

RICARDO MÜLLER

INFLUÊNCIA DA MARAVALHA NO RENDIMENTO DE BIOGÁS GERADO A
PARTIR DO EFLUENTE DA BOVINOCULTURA DE LEITE

CASCADEL
PARANÁ – BRASIL
FEVEREIRO - 2015

RICARDO MÜLLER

INFLUÊNCIA DA MARAVALHA NO RENDIMENTO DE BIOGÁS GERADO A
PARTIR DO EFLUENTE DA BOVINOCULTURA DE LEITE

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, para obtenção do título de Mestre.
ORIENTADOR: Prof. Dr. Armin Feiden

CASCADEL
PARANÁ – BRASIL
FEVEREIRO - 2015

1. Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

FICHA CATALOGATÓRIA

M924i

Müller, Ricardo

Influência da maravalha no rendimento de biogás gerado a partir do efluente da bovinocultura de leite./Ricardo Müller. Cascavel, 2015.

37 p.

Orientador: Prof. Dr. Armin Feiden

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia de Energia na
Agricultura

1. Biogás - Pesquisa. 2. Metano. 3. Bovinocultura leiteira. 4. Maravalha. 5. Resíduo lignocelulósico. 6. Energia – Fontes alternativas. I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.

CDD 21.ed. 665.70724

RICARDO MÜLLER

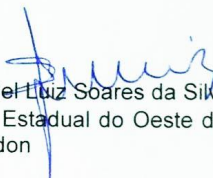
“Influência da maravalha no rendimento de biogás gerado a partir do efluente da bovinocultura de leite”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, **aprovada** pela seguinte Banca Examinadora:

Orientador:



Prof. Dr. Armin Feiden
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel



Prof. Dr. Nardel Luiz Soares da Silva
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Marechal Cândido Rondon



Profa. Dra. Kátya Regina de Freitas
Universidade Federal da Integração Latino-Americana/Foz do Iguaçu

Cascavel, 24 de fevereiro de 2015.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família por ter me apoiado durante esta jornada, em especial a minha mãe Maria Luiza Schefer por me encorajar nesta conquista e confiar em minhas escolhas.

Ao professor, Dr. Armin Feidem, por ter aceitado ser meu orientador em um momento tão delicado desta trajetória, sendo imparcial, profissional e categoricamente um excelente orientador. Fazendo-me eternamente grato por sua pessoa.

Ao meu grande amigo Luis Thiago Lúcio, que dividiu moradia em Cascavel e principalmente por ter oportunizado desenvolver as análises laboratoriais deste trabalho no laboratório do Clbiogás.

Aos meus amigos Angelo Gabriel Mari e Felipe Souza Marques, pelos preciosos conselhos profissionais, acadêmicos, pessoais e pela concretização deste trabalho. À CAPES, pela cessão da bolsa de estudos em um período parcial deste trabalho.

Ao Clbiogás por fomentar as análises laboratoriais deste trabalho.

À secretária Vanderléia L. S. Schmidt pela gentileza e atenção.

Também gostaria de agradecer a todos, de intensões boas outros nem tanto, que estiveram envolvidos nesta etapa, pois nada é por acaso, sendo assim, humildemente peço as desculpas daqueles que ofendi e ou tenha faltado com o respeito.

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Tabela 1: Vantagens e desvantagem de normas reconhecidas internacionalmente para teste de biodigestão em batelada.....	7
Tabela 2: Estimativa de produção de efluente da fazenda Star Milk.....	11
Tabela 3: Valores de ST, SV e pH por batelada.....	16
Tabela 4: Valores de rendimento de biogás por ST e ST por batelada.....	17
Tabela 5: Produção específica diária de biogás e metano no biodigestor.....	18
Tabela 6: Porcentagem média de metano por tratamento.....	18
Tabela 7: Produção máxima de biogás e metano.....	19
Tabela 8: Estatística de regressão.....	20
Tabela 9: ANOVA dos dados experimentais.....	20
Tabela 10: Delineamento da equação.....	21
Figura 1: Esquema metabólico da digestão anaeróbia.....	4
Figura 2: Substratos potenciais de produzir biogás.....	9
Figura 3: Tanque de homogeneização.....	12
Figura 4: Caixa de passagem.	12
Figura 5: saída da extrusora.....	12
Figura 6: Amostras identificadas.	12
Figura 7: (a) Unidades do eudiômetro; (b) detalhamento do eudiômetro.....	15

MÜLLER, Ricardo M.e, Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Fevereiro de 2015. **Influência da maravalha no rendimento de biogás gerado a partir do efluente da bovinocultura de leite.** Professor Orientador Dr. Armin Feiden.

RESUMO

O desenvolvimento de tecnologias para tratamento de efluentes da agroindústria tem sido impulsionado principalmente pela auto suficiência energética, seja térmica ou elétrica, a partir do biogás. O processo de produção de biogás apresenta-se bem solucionado comercialmente, no entanto, a heterogeneidade dos efluentes agroindustriais no Brasil demanda melhor entendimento. A fazenda escolhida para coleta do efluente faz um tratamento primário por meio de uma extrusora, antes do processo de biodigestão, que acaba por gerar um material pastoso composto basicamente por maravalha. Nesse contexto este trabalho objetivou avaliar a influência da maravalha, usada como cama para as vacas em lactação, na produção de biogás, assim, para entender o comportamento do efluente antes e após o processo de extrusão na produção de biogás, foram delineados 4 tratamentos, sendo: efluente bruto, sem qualquer processo de separação (T1); efluente líquido extrusado (T2); efluente pastoso extrusado (T3); e o branco controle, composto por apenas inóculo (T4). As amostras foram coletadas nos meses de maio e abril e encaminhadas ao laboratório do Cibiogás-ER, denominado Labiogás, onde analisou-se: Sólidos Voláteis (SV); Sólidos Totais (ST); pH; produção máxima de biogás e metano; e produção específica de biogás e metano, pelo método da norma alemã VDI 4630 (2006) em eudiômetros de batelada durante 31 dias. Os resultados obtidos indicaram que o T1 teve predominantemente resultados mais satisfatórios que os demais tratamentos com exceção da produção máxima de biogás e de metano, no qual o T3 teve 94% mais eficiência em relação a T1, T2 e 99% ao T4, apresentando produção máxima de biogás de 0,054m³/kg de substrato e 0,030m³/kg para metano, tornando evidente a capacidade da maravalha em absorver nutrientes essenciais para o processo de digestão anaeróbia. Houve diferença (P<0,05) entre os tratamentos para a produção máxima de biogás e com 99,4% delimitou-se o modelo de regressão linear múltipla ajustado “Y=13,499 + 63,256*ST + 20,485*SV - 459,234*Rend. + 485,772*Prod.” que pode ser usado na predição de resultados.

PALAVRAS-CHAVES: Metano, bovinocultura leiteira, maravalha, resíduo lignocelulósico, energia na agricultura.

MÜLLER, Ricardo Msc, Universidade Estadual do Oeste do Paraná. February de 2015. **Wood shavings of influence on the generated biogas yield from the effluent from dairy cattle.** Adviser Dr. Armin Feiden.

