cada análise representa o volume de gás produzido em 7,5 dias do mês e assim a produção mensal para comparação com os dados de utilização da geração de energia elétrica na Unidade.

Tabela 7. Produção de biogás e de metano a partir da DQO removida durante o período de verão.

Produção de Biogás	1ª Semana	2ª Semana	3ª Semana	4ª Semana
Biodigestor 1 (SA)	485,93	108	179,88	109,3
Biodigestor 2 (SA)	475,77	84,43	184,23	120,65
Biodigestor 3 (CA)	74,43	107,84	178,03	127,83
TOTAL (Nm³ de biogás/dia)	1036,14	300,27	542,13	357,78
Produção de Metano (CH₄)				
Biodigestor 1 (SA)	320,05	71,13	118,47	64,23
Biodigestor 2 (SA)	313,35	55,61	121,34	70,9
Biodigestor 3 (CA)	49,02	71,03	117,25	75,12
TOTAL (Nm³ de metano/dia)	682,42	197,76	357,06	210,26

Tabela 8. Produção de biogás e de metano a partir da DQO removida durante o período de inverno.

Produção de Biogás	1ª Semana	2ª Semana	3ª Semana	4ª Semana	5ª Semana
Biodigestor 1 (SA)	137,34	80,76	132,81	136,2	117,9
Biodigestor 2 (SA)	296,14	76,36	93,82	175,22	142,07
Biodigestor 3 (CA)	283,68	55,23	140,45	151,86	132,62
TOTAL (Nm³ de biogás/dia)	717,16	212,35	367,07	463,28	392,59
Produção de Metano (CH₄)					
Biodigestor 1 (SA)	90,46	53,19	87,47	89,71	77,65
Biodigestor 2 (SA)	195,04	50,29	61,79	115,4	93,57
Biodigestor 3 (CA)	186,83	36,37	92,5	100,01	87,35
TOTAL (Nm³ de metano/dia)	472,33	139,86	241,76	305,12	258,57

Com os dados da produção de biogás obtidos no período de verão (Tabela 7), calculou-se a produção de biogás semanal, uma vez que cada análise físico-química representa a produção de 7,5 dias e, sendo assim com a soma das produções semanais obteve-se que o volume de biogás gerado no mês de análise foi de 16.772 Nm³ de biogás, sendo que os biodigestores 1, 2 e 3 produziram, respectivamente, o equivalente a 6.623 Nm³, 6.488 Nm³, 3.661 Nm³. Conforme dados do número de horas trabalhadas pelo motor de geração de energia elétrica tem-se que neste período foram consumidos 15.620 Nm³ de biogás em 284 horas trabalhadas e, desse modo, 1.152 Nm³ de biogás foi aplicado no aquecimento da creche,

cozinha e água do chuveiro.

Já no período de inverno, gerou-se uma quantidade inferior quando comparado ao período de verão, totalizando cerca de 11.409 Nm³ de biogás, sendo que os biodigestores 1, 2 e 3 produziram, respectivamente, o equivalente a 4.234 Nm³, 3.083 Nm³ e 4.092 Nm³.

Conforme dados do gerador de energia para este período utilizou-se uma quantidade maior para o uso direto no aquecimento das instalações, cozinha e aquecimento da água do chuveiro, totalizando 9.442 Nm³ e, 1.967 Nm³ de biogás foram utilizados no gerador durante 36 horas de geração, com consumo de 55 Nm³/h. Neste período permaneceram no mínimo 36 campânulas ligadas e máximo de 62, enquanto no verão o número máximo de utilização chegou em 36 campânulas.

Quanto a produção de cada biodigestor, pode-se perceber que é inferior a outros estudos, no entanto isto pode estar associado a fatores como o assoreamento dos biodigestores 1 e 2, que além de reduzir a eficiência, promove perda de área e, por consequência, redução do tempo de retenção, bem como o início de operação do Biodigestor 3 que apresentou valores superiores para o período de inverno, ou seja, após maior estabelecimento da população microbiana responsável pela biodigestão do efluente e, por consequência, da geração do gás.

Durante o período de estudo fez-se a limpeza do biodigestor 1, no qual constatou-se um assoreamento médio de 1,78 metros, com grande compactação, esta camada é resultado de 9 anos de operação sem manutenção interna e retirada de lodo, ou seja, aproximadamente 20 cm de assoreamento por ano. As Figuras 12 e 13 ilustram a distribuição do assoreamento do biodigestor 1 e a visualização da compactação do assoreamento.

Figura 12. Ilustração do assoreamento no Biodigestor 1.

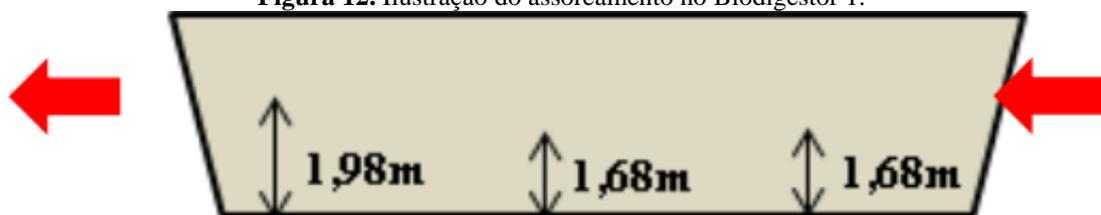


Figura 13. Ilustração do assoreamento no Biodigestor 1.



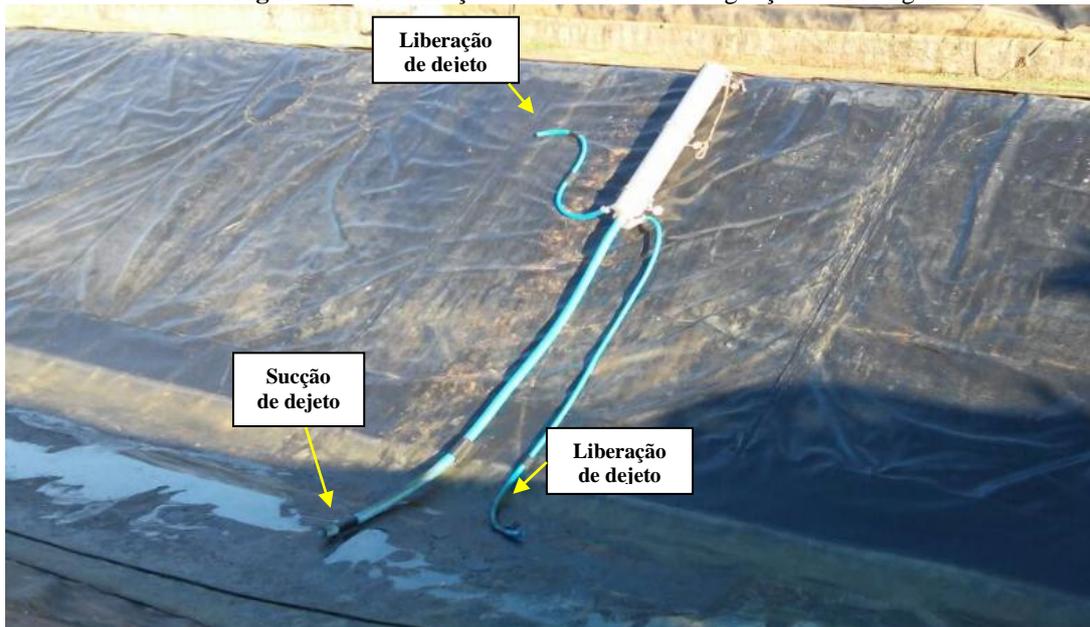
O mesmo tempo de utilização sem manutenção aplica-se ao biodigestor 2, no entanto a distribuição do seu assoreamento ainda não é conhecida. Com relação ao biodigestor 3 o mesmo passou por um processo de limpeza total em 2013, e, após fez-se a instalação do sistema de agitação e remoção do lodo, no entanto, a produção do reator é inferior quando comparado aos biodigestores 1 e 2 o que pode estar atrelado tanto a tecnologia de agitação aplicada, quanto a estruturação da população microbiana responsável pela estabilização dos dejetos e biotransformação do efluente em biogás. E ainda, o incremento da densidade do substrato do biodigestor 1, pela inserção de placenta suína.