ABSTRACT

The development of technologies for treatment of agroindustry effluents has been primarily driven by auto sufficiency energy, either thermal or electric, from biogas. The biogas processes are well resolved commercially in Brazil. However, the heterogeneity of the agroindustrial effluents demand better understanding, especially of dairy cattle. The selected farm for effluent collects does a primary treatment by means of an extruder, before the digestion process, who turns out to generate a pasty material composed primarily of wood shavings. In that context, this study aimed to evaluate the influence of wood shavings, used as bedding for the cows lactating and the production of biogas, thus, to understand the behavior of the effluent before and after the extrusion process were outlined four treatments: raw effluent, without any separation process (T1); extruded liquid effluent (T2); paste extruded effluent (T3); and white control, with only inoculum (T4). The samples were collected the months of May and April and sent to the lab Cbiogás-ER, called Labiogás where analyzed: Volatile Solids (SV); Total solids (TS); pH; maximum production of biogas and methane; and specific production of biogas and methane, by the method of German VDI 4630 (2006) in eudiômetros batch for 31 days. The results indicated that the T1 predominantly had better results than the other treatments except for the maximum production of biogas and methane, in which T3 had 94% more efficiency compared to T1, T2 and T4 to 99%, with maximum production of biogas 0,054m³ / kg substrate and 0,030m³ / kg for methane, pointing to the ability of wood shavings to absorb nutrients Essential to the process of anaerobic digestion. There were differences (P <0.05) between treatments for maximum biogas production and 99.4% was delimited the adjusted multiple linear regression model “Y=13,499 + 63,256*ST + 20,485*SV - 459,234*Rend. + 485,772*Prod.” That can be used in the prediction results.

KEYWORDS: Methane, dairy cattle, shavings, lignocellulosic waste, energy in agriculture.

ÍNDICE

FOLHA DE APROVAÇÃO.....	ii
AGRADECIMENTOS	iii
LISTA FIGURAS E TABELAS.....	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1. Bovinocultura e o potencial energético	2
2.2. Digestão anaeróbia;.....	3
2.3. Teste de biodigestão em batelada	5
2.4. Biogás a partir da cama de bovinocultura de leite	8
3. MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1. Local da coleta.....	10
3.2. Planejamento experimental	11
3.3. Coleta de amostras.....	13
3.4. Teste em batelada	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
4.1. Rendimento de biogás e metano por SV adicionados	17
4.2. Produção específica diária de biogás	18
4.3. Produção máxima de biogás e metano por kg de substrato	19
4.4. Análise de Regressão Múltipla	20
5. CONCLUSÃO	22
6. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	23
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

1. INTRODUÇÃO

A amplitude do impacto do efluente da agroindústria pode ser minimizada com a adoção de sistemas de reciclagem energética, no entanto é essencial conhecer mais a fundo o efluente e assim propor métodos de manejo, principalmente quando objetiva-se à produção de biogás. O método de biodigestão anaeróbia é potencialmente eficaz no tratamento dos dejetos da agroindústria, pois estabiliza a matéria orgânica, reduz o número de microrganismos patogênicos, melhora as propriedades fertilizantes dos dejetos além de produzir o biogás, que é uma fonte alternativa de energia (AL-MASRI, 2001).

No processo de biodigestão, para obter-se principalmente metano e dióxido de carbono, ocorre uma complexa interação de microrganismos que atuam na degradação de diversos componentes orgânicos presentes no efluente, resultando em uma forma mais estabilizada e com potencial de produzir biogás (ORRICO JUNIOR et al., 2012).

A operação e eficiência do biodigestor pode ser potencializado quando, simultaneamente com o dejetos, outro substrato biodegradável é agregado ao biodigestor, ou seja, promovendo a co-digestão, pois reduz o volume e o custo do biodigestor uma vez que se equaliza a disponibilidade de nutrientes do o processo de digestão anaeróbia, conseqüentemente se obtém uma maior produção de biogás por m³ de biodigestor (ALVAREZ, LIDÉN, 2008).

No que tange ao conhecimento sobre digestão anaeróbia há muito que ser feito, além de um amplo e crescente nicho de aplicações dado às inúmeras atividades agroindustriais, o que justifica as necessidades energéticas e de tratamento de resíduos (BERSMANN, RAUSCHENBACK e SUNDMACHER, 2013).

Portanto, este estudo tem como principal objetivo apontar qual a influência de um processo de separação de sólido, por extrusão, em efluente da bovinocultura de leite rico em material lignocelulósico, maravalha, em função da produção de biogás em cada um dos tratamentos e se há diferença significativa por meio de uma análise multivariada.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Bovinocultura e o potencial energético

A bovinocultura leiteira, além de um dos setores mais importantes do agronegócio brasileiro, também é muito influente na economia nacional. O maior rebanho comercial do mundo pertence ao Brasil, sendo ainda o maior exportador de carne bovina e sexto maior produtor de leite (USDA, 2014). Esta atividade movimentou no ano de 2010 cerca de R\$ 23 milhões (EMBRAPA, 2011). Sendo responsável por aproximadamente 5 milhões de contratações diretas do setor primário, somente a produção de leite responde por 1,35 milhões (IBGE, 2006).

O Estado do Paraná é o terceiro maior produtor de leite do Brasil, com 3,9 bilhões de litros por ano e representa a cadeia produtiva mais importante para a agricultura familiar do Estado (EMATER, 2014). O Paraná conta com um rebanho de vacas ordenhas de 1.615.916 animais. Na região oeste do Paraná concentra-se aproximadamente 20% dos produtores rurais que, juntos, são responsáveis por 22% da produção estadual (IPARDES, 2014).

Para atender a crescente demanda por alimentos com a capacidade de produção animal das fazendas faz com que os produtores optem cada vez mais por instalações tecnicamente otimizadas e por processos de confinamento intensivo de produção animal. No confinamento controla-se as condições ambientais na área de alojamento aumentando a produtividade (PERISSINOTTO *et al.*, 2009).

A técnica comumente utilizada é o galpão free-stall, na qual os animais são dispostos em baias individuais com cama, permitindo que saiam e entrem livremente. Porém apresenta o inconveniente da geração de resíduos, que constituem-se de: dejetos, material usado nas camas, água com produtos utilizados na limpeza, de restos de animais (pelos e células mortas). Sendo tradicionalmente utilizado como cama para as baias a serragem, o capim seco, a palha de café, o esterco seco, entre outros (NATZAKE; BRAY; EVERETT, 1982).

Na bovinocultura leiteira, dado à natureza fisiológica das vacas em lactação, elimina-se cerca de 33% da energia consumida nos alimentos. Isto aporta ao dejetos da bovinocultura altos teores de nutrientes que, se manejados adequadamente,

podem agregar alto valor quando utilizados como fertilizantes na produção vegetal (VAN HORN *et al.*, 1994). A carga orgânica do dejetos da bovinocultura é equivalente a 16 vezes a carga orgânica produzida pelo dejetos humano, considerando que no Brasil, uma pessoa elimina em média 54 g DBO₅/dia (VON SPERLING, 2005).

Considerando a produção de dejetos de vacas leiteiras igual a 18,25 t/animal/ano (SIQUEIRA, 1991). O rebanho estadual tem a produção estimada de dejetos neste ano de 29,49 milhões de toneladas de dejetos. Segundo Lucas Junior (1987) o dejetos da bovinocultura leiteira com 8% de ST, quando submetido ao processo de biodigestão, produz 0,049m³ de biogás/kg de dejetos adicionado ao biodigestor, portanto, somente o Estado do Paraná teria potencial de produzir cerca de 1,45 milhões de m³ de biogás.

2.2. Digestão anaeróbia;

Os sistemas de biodigestão podem ser definidos como câmaras que favorecem o desenvolvimento de microorganismos com capacidade de digerir matéria orgânica em um meio anaeróbio ideal e transformar em compostos mais simples, que são metabolizados resultando em biogás (LUCAS JUNIOR, 1994).

O tratamento de resíduos orgânicos com sistemas de biodigestão anaeróbia pode ser resumido a um processo natural de fermentação, que produz principalmente metano e dióxido de carbono por meio de bactérias que decompõem a matéria orgânica, resultando no biogás e biofertilizante. Sendo considerado um método eficiente de tratar consideráveis quantidades de resíduos, reduzindo o seu poder poluente e os riscos sanitários (HILLS, 1980).