Os resultados de produção de biogás obtidos no estudo assemelham-se aqueles verificados por Fernandes (2012) na Granja Colombari em que se utiliza o tratamento de biodigestão anaeróbia para os dejetos de suínos em terminação, com produções diárias máxima de 702,25 Nm³ de biogás, mínima de 386,92Nm³ e média de 582,64 Nm³.

A variação nos valores obtidos nos biodigestores deve-se a distinta composição dos efluentes que está atrelada a diversos fatores internos e externos ao sistema. Neste sentido, visando o aumento da produção de biogás, no biodigestor 1 foi desenvolvido um sistema de agitação através da instalação de bombas dimensionadas para atender uma dinâmica de

movimentação da massa no fundo, meio e superfície, respeitando a velocidade do fluido para não criar espuma, uma vez que a mesma desfavorece ao processo de produção de biogás. Da mesma forma, foi implementado um sistema com bomba, que faz a retirada do lodo de fundo, sendo todos com temporizadores automatizados para atender os cálculos da técnica de movimentação e retirada de lodo para o tempo de retenção hidráulica - TRH projetado neste reator. O referido sistema já implantado encontra-se expostos nas Figuras 14 e 15.

Figura 14. Visualização do novo sistema de agitação do Biodigestor 1



Fonte: GTER, 2016.

Figura 15. Visualização da distribuição novo sistema de agitação do Biodigestor 1.



Fonte: GTER, 2016

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos durante o estudo apontam que há necessidade de ajustes nas etapas que antecedem a produção de biogás, como adoção de medidas de controle do excesso de água no sistema, concentração dos dejetos produzidos através da separação da porção líquida, com o intuito de melhorar o percentual da matéria orgânica no dejetos, visando obter um incremento na eficiência de produção de biogás, uma vez que o aumento da densidade dos dejetos promove aumento dos nutrientes e, por consequência da carga de DQO_{disponível} para produção de biogás. Sendo assim, percebe-se a necessidade de investigação quando as formas de manejo interno da unidade produtora, buscando reduzir o volume médio de dejetos produzidos de 100 m³/dia para 61,6 m³ de dejetos por dia, seja através de alterações de bebedouros e comedores, ou ainda, a utilização de água de reuso para lavagem das instalações.

Além disso, a partir dos resultados obtidos, percebe-se que a eficiência de remoção da DQO é significativa, o que torna viável a utilização destes dejetos para a produção do biogás, sendo que a diferença de produção entre os três reatores pode estar atrelada ao assoreamento dos biodigestores 1 e 2 que, mediante avaliação do biodigestor 1, percebe-se a redução da capacidade de processamento e, conseqüentemente, do tempo de retenção do efluente no reator, e, ainda, a implementação do sistema de agitação e tempo de desenvolvimento da população microbiana do biodigestor 3, bem como incremento na matéria orgânica do biodigestor 1, decorrente da adição de placenta. Esta variação pode estar associada a configuração distinta dos três biodigestores, tanto quanto a existência ou ausência de agitação, bem como da adição de placenta suína para incremento da matéria orgânica.

A partir do estudo, pode-se verificar que a biodigestão anaeróbia é efetiva para o tratamento dos dejetos suínos, uma vez que, avaliando a remoção da carga de DQO, para o período de verão, obteve-se as eficiências de 85, 76 e 65%, respectivamente, para os biodigestores 1, 2 e 3. E, no período de inverno obteve-se as percentagens de 73, 73 e 76%, respectivamente, sendo que as mesmas podem ser incrementadas com a melhoria da qualidade dos efluentes, bem como implementação de sistemas de agitação com o objetivo de promover homogeneização da massa e redução do assoreamento.

Desse modo, uma vez que a eficiência de remoção da DQO é significativa, o aproveitamento do biogás torna-se viável e, dentre as formas de aplicação, a sua utilização direta para aquecimento das instalações e substituição do GLP é a mais promissora. Em períodos que se tem excedente de biogás após o seu uso de forma direta, se busca a redução

da conta de energia elétrica desta unidade gerando e consumindo no local, buscando assim eficiência e sustentabilidade desta energia renovável.

A realização deste estudo foi de suma importância para a avaliação do sistema de tratamento de efluentes da Unidade Produtora de Leitões, sendo que auxiliou nos apontamentos para implementação do novo sistema de agitação, bem como da capacidade de produção de biogás e demanda da qualidade dos dejetos gerados na unidade.

5. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Visando uma análise mais eficaz do sistema de tratamento de dejetos e produção de energia renovável, pode-se avaliar a produção de biogás por um período de tempo maior, analisando a Demanda Química de Oxigênio diariamente, além de confrontar os resultados obtidos com os cálculos através da remoção dos Sólidos Voláteis. Além disso, utilizar um planejamento estatístico o qual possibilitará tratar os dados obtidos analisando quantitativamente a influência das variáveis do sistema.

Com o intuito de avaliar o novo sistema de agitação do biodigestor 1, comparando com o sistema utilizado no Biodigestor 3 e, com um reator sem sistema de agitação, será realizado um novo monitoramento de todas as variáveis avaliadas neste estudo pela Cooperativa Agroindustrial Alfa.

6. ANEXOS

Anexo I - Análise Experimental do Potencial de Geração de Biogás e de Metano a partir de Dejetos de Suínos – Determinação do BMP (Potencial Bioquímico de Metano) – Laboratório Genética Tecnologias Ambientais.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREADAKIS, A. D. **Anaerobic Digestion of Piggery Wastes**. Water Science Technology, v. 25, n. 1, p. 9-16, 1992.

BRASIL, **Balanco Energético Nacional 2015: Ano Base 2014 – Ministério de Minas e Energia**. Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: < https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf >. Acesso em: 15 jan. 2015.

CAMPOS, J. R. **Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbico e Disposição Controlada no Solo**. ABES, Projeto PROSAB, p. 464, 1999.