O tratamento de resíduos orgânicos, normalmente, é realizado em processos de digestão anaeróbia no qual ocorre a produção de biogás e do biofertilizante. A adoção de sistemas de biodigestão para tratamento de esterco com foco na produção de biogás é um dos usos mais promissores da biomassa residual, pois aporta uma generosa fonte de energia e resolve simultaneamente problemas ambientais. Segundo Alvares (2007) a fermentação anaeróbica do esterco para a produção de biogás não prejudica o aporte nutricional do biofertilizante (ALVAREZ, 2008).

O biogás é um combustível valioso que pode ser usado para fornecer calor, energia elétrica, ou ainda combustível veicular. No entanto, para obter este produto a matéria orgânica passa por uma sequência de quatro etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, como pode ser observado na **Figura 1** (MASSE e DROSTE, 2000; RISBERG et al., 2013).

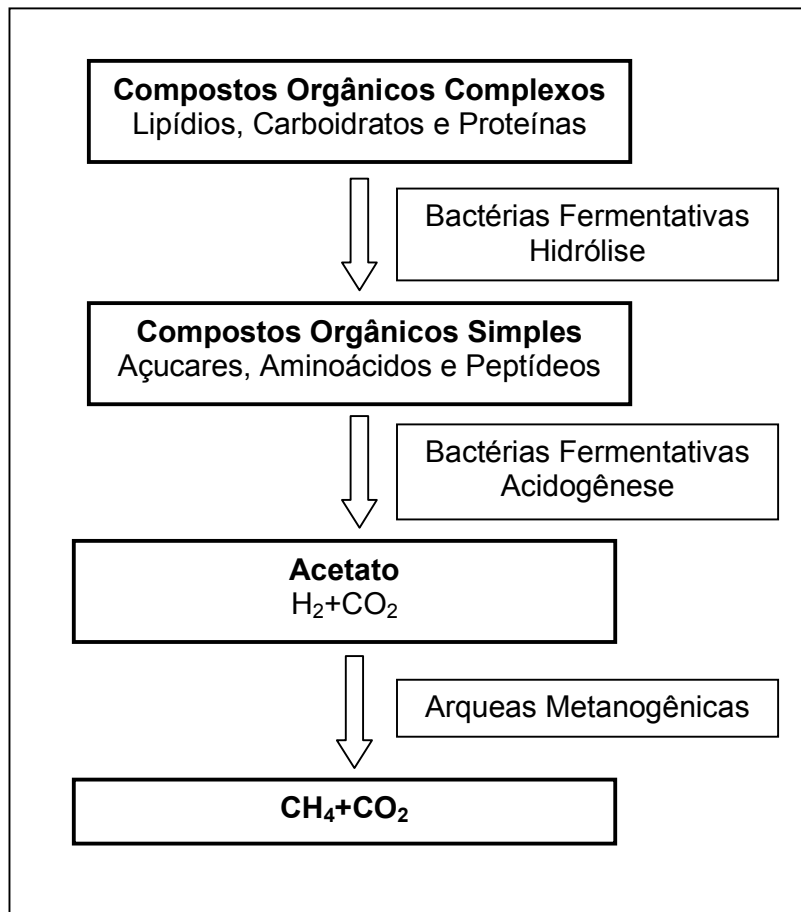


Figura 1: Esquema metabólico da digestão anaeróbia.
Fonte: Adaptado de Chernicharo (2007).

Essas etapas dependem de três grupos de microorganismos: bactérias fermentativas (acidogênicas), bactérias sintróficas (acetogênicas) e microorganismos metanogênicos. As bactérias acidogênicas são responsáveis por transformar, através de hidrólise e fermentação, compostos orgânicos complexos em compostos mais simples, como ácidos orgânicos, hidrogênio (H_2) e dióxido de carbono (CO_2). O segundo grupo, acetogênico, transforma compostos orgânicos intermediários em acetatos, H_2 e CO_2 . A fase final da digestão anaeróbia é um processo biológico de

metanogênese, em que as arqueas metanogênicas utilizam os produtos intermediários das etapas anteriores e os convertem em metano (CH_4) e dióxido de carbono (CHERNICHARO, 1997).

A eficiência da digestão anaeróbia depende de fatores como: nutrientes, tempo de retenção hidráulica, parâmetros físicos químicos do efluente, entre outros, estão diretamente relacionados com a eficiência da digestão anaeróbia, pois influencia no desenvolvimento dos microorganismos (YADVIKA et al., 2004)

Portanto a digestão anaeróbia está diretamente relacionada com controles ambientais do biodigestor. Os diversos modelos de biodigestor podem alterar a qualidade do biogás e do biofertilizante, por isso, é importante observar que tanto os procedimentos de operação quanto o sistema de biodigestão seja escolhido conforme as especificidades do efluente, a fim de aumentar a produção de biogás com qualidade (EL-MASHAD et al, 2006).

O biogás é uma fonte de energia renovável que pode ser aproveitada como energia térmica, elétrica e/ou veicular e tem se mostrado uma atividade economicamente interessante para os produtores rurais, quando associado aos custos evitados na própria atividade agropecuária, diminuindo os custos da produção.

As fontes de energia convencionais apresentam constantes aumentos no seu custo, assim o biogás apresenta-se como uma alternativa quanto à produção energética (MIRANDA, 2005). O biogás na propriedade rural ainda pode ser considerado um mecanismo de emergência, uma vez que a transmissão de energia no meio rural apresenta certa instabilidade, seja por motivos técnicos ou provocados por desastres naturais como inundações, vendavais, deslizamentos ou escorregamento de terra, entre outros fenômenos.

2.3. Teste de biodigestão em batelada

A biodigestão anaeróbia de batelada pode ser considerada o estado da arte para estimar o potencial de produção de metano de diversos substratos, havendo uma grande gama de trabalhos de cunho científico com digestores operando simultaneamente com dois ou mais substratos.

O tratamento simultâneo de dois ou mais substratos biodegradáveis pela digestão anaeróbia, pode ser denominado co-digestão. Este processo melhora o rendimento de biogás do biodigestor, pois equaliza a disponibilidade de nutrientes do processo de digestão anaeróbia (ALVAREZ, LIDÉN, 2008).

Os testes em batelada possuem execução simples se comparado com os contínuos, e permitem avaliar os efeitos de diferentes condições, como determinados tipos de pré-tratamento sobre a eficiência do processo de digestão anaeróbica (Adl et al., 2012).

Segundo PHAM et al., (2013) as aplicações do biogás vem tomando espaço em países em desenvolvimento como: Filipinas, Tailândia, Nepal, Brasil, entre outros. Por isso é necessário desenvolver e validar métodos para assegurar a produção de biogás, tomando como partida laboratórios mais instrumentados e a validação de processos metodológicos para estimar o potencial de produção de biogás, de forma a assegurar resultados úteis para a aplicação do biogás.

A norma alemã VDI 4630 (VDI, 2006) é adotada como metodologia para digestão anaeróbia de materiais orgânicos, caracterização, amostragem e coleta de substratos. Esta norma pode ser aplicada tanto para testes em digestão anaeróbia em batelada, assim como para processos contínuos.

Esta norma estabeleceu um critério até pouco tempo indefinido pelos pesquisadores: o ponto de interrupção do experimento. Neste caso, o experimento deverá ser conduzido até que a produção diária de gás seja inferior a 1% da produção total de gás. Este ponto é conhecido como critério 1%. Para Koch e Drewes (2014) esta abordagem é aplicável para qualquer tipo de substrato e ocorre com maior frequência com experimentos em batelada.

Outro parâmetro bastante relevante para avaliar a produção de biogás nos experimentos de digestão anaeróbia é o ensaio denominado "Biochemical Methane Potential" (BMP). Este ensaio mede a capacidade máxima de produção de metano de cada matéria-prima sendo um parâmetro chave na concepção e operação de uma usina de biogás em escala real (PHAM et al., 2013). O BMP pode ser executado utilizando diversos métodos, dentre eles: Moller et al. (2004), a ISO 11734 (2006), Hansen et al. (2004) e a VDI 4630 (VDI, 2006).

Segundo PHAM et al. (2013), que comparou as metodologias de Moller, Hansen e a VDI 4630 para efluentes de suínos e bovinos, o método de Hansen

proporciona uma biodegradabilidade ligeiramente maior, mas as diferenças não é significativa perante análises estatísticas.

O ensaio BMP traz algumas limitações que podem mascarar o real comportamento do efluente no biodigestor, pois avalia isoladamente o substrato em função de um inóculo ideal, mantido em condições ideais e por trabalhar com digestores de baixo volume (250 mL) (WOODY et al., 2011). E ainda assim o ensaio de BMP com duração de 30 dias ou mais é sugerido como uma excelente alternativa na avaliação inicial do potencial de um determinado substrato para produção de metano, fornecendo dados valiosos quando se considera a aptidão dos materiais para tratamento em digestores anaeróbios (THYGESSEN et al., 2014; SPEECE, 2008).

As instituições de pesquisa e ensino de países em desenvolvimento, geralmente, dispõem de recursos financeiro limitados, inviabilizando a aquisição, instalação e operação de laboratórios robustos, conseqüentemente a implementação de metodologias reconhecidas internacionalmente, como é caso do Brasil. A **Tabela 1** traz as principais vantagens e desvantagens de promover teste de biodigestão em batelada adotando metodologias reconhecidas internacionalmente, como: a ISO 11734 (2006) , Hansen et al. (2004), VDI 4630 (VDI, 2006), entre outras.

Tabela 1: Vantagens e desvantagem de normas reconhecidas internacionalmente para teste de biodigestão em batelada.

Sem reconhecimento internacional	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Oportuniza a co-digestão; • Condições pouco controladas; • Baixo custo; • Operação relativamente simples. 	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de normatização; • Metodologias não reconhecidas; • Baixa instrumentação.
Com reconhecimento internacional	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Instrumentos com especificação técnica clara; • Facilita a reprodução do experimento • Procedimento metodológico bem definido. • Dados confiáveis 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto investimento; • Não é de fácil operação; • Pode não ser de livre acesso; • Limitados a baixos volumes; • Limitado a substrato homogêneo.

2.4. Biogás a partir da cama de bovinocultura de leite

A utilização de cama na bovinocultura leiteira tem como principal objetivo proporcionar conforto para os animais em lactação e reduzir o estresse provocado pela variação de temperatura e umidade. A cama é uma forração aplicada sobre a superfície das baias e consiste em uma mistura de dejetos, ração, água e o material base, que pode ser: maravalha, capim seco, serragem, palha, entre outros.

A produção de biogás, conforme apontado por MOLLER et al. (2004), está diretamente relacionada com características químicas dos compostos orgânicos, entre eles os carboidratos, lipídios e proteínas, contidos nas fezes, urina e nas camas, que constituem o efluente como um todo.

Estudo conduzido por Weber et al. (2014) constatou que o processo de biodigestão anaeróbia no tratamento de dejetos da bovinocultura de leite é eficiente do ponto de vista energético. No entanto o material deste estudo não portava cama (maravalha), sendo apenas o dejetos bruto, uma vez que pequenos produtores de leite, entre 10 e 60 animais, não utilizam a técnica free-stal em suas instalações.

Segundo Junqueira e Junior Lucas (2012), separação a fração sólida do dejetos de bovinos, pode favorecer a redução do tempo de retenção hidráulica do biodigestor, permitindo um menor volume de biodigestor por biogás gerado. O dejetos deste estudo também não portava cama, sendo o material resultante da separação fibras não digeridas pelos animais.

No entanto o potencial energético deste efluente, o dejetos da bovinocultura misturado com maravalha, ainda é pouco explorado, havendo carência de trabalhos de cunho científico.

Woody et al. (2011) determinou, por meio de ensaio de *Biochemical Methane Potential* (BMP), a produção máxima de biogás de diversas biomassas previamente selecionada e concluiu que a co-digestão pode aumentar a produção de metano, conseqüentemente de biogás. Como apresentado na **Figura 2**, com exceção dos dejetos brutos, os demais substratos, inclusive a maravalha, podem favorecer um rendimento significativo de biogás no biodigestor.

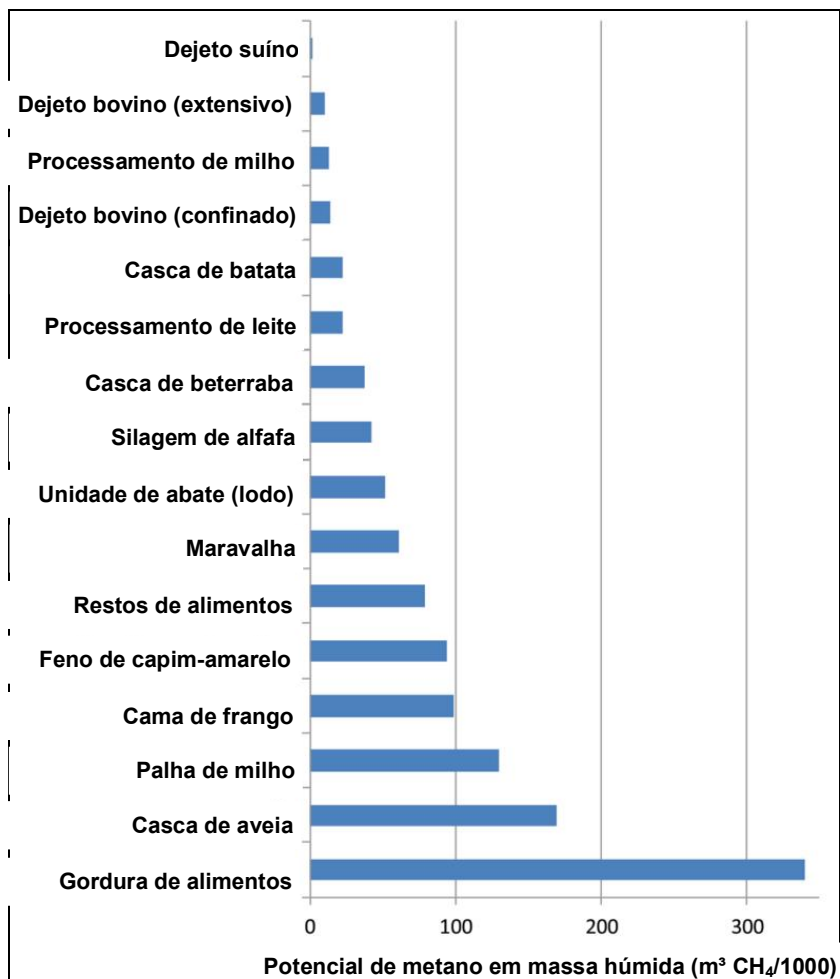


Figura 2: Substratos potenciais de produzir biogás.

Fonte: adaptado de Moody et al. (2011).

Moller et al. (2004) obteve resultados similares aqueles apresentados por Moody et al. (2011), quanto ao potencial de produção de metano a partir de efluente de bovino com palha; observou que para cada quilo de palha acrescentado por estrume ocorreu um aumento na produtividade de metano em 10%.

A separação da fração sólida do dejeito da bovinocultura pode proporcionar uma maior produção de biogás. Portanto, o presente estudo tem como objetivo identificar a influência de um processo de separação de sólidos, por extrusão, no efluente da bovinocultura de leite com maravalha, assim como seu potencial de produção de biogás e metano.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local da coleta

O material para substrato foi coletado no município de Céu Azul - Paraná, na fazenda de pecuária de leite Star Milk. Possui com 1.100 animais em confinamento, sendo 820 animais em lactação, situada nas coordenadas 25°02'08"S latitude e 53°45'48"W longitude. Dos 820 animais em confinamento da propriedade, 70 encontram-se em processo de pré-parto e 750 em lactação. Os 280 animais fora do regime de confinamento consistem em novilhas e bezerros que ficam em outras instalações da propriedade.