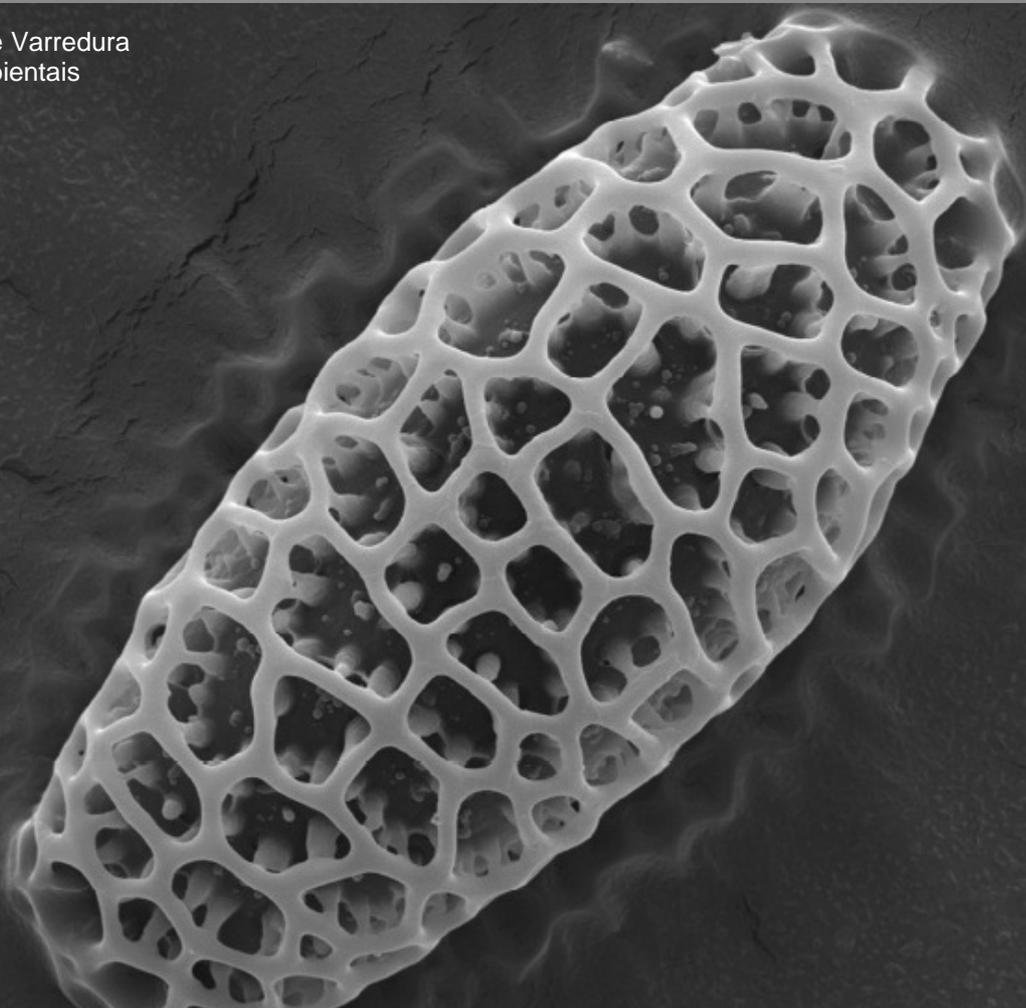
- CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA - CENBIO. **Estimativa do Potencial de Geração de Energia a Partir do Biogás Proveniente da Criação de Suínos nos Municípios da Região Sul**. Atlas de Biomassa: Biogás - Suínos, 2011. Disponível em: <<http://cenbio.iee.usp.br/atlasbiomassa/biogas.htm>>. Acesso em: 24 nov. 2014.
- CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios**. Belo Horizonte: DESA/UFMG, p. 245. 1997.
- CORTEZ, L. A. B.; SILVA, A. da; LUCAS JUNIOR, J.; CASTRO, L. R. Biodigestão de Efluentes. In: CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. **Biomassa Para Energia**. Campinas: UNICAMP, 2008, p.493-530.
- DARTORA, V.; PERDOMO, C. C.; TUMELERO, I. L. **Manejo de Dejetos de Suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, n. 11, p. 32, mar. 1998. (Boletim Informativo). Disponível em: <<https://docsagencia.cnptia.embrapa.br/suino/bipers/bipers11.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2016.
- DIAS, M. I. A.; COLEN F.; FERNANDES, L. A.; SOUZA, R. M. de; BUENO, O. C. Viabilidade Econômica do Uso do Biogás Proveniente da Suinocultura, em Substituição a Fontes Externas de Energia. **Engenharia Agrícola**, Botucatu, vol. 28, n.3, p.155-164, julho, 2013.
- DIESEL, R.; MIRANDA, C.R.; PERDOMO, C.C. **Coletânea de Tecnologia sobre Dejetos de Suínos**. Boletim Informativo de Pesquisa - Embrapa Suínos e Aves e Extensão - EMATER/RS, Ano 10 BIPERS, n.14, Ago. de 2002.
- DRUMM, F. C.; GERHARDT, A. E.; FERNANDES, G. D.; CHAGAS, P.; SUCOLOTTI, M. S.; KEMERICH, P. D. C. Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo em veículos automotores. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas**, Santa Maria, vol.18. n.1, p. 66-78, Abr 2014.
- FERNANDES, D. M. **Biomassa e Biogás da Suinocultura**. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura, Cascavel, 2012.
- FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE – FATMA. **Suinocultura - Instrução Normativa Número 11: Suinocultura de Outubro de 2014**. Dispõe sobre a documentação necessária para licenciamento e estabelece critérios, programas e projetos ambientais para implantação de atividades relacionadas a suinocultura de pequeno, médio e grande porte, incluindo tratamento de resíduos líquidos, tratamento e disposição de resíduos sólidos, emissões atmosféricas, ruídos e outros passivos ambientais. Disponível em: <<http://www.fatma.sc.gov.br/conteudo/instrucoes-normativas>>. Acesso em: 05 jun. 2015.
- GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo – PR**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

- KONZEN, E. A. **Avaliação Quantitativa e Qualitativa dos Dejetos de Suínos em Crescimento e Terminação, Manejados em Forma Líquida**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1980.
- KUNZ, A.; MIELE, M.; STEINMETZ, R.L.R; **Advanced Swine Manure Treatment and Utilization in Brazil**, **Bioresource Technology**, v.100, 2009, p.5485–5489.
- KUNZ, A.; PERDOMO, C. C.; OLIVEIRA, P. A. V. de **Biodigestores: Avanços e Retrocessos**. **Suinocultura Industrial**, v.26, n.4, p.14-16, 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.
- LIMA JÚNIOR, C.; SAMPAIO, E.V.S.B.; LIMA, R. L. F. A.; MENEZES, R.S. C. **Potencial de Aproveitamento Energético de Fontes de Biomassa no Nordeste do Brasil**. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.07, n. 02, p.207-221, 2014.
- LOPES, A. de O.; PORTUGAL N. dos S. **Produção de Metano em Estações de Tratamento de Esgotos e Co-geração de Energia Elétrica: Um Estudo de Caso na ETE em Passos-MG** - In: **XXXI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO: Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual: Desafios da Engenharia de Produção na Consolidação do Brasil no Cenário Econômico Mundial**, Belo Horizonte, 2011.
- MERCK.E. **Análises de Águas**. Darmstadt, 1981.
- NETTO, J.M.A. **Aproveitamento do Gás de Esgoto**. **Revista DAE**, Ano XXII, n 41, pg 15-44, jun. n.42 p. 11-40, set 1961.
- NOGUEIRA, L.A.H. **Biodigestão, a alternativa energética**. São Paulo: Editora Nobel, p.1-93,1986.
- OLIVEIRA, P. A. V. de; HIGARASHI, M. M. **Geração e Utilização de Biogás em Unidades de Produção de Suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2006. 42 p. 1ed. (Embrapa Suínos e Aves. Documentos, 115).
- PECORA, V. **Implantação de uma Unidade Demonstrativa de Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás de Tratamento do Esgoto Residencial da Usp – Estudo de Caso**. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo (Instituto de Eletrotécnica e Energia / Escola Politécnica / Instituto de Física / Faculdade de Economia e Administração), Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, São Paulo, 2006.
- PONTES, P. P., **Reatores UASB Aplicados ao Tratamento Combinado de Esgotos Sanitários e Lodo Excedente de Filtro Biológico Percolador**. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, programa de Pós-Graduação em Saneamento Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Belo Horizonte, 2003.