O Clima da região é Subtropical Úmido Mesotérmico (Cfa), de verões quentes, geadas pouco frequentes e chuvas com tendência de concentração nos meses de verão, temperatura média anual em torno de 20°C, altitude 620 metros, chuvas entre 1.300 e 1.700 mm e umidade relativa do ar de 75% sem deficiência hídrica (IPARDES, 2003).

O manejo adotado atualmente dar-se por raspagem da cama até as canaletas que cercam os galpões. Dado a grande proporção de sólidos no efluente, este não escoava para o tanque de homogeneização sendo necessário utilizar água de reuso para dissolver os sólidos.

No tanque de homogeneização o efluente permanece aproximadamente 5 horas e é dissolvido com água de reuso. Antes de o efluente ser encaminhado aos sistemas de tratamento ele é misturado por um motor elétrico com hélice, como pode ser observado na **Figura 3**.

A fazenda Star Milk possui 3 sistemas de tratamento de efluente distintos. Um biodigestor modelo de mistura completa, um biodigestor modelo canadense e uma lagoa anaeróbia. Os sistemas recebem efluente filtrado por uma extrusora da marca WAM, modelo: SEPP161065270231.

Os experimentos para produção de biogás foram conduzidos no município de Foz do Iguaçu - PR, no laboratório Labiogás do Cbiogás-ER, instalado no Parque Tecnológico de Itaipu (PTI).

O manejo dos animais adotado pelo empreendimento é o Free Stall, sistema baseado em confinamento dos bovinos em galpão de livre acesso dos animais, com cama de borracha e sobreposto com cama de serragem para cada animal. O animal levanta-se basicamente para alimentar-se e passa o restante do dia deitado ruminando.

Estimou-se, com dados fornecidos pelo CIBiogás, a produção de efluente na propriedade em 52,44 m³/dia, considerando apenas os animais em regime de confinamento, como pode ser observado na **Tabela 1**.

Tabela 2: Estimativa de produção de efluente da fazenda Star Milk

Bovinos	Quantidade de animais	Confinado	Peso médio dos animais (kg)	Estimativa de dejetos (m³ h⁻¹ animal⁻¹)	Estimativa de dejetos m³ dia⁻¹
Lactação	750	Sim	635	0,00266	47,97
Pré-parto	70	Sim	600	0,00266	4,48
Novilhas	128	Não	--	--	--
Bezerros	152	Não	--	--	--
Total	1.100			0,00533	52,44

Fonte: CIBIOGÁS, 2013.

3.2. Planejamento experimental

O delineamento experimental foi realizado em blocos casualizados, com dois blocos implantados em épocas diferentes. Cada bloco possui quatro tratamentos, com três repetições cada, totalizando 12 unidades amostrais por bloco e 24 unidades amostrais no experimento todo. Os tratamentos são:

- T1 -- Efluente bruto+inóculo: considerou-se como efluente bruto o material coletado no tanque de homogeneização a montante da extrusora, sem qualquer processo de separação de fases;
- T2 -- Efluente extrusado líquido+inóculo: considerou-se como efluente extrusado líquido o substrato processado pela extrusora, coletado na caixa de passagem;

T3 -- Efluente extrusado pastoso + água + inóculo: considerou-se como efluente extrusado pastoso a fração sólida retida na extrusora. Esta fração apresenta consistência pastosa;

T4 -- Branco (apenas inóculo).

As amostragens realizadas nos pontos: tanque de homogeneização, caixa de passagem e na saída da extrusora são apresentados nas **Figuras 3, 4 e 5** respectiva, a **Figura 6** retrata as amostras coletadas e identificadas.



Figura 3: Tanque de homogeneização.



Figura 4: Caixa de passagem.



Figura 5: saída da extrusora.



Figura 6: Amostras identificadas.

Adotou-se análise de multivariada, por meio do modelo de regressão linear múltipla para interpretar os dados deste estudo. Foi definido como variável

dependente, o volume de biogás (m^3) produzido por 1 kg de substrato, e como variáveis independentes ST, SV, pH, rendimento biogás/SV e produção específica de biogás. As comparações das médias foram efetuadas pelo teste de t de Student ($P < 0.05$) e o programa estatístico utilizado foi o “Excel”.

3.3. Coleta de amostras

A coleta das amostras ocorreram nos dias 01 de abril e 09 de maio de 2014 as 8 horas da manhã, pois nesse horário é acionada a extrusora e assim, coletou-se o substrato ainda fresco.

Foram utilizados para realizar a coleta, o armazenamento e o transporte dos substratos os seguintes itens: luvas, frasco de plástico ou vidro (estéril para microbiologia), funil, etiqueta para identificação, ficha para identificação da amostra, caixa de isopor, gelo gel e termômetro;

A coleta das amostras seguiu as regras e recomendações do Labiogás (2012). A amostragem foi realizada por um técnico disponibilizado pelo Labiogás. A coleta do substrato do T1 deu-se na entrada do tanque de homogeneização situado a montante da extrusora. A amostragem do T2 foi realizado em uma caixa de passagem a montante dos sistemas de biodigestão. A coleta do T3 deu-se na boca de saída da extrusora. O T4 foi obtido no Labiogás, na proporção de 1:1 de dejetos suíno e bovino de acordo com os procedimentos operacionais do laboratório.

Para realizar a coleta dos substratos foi utilizado um recipiente com volume de 1.000 mL e, com auxílio de um funil, a amostra foi colocada no frasco de plástico, previamente identificado. As amostras foram armazenadas em uma caixa de isopor a 4° C, conservadas sob refrigeração até o laboratório e entregues no laboratório no mesmo dia da coleta.

Em seguida, as amostras foram encaminhadas ao laboratório de biogás, Labiogás, instalado no Parque Tecnológico de Itaipu (PTI), em Foz do Iguaçu - PR. O estudo foi conduzido em sistemas de digestão descontínuo (eudiômetro) segundo a norma VDI 4630 (2006).

Para caracterização dos substratos foi realizada análises laboratoriais para quantificar sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV) e pH. Os teores de ST e SV das

amostras coletadas durante os ensaios de caracterização e biodigestão anaeróbia foram determinados de acordo com metodologia descrita por APHA (1995).

3.4. Teste em batelada

Os ensaios da produção específica do Biogás em laboratório, sob condições de fermentação controlada foram realizadas de acordo com a norma VDI 4630 (2006). As análises químicas, físicas e biológicas do efluente e do biogás foram realizadas em triplicata. No eudiômetro mediu-se a massa da amostra a ser encaminhada e a massa do inóculo adicionado. O eudiômetro permaneceu em Banho-Maria com temperatura controlada de $37,0 \pm 2,0$ °C durante todo o experimento.

O eudiômetro possui 3 células de medição, compostas por um tubo de ensaio com capacidade de 250 mL e tubo de coleta de gás conectado. O coletor de gás, que é preenchido com líquido de barreira (NaCl, acidificada com ácido cítrico), é conectado a um recipiente de compensação na extremidade inferior. O biogás produzido nos eudiômetros desloca o líquido da barreira do tubo de coleta de gás para o recipiente de compensação, assim sendo possível a leitura da quantidade de biogás. O eudiômetro conta com agitador magnético, o conteúdo do fermentador é misturado durante 10 minutos a um intervalo de 30 minutos. A **Figura 7** apresenta o equipamento utilizado.

Os efluentes analisados foram pesados e em uma proporção de 1:3 para que o inóculo, fornecido pelo laboratório, fosse adicionado, não sendo permitida a utilização de outro inóculo. O inóculo consistem em 50% de biodigestor de bovinocultura e 50% de suinocultura, cultivado em anaerobiose no Labiogás, sob temperatura controlada para manter a atividade microbiana.

Para preservar o inoculante, mantendo uma elevada atividade microbiana, utilizou-se uma variante de celulose (branco) em triplicata. A produção na celulose encontra-se entre 740 e 750 Ln / kg.ST (litros normal / quilograma de massa seca).