- RICARDO, C. M. **Avaliação Econômica de Biodigestor de Fluxo Tubular, com Sistema de Recirculação, no Tratamento de Dejetos de Suínos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, programa de Pós- Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Construções Rurais e Ambiente, Lavras, 2012
- SALOMON, K. R.; LORA, E. E. S. Estimate of the Electric Energy Generating Potential for Different Sources of Biogas in Brazil. **Biomass and Bioenergy**. v.33, n.9, p. 1101-1107, 2009.
- SALOMON, K. R.; LORA, E. E. S.; ROCHA, M. H.; LEME M. M. V.; Biocombustíveis de Primeira Geração: Biogás. In: LORA, E. E. SILVA; VENTURINI, O. J. **Biocombustíveis – Volume I**. Rio de Janeiro: Interciência, 2012, p. 311-358.
- SANT'ANNA JUNIOR, G. L., Processos Anaeróbios para Remoção de Matéria Orgânica. In: _____ **Tratamento Biológico de Efluentes: Fundamentos e Aplicações**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.
- SILVA, H. W., A Tecnologia da Biodigestão Anaeróbica na Produção de Biogás Gerado por Dejetos de Suínos. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v.3, n.01, p.56-60, 2013.
- SILVA, P. C. da; AMARAL A. A. do. Tratamento de Dejetos Suínos com Biorreator UASB. **Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 08, n.5, p.141-147, 2013.
- SILVA, F. P., **Plano de Monitoramento para Condomínios de Agroenergia para Aproveitamento do Biogás a partir dos Dejetos da Suinocultura**. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental em Municípios) – Universidade Tecnológica do Paraná. Medianeira, 2014.
- SINOTTI, A. P. S. **Avaliação do Volume de Dejetos e da Carga de Poluentes Produzidos por Suíno nas Diferentes Fases do Ciclo Criatório**. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.
- SOARES, C. A., **Análise da Viabilidade para Geração de Energia Elétrica com Excedente do Biogás Após o seu Uso de Forma Direta em Aquecimento**. Estudo de Caso (Pós-Graduação em Energias Renováveis com Ênfase em Biogás) – Fundação Getúlio Vargas e Itaipu Binacional, 2013.
- SMWW – Standard Methods For the Examination Of wastewater. 22 ed. 2012.
- SPRENGER, H. E. **Viabilidade do Uso de Biogás de ETE para Alimentação de Células a Combustível de Ácido Fosfórico**. Dissertação (Mestrado Profissional do Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento de Tecnologia) - Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento e Instituto de Engenharia do Paraná. Curitiba, 2009.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; ANGHINONI, I.; BISSANI, C.A.; CAMARGO, F.A.O.; WIERHOLTER, S. **Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande**

do Sul e Santa Catarina. Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 10 ed. Porto Alegre, 2004.

ZHENG, Y. et al., Anaerobic Digestion of Saline Creeping Wild Ryegrass for Biogas Production and Pretreatment of Particleboard Material. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 4, p. 1582-1588, Feb. 2009.



Genética
GROUP Tecnologias Ambientais

Determinação do BMP (Potencial Bioquímico de Metano)

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DO POTENCIAL DE
GERAÇÃO DE BIOGÁS E DE METANO A PARTIR DE
DEJETOS DE SUÍNOS**

ALFA UPL

Palma Sola - SC

13/02/2015



Sumário

Resumo	3
Lista de Figuras	4
Lista de Tabelas	4
Simbologia	4
Lista de Abreviaturas	4
Fórmulas Moleculares	5
1. Justificativa	6
1.1. Objetivo do estudo	6
1.2. Normas utilizadas	6
2. Procedimento experimental	7
2.1. Dados da substância-teste	7
2.2. Condições do estudo	7
2.3. Procedimento	7
3. Resultados	10
4. Revisão da literatura	12
5. Comparativo biogás	13
6. Conclusões	14
7. Documento Controle	15
8. Informações Gerais	16
9. Declaração de conformidade do estudo	17
10. Declaração da garantia da qualidade	18
11. Referências	19
12. Anexos	20



RESUMO

O presente estudo busca fornecer informações sobre o processo de fermentação da substância-teste, fornecida pela ALFA UPL unidade de Palma Sola/SC, através da investigação do potencial bioquímico de metano (BMP), obtido pela produção de metano, expresso em normal metro cúbico de biogás e metano (CH₄) por kg de DQO removida (Nm³biogás·kgDQO⁻¹rem e Nm³CH₄·kgDQO⁻¹rem).

O plano de estudo baseou-se na norma internacional VDI 4630 (2006), além de outras normas complementares, DIN 38414-8 (1985) e DIN EN ISO 11734 (1998), onde estas referenciam o método de execução do ensaio. Os resultados após o período do ensaio estão apresentados na tabela abaixo:

	BIOGÁS	METANO
ALFA	0,580 Nm ³ biogás·kgDQO ⁻¹ rem	0,382 Nm ³ CH ₄ ·kgDQO ⁻¹ rem

- Os resultados estão apresentados em “Normal” volume do biogás e metano conforme a norma DIN 38414 – 8 (1985), que são calculados à temperatura de 273,15 K (0 °C) e pressão de 1 atm.

- Parâmetros operacionais: **Alfa – dejetos de suínos da caixa de homogeneização**
 - DQO efluente: 37.060,00 mg·L⁻¹;
 - Biodegradabilidade anaeróbia total: 89,1 %;
 - Gravimetria:
 - ST = 26.450 mg·L⁻¹;
 - SVT = 21.366 mg·L⁻¹;
 - SFT = 5.084 mg·L⁻¹;
 - Relação entre sólidos voláteis por matéria seca = 0,81.

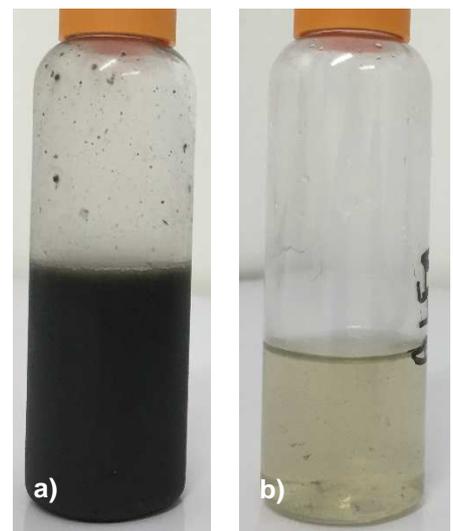


Figura 1 – Amostras Alfa:
a) *in natura* (antes da digestão);
b) depois da digestão anaeróbia.