A leitura do pH foi realizada por meio de um pHmetro de bancada, modelo PHS-3B, assim que as amostras chegaram no laboratório.

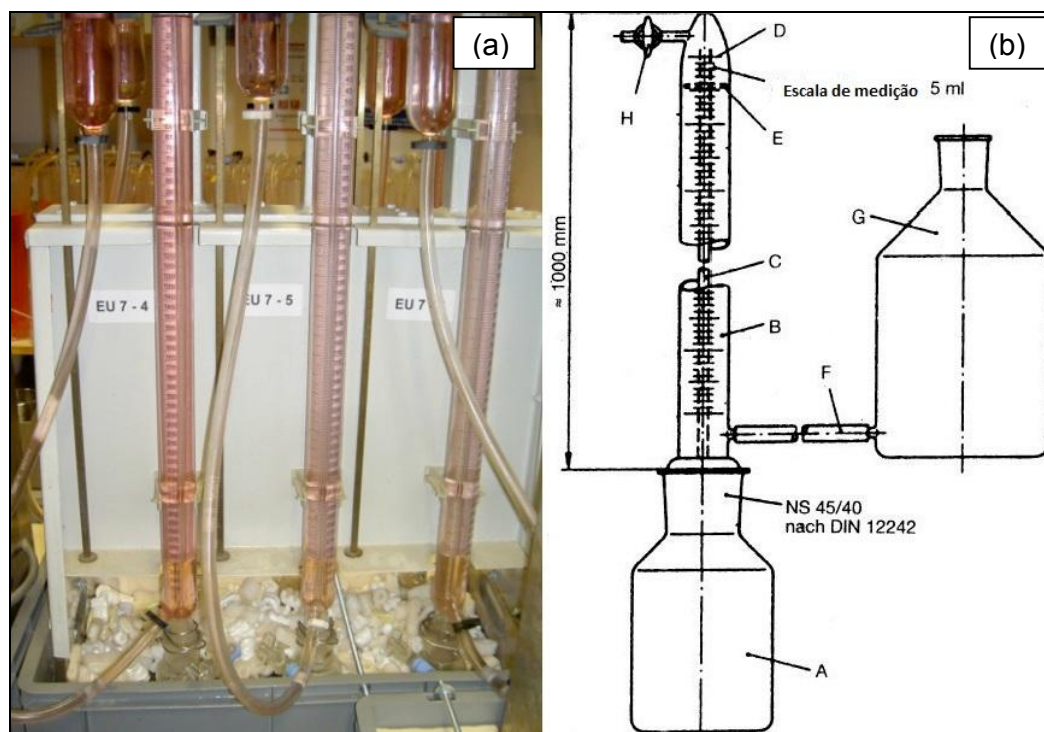


Figura 7: (a) Unidades do eudiômetro; (b) detalhamento do eudiômetro, sendo:

A - Frasco digestor (volume de 250 mL);

B - Tubo do eudiômetro, diâmetro 30 mm, graduação da escala em 5 mL;

C - Tubo de conexão, diâmetro cerca de 6 mm;

D - Marca zero;

E - Separador ou conexão de orifícios entre tubos internos e externos;

F - Conexão de mangueira;

G - Recipiente de nível, capacidade de 750 mL;

H - Válvula de cone unidirecional.

Fonte: Cbiogás, 2014; VDI 4630, 2006.

As análises são concluídas, quando a taxa diária de biogás for menor que 1% do volume total de biogás produzido. Para isto foi necessário 31 dias de tempo de retenção hidráulica.

A quantidade do biogás produzido foi mensurado a partir de escala (mL) do digestor, sua composição em proporção de metano (CH_4), utilizando o analisador portátil de gases “Drager X-am 7000”, o modelo “Multiple Gas Analyzer #2” da GC-SRI Instruments.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O experimento foi conduzido em duas bateladas (B1 e B2) utilizando efluente da mesma propriedade coletado em condições climáticas semelhantes, temperatura entorno de 24° C e sem incidência de chuva no lapso de uma semana, no mesmo horário e dia da semana. No entanto, observou variações nos valores do pH, que pode ser resultado do manejo empregado na higienização das instalações, conforme apresentado na **Tabela 3**.

Tabela 3: Valores de ST, SV e pH por batelada, sendo: T1 - Efluente bruto; T2 – Efluente extrusado líquido; T3 – Efluente extrusado pastoso; e T4 – Branco controle (inóculo)

Parâmetros *(kg kg ⁻¹ substrato)	T1		T2		T3		T4	
	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2
ST*	0,012	0,016	0,004	0,005	0,234	0,362	0,044	0,044
SV*	0,756	0,771	0,689	0,687	0,956	0,931	0,067	0,067
pH	7,90	7,57	7,98	7,36	8,07	7,77	7,95	8,01

Fonte: adaptado de CIBIOGÁS, 2014.

O pH manteve-se com valores próximos, variando entre 7,36 e 8,07, estando parcialmente dentro da faixa aceitável de 6,0 a 8,0 sem prejudicar o processo (KUNZ, 2010), sendo a faixa recomendada para a digestão anaeróbia, de 6,8 a 7,2 (YADVIKA et al., 2004). No entanto, a maravalha pode ter influenciado nos valores obtidos, pois pode ter aportado matéria orgânica seca digerível ao processo de digestão anaeróbia, assim favorecendo o T3, como pode ter absorvido parte dos SV do T2.

O volume de ST teve considerável alteração, em média 1,4%, 0,5% e 30% para T1, T2 e T3 respectivamente e os teores de SV tiveram alteração proporcional ao volume de ST, isto também ocorreu no estudo conduzido por Orrico Júnior et al. (2010) que avaliou a viabilidade técnica de se utilizar a biodigestão anaeróbia no tratamento dos resíduos cama de frangos.

Os valores de SV no T3 são um tanto quanto interessantes do ponto de vista de produção de biogás, mas os valores de ST tornam o processo de biodigestão mais limitado, em virtude da baixa instrumentação dos biodigestores implantados no Brasil. Segundo Vandevivere et al. (2002) resíduos com elevado teor de fibras de

celulose, como é caso da maravalha, se faz necessário biodigestores mais robustos, com multiestágio, agitadores, controle de temperatura, dessulfurização biológica, entre outros instrumentos.

4.1. Rendimento de biogás e metano por SV adicionados

O rendimento de biogás e de metano por SV, apresentado na **Tabela 4**, teve melhor resultado para o T1, sendo mais eficiente em relação ao T3 e ao T2 que apresentou o menor rendimento.

Tabela 4: Valores de rendimento de biogás por ST e ST por batelada

Parâmetros (m ³ kg ⁻¹)	T1		T2		T3		T4	
	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2
Biogás / SV	0,377	0,310	0,228	0,229	0,235	0,234	0,047	0,048
Metano / SV	0,240	0,199	0,145	0,142	0,127	0,125	0,031	0,031
Biogás / ST	23,809	14,479	37,640	30,777	0,959	0,603	0,071	0,072
Metano / ST	15,183	9,304	24,003	19,073	0,518	0,322	0,047	0,046

Fonte: adaptado de CIBIOGÁS, 2014.

A baixa concentração de ST pode ter prejudicado o rendimento do T2. Para Kunz (2011) a quantidade de água a ser utilizada no manejo das instalações representa um fator importante na produção de biogás no biodigestor, pois efluentes extremamente diluídos favorecem o baixo rendimento do biodigestor quanto a produção de biogás.

O rendimento de biogás e de metano por ST foi maior para T2. Este comportamento deve estar associado ao processo de extrusão, que pode ter alterado as propriedades físicas da maravalha, aumentando a disponibilidade de nutrientes para o processo anaeróbico. Para Junqueira e Junior Lucas (2012), uma possível explicação para o baixo rendimento do T3 se dá, pois na fração extrusada (T2), há uma maior proporção de nutrientes solúveis disponíveis do que em relação à fração não extrusada, em que a matéria orgânica (fibras) ocupava a maior parte do volume.

Os valores encontrados na **Tabela 4** se assemelham com de outros pesquisadores, como: Weber et al. (2014) que encontrou rendimento biogás por SV de 0,627 m³ kg⁻¹, já Budiyo (2010) estudando o rendimento de biogás por SV

adicionados a partir de dejetos bovinos, obteve dados que variaram de 0,548 a 0,186 $\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$, tendo o melhor rendimento com 9,2% de ST; Analisando o teor médio de metano produzido a partir de esterco bovino Ismail (2013) obteve rendimento de biogás e metano por SV adicionados de 0,346 e 0,190 $\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$.

4.2. Produção específica diária de biogás

A produção específica diária de biogás e metano por m^3 de biodigestor, é apresentado na **Tabela 5**, observa-se que T1 e T3, apresentaram as maiores produções com 0,284 e 0,224 $\text{m}^3 \text{dia m}^{-3}$, respectivamente. Estudos semelhantes ao T1, foi conduzido por Weber et al. (2014) que encontrou produção específica de biogás diária de 0,171 $\text{m}^3 \cdot \text{dia} \cdot \text{m}^{-3}$.

Tabela 5: Produção específica diária de biogás e metano no biodigestor

Parâmetros ($\text{m}^3 \text{dia m}^{-3}$ biodigestor)	T1		T2		T3		T4	
	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2
Biogás	0,284	0,239	0,157	0,158	0,224	0,218	0,003	0,003
Metano	0,181	0,153	0,100	0,098	0,121	0,116	0,002	0,002

Fonte: adaptado de CIBIOGÁS, 2014.

A **Tabela 6** mostra a média de metano no biogás, onde T1 apresentou o maior valor, 64,01%, e T3 o menor, 53,69%. Ambos os valores estão próximos da faixa encontrada por Mendonça (2009), que estudou o tratamento anaeróbio de dejetos de bovinocultura de leite em biodigestor tubular e encontrou concentração média de metano de 66,46%.

Tabela 6: Porcentagem média de metano por tratamento

Parâmetro	T1	T2	T3	T4
Teor de metano	64,01%	62,87%	53,69%	65,30%

O efluente da bovinocultura é rico em lignina, dificultando a degradação anaeróbia (NIELSEN e AGELIDAKI, 2008), podendo não degradar ou ser muito lenta a ação das bactérias (ANN e WILKIE 2005). Portanto, o alto teor de lignina poderá diminuir a biodegradabilidade do resíduo e, conseqüentemente, o T3 terá menor eficiência na produção de metano.

Os dados da **Tabela 5** e **Tabela 6** estão relacionados com a viabilidade de um biodigestor, pois implicam na dimensão do reator em função do tempo de retenção hidráulica e do volume de efluente. Podendo tornar, ou não, sua construção economicamente viável de acordo com aplicação do biogás.

4.3. Produção máxima de biogás e metano por kg de substrato

Analisando os dados apresentados na **Tabela 7**, o T3 apresenta os melhores indicadores para produção máxima de biogás e metano, podendo produzir até 17,6 vezes mais biogás em relação aos demais tratamentos, chegando a 0,055 e 0,036 m³ kg⁻¹ respectivamente, enquanto os tratamentos T1 e T2 alcançaram 0,003 e 0,002 m³ kg⁻¹.

Tabela 7: Produção máxima de biogás e metano

Parâmetros (m ³ kg ⁻¹ de substrato)	T1		T2		T3		T4	
	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2
Biogás	0,003	0,003	0,003	0,003	0,053	0,055	0,000	0,000
Metano	0,002	0,002	0,002	0,002	0,024	0,036	0,000	0,000

Fonte: adaptado de CIBIOGÁS, 2014.

Segundo Lucas Junior (1987) o dejetto da bovinocultura leiteira produz 0,049 m³ de biogás por kg de dejetto adicionado ao biodigestor. Resultado semelhante foi encontrado por Oliveira (2001) com 0,038 m³ de biogás por kg de dejetto adicionado.

Considerando que o efluente utilizado na literatura não possui maravalha, uma possível explicação para o baixo rendimento do T1 e do T2 é a hipótese de que a maravalha pode ter absorvido parte dos sólidos digeríveis no processo anaeróbio reduzindo o potencial de produção de biogás em aproximadamente 90%.

No T3 o processo de extrusão possivelmente deve ter alterado as propriedades físicas da maravalha, como a redução da granulometria, podendo ser considerado um processo de pré-tratamento, e como apontado por Moody et al. (2011) a maravalha proporcionou um aumento na produções de biogás em relação ao apontado pela literatura.

Segundo Moller et al. (2004), que estudou a produtividade de metano do esterco bovino associado a palha volumétrica utilizada como cama, a produção de

metano é maior e para cada quilo de palha acrescentado por estrume obteve-se um aumento na produtividade de metano em 10%.

Os trabalhos na área indicam que pré-tratamento para resíduo lignocelulósico antes de ser adicionado ao biodigestor, como a exemplo a moagem, pode aumentar a eficiência das atividades dos microorganismos e oferece um grande potencial para produção de biogás (KRATKY e JIROUT, 2011; WANG et al., 2009).

No caso específico da maravalha, não existem estudos da produção de biogás associado ao efluente bovino, mas os dados apresentados na **Tabela 7**, assim como os da literatura correlacionada, indicam que pode ser interessante para a Fazenda Star Milk investir em uma planta de biogás mais instrumentada e aproveitar o potencial máximo de biogás dos seus efluentes.

4.4. Análise de Regressão Múltipla

A regressão linear múltipla obteve R^2 , acima de 0,9978, para as variáveis analisadas, indicando que o modelo desenvolvido ajusta-se com precisão ao comportamento da produção máxima de biogás/kg de substrato observado durante o experimento como pode ser observado na **Tabela 8**, Houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre os tratamentos como pode ser observado na **Tabela 9**. Delimitou-se o modelo de regressão linear múltipla ajustado com as variáveis previamente estabelecidas na **Tabela 10**, pois, as demais variáveis quando inseridas no modelo interferiram negativamente no ajuste do modelo.

Tabela 8: Estatística de regressão

R múltiplo	99,7%
R-Quadrado	99,5%
R-quadrado ajustado	99,4%
Erro padrão	1,886
Observações	24

Tabela 9: ANOVA dos dados experimentais

	gl	SQ	MQ	f	f de significação
Regressão	4	12637,4	3159,355	887,87	0,000
Resíduo	19	67,6	3,558343		
Total	23	12705,0			

Tabela 10: Delineamento da equação

	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores
Interseção	16,499	3,012	5,5	0,000	10,19	22,80
ST	63,256	11,060	5,7	0,000	40,11	86,40
SV	20,485	3,820	5,4	0,000	12,49	28,48
Rendimento biogás /SV	-459,234	51,004	-9,0	0,000	-565,99	-352,48
Prod. específica biogás	485,772	62,389	7,8	0,000	355,19	616,35

Delimitou-se o modelo de regressão linear múltipla ajustado:

Equação: $Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots$

Portanto: $Y = 13,499 + 63,256 \cdot ST + 20,485 \cdot SV - 459,234 \cdot \text{Rend.} + 485,772 \cdot \text{Prod.}$

Por não haver trabalhos científicos com efluente nas características deste estudo, ou seja, dejetos de bovinocultura com maravalha, esta regressão pode dar suporte para outros estudos na predição da produção máxima de biogás.

Também permite que outros pesquisadores compreendam o comportamento da produção máxima de biogás conforme a concentração dos ST e dos SV, influenciadas principalmente pela diluição do efluente.