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Amostras Alfa:	3
Figura 2 – Amostra <i>in natura</i>	7
Figura 3 – Laboratório de Energias Renováveis – Genética Tecnologias Ambientais – Eudiômetros.	8
Figura 4 – Geração cumulativa de biogás para o efluente Alfa.....	10
Figura 5 – Potencial calorífico dos substratos.	13
Figura 6 – Poder calorífico do metano.....	14

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados experimentais.	10
Tabela 2 – Steps das leituras do biogás gerados pelo efluente Alfa.....	11
Tabela 3 - Potencial de geração de acordo com o tipo de substrato.	12
Tabela 4 – Equivalência de 1 Nm ³ de biogás em relação a outros combustíveis.....	13

SIMBOLOGIA

BMP	Potencial bioquímico de metano	Nm ³ _{biogás} ·kgDQO ⁻¹ _{rem} ou Nm ³ _{CH₄} ·kgDQO ⁻¹ _{rem}
DQO	Demanda química de oxigênio	mg·L ⁻¹
<i>p</i>	Pressão	hPa ou atm
SFT	Sólidos fixos totais	mg·L ⁻¹
ST	Sólidos totais	mg·L ⁻¹
SVT	Sólidos voláteis totais	mg·L ⁻¹
<i>T</i>	Temperatura	K ou °C
<i>V</i>	Volume	NmL ou Nm ³

LISTA DE ABREVIATURAS

CNTP	Condições normais de temperatura e pressão
GLP	Gás liquefeito de petróleo
<i>headspace</i>	Espaço vazio
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry
pH	Potencial hidrogeniônico



FÓRMULAS MOLECULARES

Bal.	Balanco (maior concentração gás nitrogênio (N ₂))
CH ₄	Metano
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono (gás carbônico)
H ₂	Hidrogênio
H ₂ S	Sulfeto de hidrogênio (gás sulfídrico)
N ₂	Nitrogênio
O ₂	Oxigênio



1. JUSTIFICATIVA

Os conhecimentos sobre a digestão anaeróbia, com a produção de gás combustível a partir da estabilização de resíduos orgânicos datam do ano de 1976, quando Alessandro Volta observou a produção de metano no gás dos pântanos como resultado da fermentação de vegetais em condições de anaerobiose (NOGUEIRA, 1986).

No Brasil, o interesse em aplicar a tecnologia da biodigestão anaeróbia foi despertado pela crise energética na década de 70, aumentando a procura por energias alternativas (HOBSON e WHEATLEY, 1993).

Os processos anaeróbios produzem energia com baixa produção de lodo comparado a outras formas de tratamento. Por isso propomos este estudo que é uma importante ferramenta para diagnosticar viabilidades em gerar metano (energia) através de efluentes e demais resíduos.



Laboratório de Energias Renováveis – Genética Tecnologias Ambientais – Biorreator TSi

1.1. OBJETIVO DO ESTUDO

O presente estudo busca fornecer informações sobre o processo de fermentação do resíduo, investigando o potencial bioquímico de metano (BMP), expresso em $\text{Nm}^3_{\text{biogás}} \cdot \text{kgDQO}^{-1}_{\text{rem}}$ e $\text{Nm}^3_{\text{CH}_4} \cdot \text{kgDQO}^{-1}_{\text{rem}}$.

1.2. NORMAS UTILIZADAS

O estudo em questão está de acordo com a norma VDI 4630 – *Fermentation of organic materials: Characterization of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests*, juntamente com outras duas normas complementares: DIN 38414 – 8 *Sludge and sediments (group S): Determination of the amenability to anaerobic digestion (S8)*; DIN EN ISO 11734 – *Evaluation of the 'ultimate' anaerobic biodegradability of organic compounds in digested sludge*.



2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1. DADOS DA SUBSTÂNCIA-TESTE

Identificação:	Dejetos de suínos da caixa de homogeneização - Alfa
Protocolo:	14/2015
Data do recebimento:	13/02/2015
Data de validade:	Não se aplica.
Nº Lote:	Não se aplica.
Nome químico (IUPAC):	Não se aplica.
Homogeneidade:	Heterogêneo.

2.2. CONDIÇÕES DO ESTUDO

- ✓ Temperatura das reações: 37 ± 2 °C (VDI 4630, 2006).
- ✓ Tempo de reação mínimo de 60 dias, ou até que a produção diária de biogás seja equivalente a apenas 1 % do volume total produzido (VDI 4630, 2006).

2.3. PROCEDIMENTO

Para o estudo de BMP, foi utilizado o resíduo de dejetos de suínos proveniente da caixa de homogeneização, denominado Alfa (Figura 2).



Figura 2 – Amostra *in natura*.



Foram preparados reatores de acordo com a norma internacional alemã para digestão anaeróbia, com *headspace* (espaço vazio) de 30% referente ao volume total, sendo que cada reator foi preenchido com lodo anaeróbio granular de alta atividade metanogênica (mínimo de $0,45 \text{ gDQO}_{\text{CH}_4} \cdot \text{gSVT}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$), e o resíduo na seguinte proporção (DIN EN ISO 11734, 1998; VDI 4630, 2006):

$$\frac{\text{Substrato}_{\text{SVT}}}{\text{Lodo anaeróbio}_{\text{SVT}}} \leq 0,5$$

Para cada reator, foram realizadas leituras de pH para garantir a máxima conversão anaeróbia (DIN EN ISO 11734, 1998). Os reatores foram incubados sob condições mesofílicas, $37 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ e conectados em tubos de eudiômetros, conforme demonstrados na Figura 4 (DIN 38414-8, 1985; VDI 4630, 2006).



Figura 3 – Laboratório de Energias Renováveis – Genética Tecnologias Ambientais – Eudiômetros.

Leituras sequenciais do volume e composição do biogás gerado nos reatores foram realizadas. Para a composição do biogás as leituras foram realizadas através de célula infravermelha de comprimento de onda duplo com canal de referência e célula eletroquímica interna. Os resultados foram expressos em dois *steps* da composição do biogás, de acordo com os dados estatísticos.

Os volumes gerados foram corrigidos para condições normais de temperatura e pressão (CNTP), conforme a fórmula abaixo (DIN 38414 – 8, 1985).



$$V_{CNTP} = V \cdot \frac{(p - p_w) \cdot T_0}{p_0 \cdot T}$$

Onde:

V_{CNTP} = Volume normal de gás (NmL)

V = Volume de gás lido (mL)

p = pressão do gás no momento da leitura (hPa)

p_w = pressão de vapor da água em função da temperatura ambiente (hPa)

T_0 = temperatura padrão (K) = 273,15 K

p_0 = pressão padrão (hPa) = 1013 hPa

T = temperatura do teste ou ambiente (K)



3. RESULTADOS

De acordo com os dados experimentais, foram calculados os valores de BMP do resíduo:

Tabela 1 – Resultados experimentais.

	 BIOGÁS 	 METANO
ALFA	0,580 Nm ³ _{biogás} ·kgDQO ⁻¹ _{rem}	0,382 Nm ³ _{CH₄} ·kgDQO ⁻¹ _{rem}

Na Figura 4, são apresentados os volumes normais cumulativos de biogás para o resíduo de dejetos suínos, proveniente da caixa de homogeneização, durante o período de digestão anaeróbia:

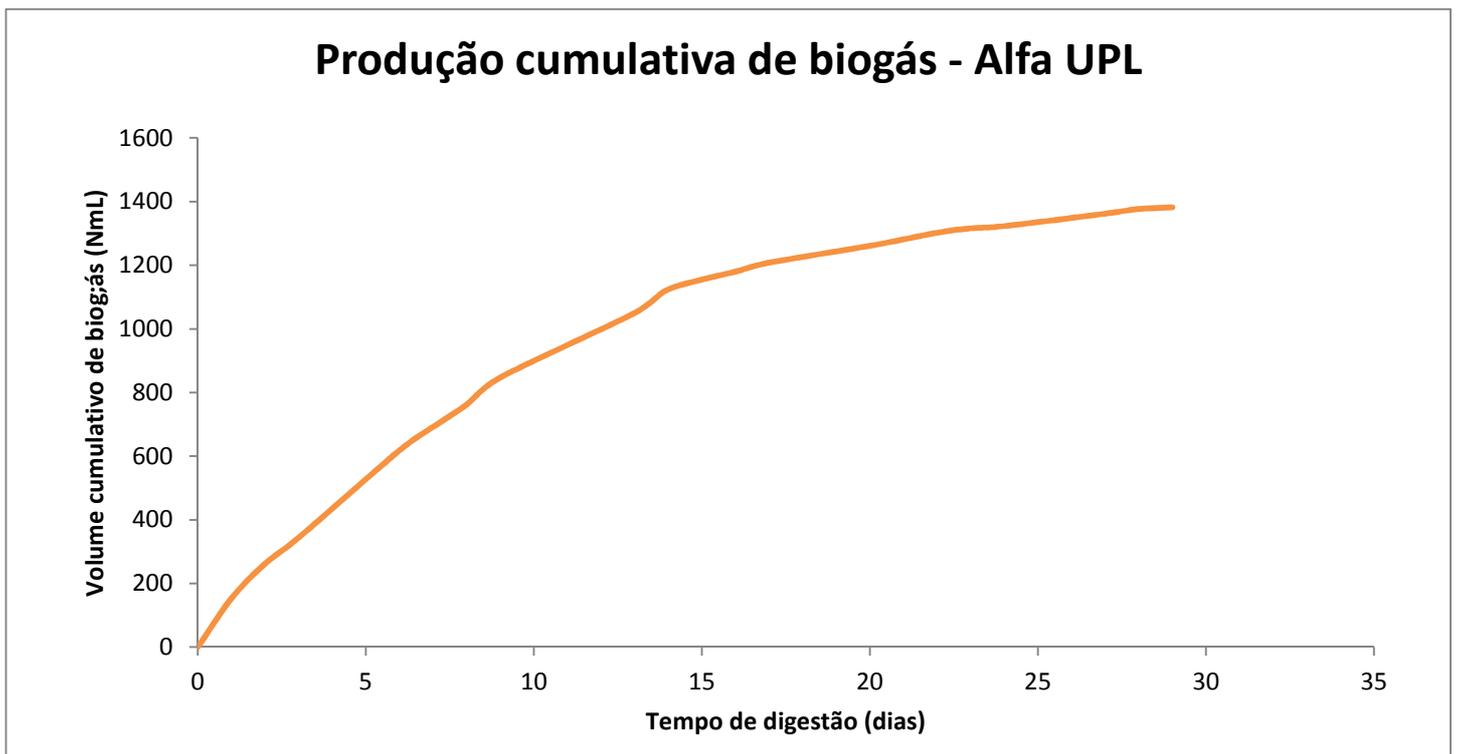


Figura 4 – Geração cumulativa de biogás para o efluente Alfa.

Segundo a norma internacional alemã, DIN 38414 – 8 (1985), o pH da reação deve estar entre 7 – 8. Neste estudo, as reações iniciaram e terminaram dentro da faixa de pH preconizado, iniciaram-se em pH 7,25 e encerram-se em 7,35, garantindo assim, máxima conversão do substrato a biogás.



A seguir, Tabela 2, todos os volumes cumulativos de biogás e de metano gerados durante o período de digestão anaeróbia:

Tabela 2 – Volumes cumulativos de biogás gerados pelo efluente Alfa.

Tempo de digestão (dias)	Volume biogás (NmL)
0	0
1	135
2	233
3	306
6	543
7	613
8	678
9	757
13	952
14	1016
16	1064
17	1089
20	1125
22	1155
23	1180
24	1190
27	1221
28	1225
29	1242

Na Tabela 3, a qualificação do biogás no período do ensaio:

Tabela 3 – Steps das leituras do biogás gerados pelo efluente Alfa.

	Volume de biogás (mL)	[] CH ₄ (%)	[] CO ₂ (%)	[] O ₂ (%)	[] Bal. (%)	[] CO (ppm)	[] H ₂ S (ppm)	[] H ₂ (ppm)
Step 1	1050	74,02	17,97	2,13	5,87	22	665	54
Step 2	332	65,90	14,10	0,60	19,50	21	28	78



4. REVISÃO DA LITERATURA

Dentre as diversas pesquisas realizadas com dejetos de suínos, Lucas Jr. (1994) submeteu o efluente à digestão anaeróbia em biodigestores batelada operados à temperatura ambiente e encontrou potencial médio que variou de 0,2975 a 0,4590 m³ de biogás por kg de ST adicionados quando não utilizou inoculo, ao passo que, com a adição de diferentes concentrações de inoculo (11,23; 20,37 e 22,14 % da matéria seca), a variação no potencial foi de 0,3521 a 0,5297 m³ de biogás por kg de sólidos totais adicionados.

Hill et al. (1985) trabalharam com biodigestores anaeróbios considerados semi-contínuos com expansão de cargas, operando nas seguintes condições: três temperaturas (10; 22,5 e 35 °C), três ciclos de tempo (60, 100 e 200 dias) e três diferentes concentrações de sólidos totais (48,95 e 128,00g gST·L⁻¹). Os resultados revelaram que o desempenho dos biodigestores foi reduzido quando operaram nas temperaturas de 10 e 22,5 °C, em comparação com a operação a 35 °C. A produtividade específica de metano esteve na faixa de 0,55 a 0,70 litros de gás metano por grama de sólidos voláteis reduzido.

Em um estudo desenvolvido por Moller et al. (2004) sobre os potenciais de produção de metano dos dejetos de diversas espécies de animais, calcularam para a espécie suína um potencial médio de 516 litros de gás metano por kg de sólidos voláteis adicionado.

A seguir, Figura 5 é apresentado o potencial de geração de biogás e composição teórico do gás metano de acordo com o tipo de substrato (VDI 4630, 2006):

Tabela 4 - Potencial de geração de acordo com o tipo de substrato.

Substrate type	Theoretical biogas yield in l _N /kg _o TS	Theoretical CH ₄ /CO ₂ composition in % by volume	
		CH ₄	CO ₂
Carbo-hydrate	750	50 % CH ₄	50 % CO ₂
Fats	1390	72 % CH ₄	28 % CO ₂
Proteins	800	60 % CH ₄	40 % CO ₂

Fonte: VDI 4630, 2006.



5. COMPARATIVO BIOGÁS

Tabela 5 – Equivalência de 1 Nm³ de biogás em relação a outros combustíveis.

Combustível	Quantidade equivalente a 1 Nm ³ de biogás
Carvão vegetal	0,8 kg
Lenha	1,5 kg
Óleo Diesel	0,55 l
Querosene	0,58 l
Gasolina Amarela	0,61 l
GLP (Gás Liquefeito de Petróleo)	0,45 l
kWh	1,43
Alcool Carburante	0,80 l
Carvão Mineral	0,74 kg

Fonte: Adaptado de Cardoso Filho, 2001.

Figura 5 – Potencial calorífico dos substratos.

CARVÃO E RESÍDUOS			
TIPO	DENSIDADE APARENTE (kg/m ³)	UNIDADE NOMINAL (%)	PODER CALÓRICO INFERIOR (kcal/kg)
Casca Arroz - IN NATURA	140	12	3.300
Casca Arroz - PELLET/BRIQUET	500 - 600	8	3.500
Bagaço Cana - IN NATURA	140	50	1.820
Bagaço Cana - PELLET/BRIQUET	500 - 600	15	3.480
Bagaço Cana - Enfardado	350	20	3.250
Casca de Castanha	-	-	5.500
Casca de Bagaço	-	-	4.300
Casca de Girassol	-	-	4.300
Casca de Cacau	-	-	2.000 - 3.900
Casca de Café	-	-	3.000
Casca de Algodão	-	-	3.000
Casca de Amendoim	-	-	3.000
Fibra de Palmeira	-	-	2.200
Fibra de Juta	-	-	3.800
Palhas	-	-	3.400
Aparas de Borracha	-	-	3.200
Aparas de Papelão	-	-	3.700
Aparas de Politétileno	-	-	10.000
Aparas de Polipropileno	-	-	11.000
Recortes de Couro	-	-	4.400
Carvão Vegetal	-	3 - 7	6.700 - 6.400
Carvão Mineral RS	-	17 - 10	3.750 - 3420
Carvão Mineral SC	-	17 - 10	4.900 - 4550

PODER CALORÍFICO
 1 kcal/kg = 4,19 kJ/kg = 1,80 Btu/lb
 1 Btu/lb = 2,32 kJ/kg = 0,55 kcal/kg
 1 kJ/kg = 0,42 Btu/kg = 0,24 kcal/kg

LÍQUIDOS E GASOSOS		
TIPO	DENSIDADE APARENTE (kg/m ³)	PODER CALÓRICO INFERIOR (kcal/kg)
Óleo Diesel	825	10.200
Óleo BPF Tipo A	970	9.600
Óleo BTE Tipo D	940	10.000
Querosene	785	10.400
Alcatrão Mineral	1.150	8.600
Alcatrão Vegetal	1.130	5.500
Xisto	2.100	1.500
Condens. de Gás Natural	675	11.300
Metanol Anidro	796	4.600
Etanol Anidro	794	6.400
Gasolina Automotiva	734	11.100
Gasolina de Aviação	710	11.150
Nafta	740	11.100
GLP	544	11.400
		(kcal/m ³)
Gás Natural	-	8.600
Gás Nafta	-	4.250
Gás de Coque	-	4.500
Gás de rua / cidade	-	4.250
Gás Metano	-	13.000
Biogás	-	8.450

PODER CALORÍFICO
 1 kcal/kg = 4,19 kJ/kg = 1,80 Btu/lb
 1 Btu/lb = 2,32 kJ/kg = 0,55 kcal/kg
 1 kJ/kg = 0,42 Btu/kg = 0,24 kcal/kg

MADEIRAS			
TIPO	DENSIDADE APARENTE (kg/m ³)	UMIDADE NOMINAL (%)	PODER CALÓRICO INFERIOR (kcal/kg)
Madeira Nativa - Lenha	400 - 500	20 - 60	3.290 - 1.370
Madeira Nativa - Serragem	240 - 380	20 - 60	3.290 - 1370
Madeira - Cavaco	180	10	4.100
Eucalipto - Lenha	450 - 550	20 - 60	3.380 - 1.400
Eucalipto - Picado	550 - 700	20 - 60	3.380 - 1400
Eucalipto - Casca	-	20 - 60	3.000 - 1.200
Acácia - Lenha	380 - 480	20 - 60	3.500 - 1.600
Pinus - Lenha	380 - 480	20 - 60	3.570 - 1.500
Pinus - Serragem	160 - 380	20 - 60	3.570 - 1.500
Pinus - Casca	-	20 - 60	3.720 - 1.560
Pinus - Cavacos	360	30	2.700

PODER CALORÍFICO
 1 kcal/kg = 4,19 kJ/kg = 1,80 Btu/lb
 1 Btu/lb = 2,32 kJ/kg = 0,55 kcal/kg
 1 kJ/kg = 0,42 Btu/kg = 0,24 kcal/kg



Figura 6 – Poder calorífico do metano.

SUBSTÂNCIA	FÓRMULA	MASSA MOLECULAR	PODER CALORÍFICO			
			SUPERIOR kcal/kg	INFERIOR kcal/kg	SUPERIOR kWh/kg	INFERIOR kWh/kg
Carbono	C	12,01	7.819	7.819	9,09	9,09
Hidrogênio	H ₂	2,02	33.900	28.642	39,40	33,29
Monóxido de Carbono	CO	28,01	2.412	2.412	2,80	2,80
Enxofre	S	32,06	2.210	2.210	2,57	2,57
Gás Sulfídrico	H ₂ S	34,08	3.939	3.631	4,58	4,22
Amônia	NH ₃	17,03	5.364	4.439	6,23	5,16
Metano	CH₄	16,04	13.249	11.940	15,40	13,88
Etano	C ₂ H ₆	30,07	12.384	11.336	14,39	13,17
Propano	C ₃ H ₈	44,09	12.018	11.065	13,97	12,86
n-Butano	C ₄ H ₁₀	58,12	11.822	10.919	13,74	12,69
i-Butano	C ₄ H ₁₀	58,12	11.794	10.891	13,71	12,66
n-Pentano	C ₅ H ₁₂	72,14	11.702	10.829	13,60	12,59
i-Pentano	C ₅ H ₁₂	72,14	11.680	10.252	13,57	11,92
neo-Pentano	C ₅ H ₁₂	72,14	11.635	10.761	13,52	12,51
Eteno	C ₂ H ₄	28,05	12.009	11.260	13,96	13,09
Propeno	C ₃ H ₆	42,08	11.674	10.925	13,57	12,70
n-Buteno	C ₄ H ₈	56,10	11.563	10.817	13,44	12,57
i-Buteno	C ₄ H ₈	56,10	11.502	10.754	13,37	12,50
Acetileno	C ₂ H ₂	26,04	11.929	11.527	13,86	13,40
Etanol	C ₂ H ₅ OH	46,07	7.302	6.619	8,49	7,69
Metanol	CH ₃ OH	32,04	5.692	5.037	6,62	5,85
Benzeno	C ₆ H ₆	78,11	10.103	9.698	11,74	11,27
Tolueno	C ₇ H ₈	92,13	10.231	9.776	11,89	11,36
Xileno	C ₈ H ₁₀	106,16	10.347	9.854	12,03	11,45

6. CONCLUSÕES

Os parâmetros alcançados no estudo demonstram a quantidade de biogás que pode ser gerado para reaproveitamento. Neste caso, o resultado de $0,580 \text{ Nm}^3_{\text{biogás}} \cdot \text{kgDQO}^{-1}_{\text{rem}}$, apresentado neste estudo foi satisfatório, comparando-se com valores encontrados em outras pesquisas nos valores de 0,5 a $0,7 \text{ Nm}^3_{\text{biogás}} \cdot \text{kgDQO}^{-1}_{\text{rem}}$. O máximo aproveitamento do biogás gerado está diretamente correlacionado a qualidade e proficiência dos equipamentos que serão utilizados.

O poder calorífico teórico do biogás gerado na presente pesquisa (metano = 65,9 %) é de 7.868,46 kcal/kg, sem considerar a perda do poder calorífico ocasionado pelos compostos refrigerantes presentes no biogás,, sendo estes principalmente umidade e CO₂.

Os resultados apresentados no presente relatório, foram obtidos através das condições ótimas para a degradação anaeróbia dos substratos.



7. DOCUMENTO CONTROLE

MÉTODO REFERÊNCIA:

VDI 4630
DIN EN ISO 11734
DIN 38414 – 8

DIRETOR DE ESTUDO/AUTOR:

Eng. Químico Ivan Bovi Sganderla
CRQ: 13301446

LABORATÓRIO CONTRATADO:

GENÉTICA TECNOLOGIAS AMBIENTAIS
Rua Sete de Setembro, 2301 – D
CEP: 89806-150
Chapecó – SC

PATROCINADOR:

COOPERATIVA AGROINDUSTRIAL ALFA – ALFA UPL
Rod SC 471, km 03, Fazenda São Vicente
CEP: 89985-000
Palma Sola – SC



8. INFORMAÇÕES GERAIS

Datas do estudo

O presente estudo foi conduzido na GENÉTICA TECNOLOGIAS AMBIENTAIS, laboratório em Chapecó - SC.

Início do estudo:	13 de Fevereiro de 2015.
Início da parte experimental:	13 de Fevereiro de 2015.
Dados da parte experimental:	25 de Março de 2015.
Relatório final:	25 de Março de 2015.

Equipe Técnica

Ivan Bovi Sganderla (Diretor de estudo)

Gabriela Longaretti (Suporte Técnico)

Joel Alexandre Meira (Suporte Técnico)

Aderência ao plano de estudo

Não foram registrados desvios ao plano de estudo.

Arquivos

Todos os documentos relacionados a este estudo (dados brutos, plano de estudo e cópia do relatório final) serão devidamente arquivados por no mínimo 5 anos nas instalações da empresa: Rua Sete de Setembro 2301 D, CEP 89806-150, Chapecó – SC, Brasil. Uma alíquota da substância-teste será retida durante 3 meses.



9. DECLARAÇÃO DE CONFORMIDADE DO ESTUDO

Título do Estudo: Análise experimental do potencial de geração de biogás e de metano a partir de dejetos de suínos.

Número do Estudo: 14/2015

O estudo em questão foi conduzido de acordo com o respectivo plano de estudo, aprovado pelo Patrocinador e pelo Diretor de Estudo da GENÉTICA TECNOLOGIAS AMBIENTAIS, e seguindo os procedimentos operacionais padrão da GENÉTICA TECNOLOGIAS AMBIENTAIS. Não foram detectados quaisquer fatos que possam ter comprometido a integridade e qualidade do estudo. Todos os dados brutos originais, incluindo registros eletrônicos dos resultados, documentações, plano de estudo assinado, eventuais alterações do plano de estudo, cópia do relatório final e alíquotas das substâncias-teste serão retidos nos arquivos da GENÉTICA TECNOLOGIAS AMBIENTAIS.

Eu aceito a responsabilidade pela condução do estudo e declaro que foi conduzido sob minha direção e de acordo com os procedimentos aqui descritos. Este relatório apresenta o registro preciso e verdadeiro dos resultados obtidos.

Ivan Bovi Sganderia (Eng. Químico)

Diretor de Estudo - GENÉTICA TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

Rua Sete de Setembro, 2301 D - 89806-150

Chapecó, SC – Brasil

25 de março de 2015

Data



10. DECLARAÇÃO DA GARANTIA DA QUALIDADE

Título do Estudo: Análise experimental do potencial de geração de biogás e de metano a partir de dejetos de suínos.

Número do Estudo: 14/2015

Baseado na revisão da Garantia da Qualidade, o relatório final foi considerado um registro preciso e verdadeiro dos dados gerados durante o estudo.

O relatório final foi inspecionado quanto ao respectivo plano de estudo, procedimento operacional padrão e dados brutos.

As inspeções foram conduzidas de acordo com os procedimentos operacionais padrões da Garantia da Qualidade da GENÉTICA TECNOLOGIAS AMBIENTAIS.

Nº Inspeção	Inspeção	Data da Inspeção
001	Plano de Estudo	13 de Fevereiro de 2015
002	Dados experimentais	25 de Março de 2015
003	Relatório final	25 de Março de 2015

PhD Joel Alexandre Meira

Departamento de Biotecnologia

GENÉTICA TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

Rua Sete de Setembro, 2301 D - 89806-150

Chapecó, SC – Brasil

25 de março de 2015

Data



11. REFERÊNCIAS

- CARDOSO FILHO, E. P. *Fatores que influenciam na digestão anaeróbia de efluentes líquidos*. Sem publicação. CETESB, 2001.
- DIN 38414 – 8. *Sludge and sediments: Determination of the amenability to anaerobic digestion (S8)*. DIN –Deutsches Institut für Normung. Berlin – Germany, 1985.
- DIN EN ISO 11734. *Evaluation of the 'ultimate' anaerobic biodegradability of organic compounds in digested sludge. Method by measurement of the biogas production (ISO 11734: 1995)*. DIN – Deutsches Institut für Normung. Berlin – Germany, 1998.
- HOBSON, R. N.; WHEATLEY, A. D.. *Anaerobic digestion: Modern theory and practice*. Londres: Elsevier Applied Science, 1993.
- HILL, D.T.; PRINCE, T.J.; HOLMBERG, R.D. Continuously expanding digester performance using a swine waste substrate. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 1985.
- LUCAS JR., J. *Algumas considerações sobre o uso do dejetos de suínos como substrato para três sistemas de biodigestores anaeróbios*. Tese (Livre – Docência em Construções Rurais) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1994.
- MOLLER, H.B.; SOMMER, S.G.; AHRING, B.K. Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure. *Biomass and Bioenergy*, Kidlington, 2004.
- NOGUEIRA, L.A.H. *Biodigestão: a Alternativa Energética*. Editora Nobel, São Paulo, 1986.
- VDI 4630. *Fermentation of organic materials: Characterization of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests*. VDI – Verein Deutscher Ingenieure. Berlin – Germany, 2006.



12. ANEXOS



Figura 7 – Caixa de homogeneização.

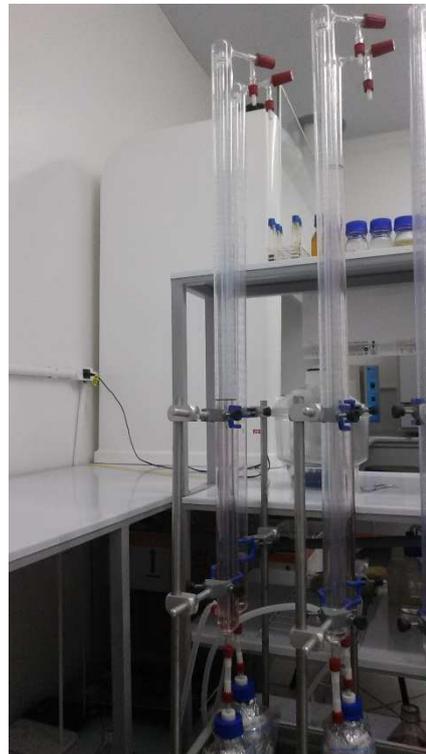


Figura 8 – Eudiômetros.