5. CONCLUSÃO

O processo de separação de sólidos por meio de extrusão pode reduzir em 94% o potencial de produção de biogás por kg de efluente no TRH de 31 dias, tornando o biodigestor menos eficiente do ponto de vista energético. Portanto, o efluente da bovinocultura de leite com teor de ST entorno de 0,5% apresenta resultados pouco satisfatórios para o processo de biodigestão anaeróbia. Com rendimento de 0,003 biogás por kg substrato.

Os dados deste estudo trazem melhor entendimento do baixo rendimento de biogás em efluente que contem alto teor de resíduo lignocelulósico submetido a processo de separação de sólido sem pré-tratamento, em especial a maravalha que é amplamente utilizada em bovinocultura leiteira.

6. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se a realização de estudos voltados a biodegradabilidade deste efluente em diferentes processos de moagem e também com concentrações de sólidos mais próximas, objetivando estimar qual o teor de sólidos em função da granulometria ideal e crítica na produção de biogás.

Para melhor entendimento do modelo de regressão linear múltipla seria interessante conduzir estudos com um maior número de variáveis.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADL, M; SHENG, K; GHARIBI, A. Technical assessment of bioenergy recovery from cotton stalks through anaerobic digestion process and the effects of inexpensive pre-treatments. **Appl Energy**, v. 93, p. 251–60, 2012.

AL-MARSI, M.R. Changes in biogas production due to different ratios of some animal and agricultural wastes. **Bioresource Technology**, v.77, p.97-100, 2001.

ALVAREZ, R; LINDEN, G: Semi-continuous co-digestion of solid slaughterhouse waste, manure, and fruit and vegetable waste. **Renewable Energy**, v. 33, p. 726-734, 2008.

ANN, C; WILKIE, A. C. Anaerobic digestion of dairy manure: design and process consideration. Dairy Manure Management: Treatments, Handling, and Community Relations. **Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service**, v. 176, p. 301-312. 2005.

APHA. **Standard methods for examination of water and wastewater**. American Public Health Association, 19th ed. Washington, DC, 1995. 1134 p.

BERSMANN, A; RAUSCHENBACK, R. H; SUNDMACHER, K. Reactor configurations for biogas plants – a model based analysis. **Chemical Engineering Science**, v. 104, p. 413 – 426, 2013.

BUDIYONO, B. et al. Increasing biogas production rate from cattle manure using rumen fluid as inoculum. **International Journal of Basic & Applied Sciences**, v. 10, p. 68-75. 2010.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG. p. 380, 1997.

CIBIOGÁS – Centro Internacional de Energias Renováveis. **Relatório de monitoramento da UD Star Milk**. Fundação Parque Tecnológico de Itaipu. Foz do Iguaçu. 2013. 24 p.

CIBIOGÁS – Centro Internacional de Energias Renováveis. **Análises físico-químicas dos efluentes da Fazenda Star Milk**. Fundação Parque Tecnológico de Itaipu. Foz do Iguaçu. 2014. 4 p.

EL-MASHAD, H. M. Effect of inoculum addition modes and leachate recirculation on anaerobic digestion of solid cattle manure in an accumulation system. **Biosystems Engineering**, v. 95, n. 2, p. 245-254, 2006.

EMATER – Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural. **Projeto bovinocultura de leite – Resumo executivo**. Curitiba, 2014. 3 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Diagnóstico da pecuária de leite nacional**. Brasília, 2011. 10 p.

HANSEN T. L; SCHMIDT J. E; ANGELIDAKI I; MARCA E; JANSEN J. C; MOSBÆK H; CHRISTENSEN T. H. Method for determination of methane potentials of solid organic waste. **Waste Manag**, v. 24, p. 393-400, 2004.

HILLS, D. J. Methane gas production from dairy manure at high solids concentration. **Transactions of the ASAE**, v. 23, n. 1, p. 122-126, 1980.

IPARDES – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Leituras regionais mesoregião geográfica do oeste do Paraná**. Curitiba, 2003. 14 p.

IPARDES – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Plano mais pecuária**. Curitiba, 2014; 34 p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário**. Rio de Janeiro, 2006.

ISMAIL, M. N. et al. Batch and semi-continuous biogas production from cattle manure. **International Journal of Engineering and Technology**, v. 10, n. 1, p. 16-21, 2013.

ISO 11734. **Water quality - Evaluation of the "ultimate" anaerobic biodegradability of organic compounds in digested sludge - method by measurement of biogas production**. International Standard Organization. Genève, Switzerland. 1995

JUNQUEIRA, J. B; LUCAS JUNIOR, J. Anaerobic digestion of cattle manure confined with and without separation of solid fraction. Energy, biomass and biological residues. **International Conference of Agricultural Engineering**. Valencia. CIGR-AgEng, 2012. 2265 p.

KRATKY, L; JIROUT, T. Biomass size reduction machines for enhancing biogas production. **Chemical Engineering and Technology**, v. 34, p. 391-399, 2011.

KUNZ, A. **Dimensionamento e manejo de biodigestores**. EMBRAPA Suínos e Aves. Foz do Iguaçu, 2010. 11 p.

KOCH, K; DREWES, J. E. Alternative approach to estimate the hydrolysis rate constant of particulate material from batch data. **Applied Energy**, v. 120, p. 11-15, 2014.

LABIOGÁS – Laboratório de biogás. **Manual de coleta de amostras**. Fundação Parque Tecnológico de Itaipu. Foz do Iguaçu. 2012. 43 p.

LUCAS JUNIOR, J; GALBIATTI, J. A; ORTOLANI, A. F. Produção de biogás a partir de estrume de ruminantes e monogástricos com e sem inóculo. **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**, n. 16, p. 65, 1987.

LUCAS JUNIOR, J. **Algumas considerações sobre o uso do estrume de suínos como substrato para três sistemas de biodigestores anaeróbios**. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 1994.

NATZAKE, R. P; BRAY, R. D; EVERETT W. R. Cow preference for free stall surface material. **Journal of Dairy Science**, v. 65, p. 146-153, 1982.

NIELSEN, H. B; ANGELIDAKI, I. Strategies for optimizing recovery of the biogas process following ammonia inhibition. **Bioresour Technol**, v. 99, p. 7995-8001 2008.

MASSE, D. I; DROSTE, R. L. Comprehensive model of anaerobic digestion of swine manure slurry in a sequencing batch reactor. **Water Research**, v. 34, p. 3087–3106, 2000.

MENDONÇA, E. F. **Tratamento anaeróbio dos efluentes oriundos da bovinocultura de leite em biodigestor tubular**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, 2009.

MIRANDA, A. P. **Influência da temperatura e do tempo de retenção hidráulica em biodigestores alimentados com dejetos de bovinos e suínos**. Tese (Mestrado em Zootecnia/Produção Animal) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2005.

MOLLER, H. B; SOMMER, S. G; AHRING, B. K. Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure. **Biomass and Bioenergy**, v. 26, n. 5, p. 485-495. 2004.

OLIVEIRA, A. P. Potencial de produção e utilização de biogás na avicultura comercial. In: ENCONTRO DE AVICULTORES DO ESTADO DE SÃO PAULO, 27. Jornada Técnica, 24. **Anais do Sindicato Rural de Bastos**, p. 16-28, 2001.

ORRICO JÚNIOR, M. A. P; ORRICO, A. C. A; LUCAS JÚNIOR, J. Biodigestão anaeróbia dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaças. **Engenharia Agrícola**, v.30, p.546-554, 2010.

ORRICO JUNIOR, M. A. P. et al. Biodigestão anaeróbia dos dejetos da bovinocultura de corte: influência do período, do genótipo e da dieta. **R. Bras. Zootec.**, v. 41, n. 6, 2012.

PHAM, C. H; TRIOLO, J. M; CU, T. T. T; PEDERSEN, L; SOMMER, S. G. Validation and Recommendation of Methods to Measure Biogas Production Potential of Animal Manure. **Journal of Animal Sciences**, v. 26, p. 864–873, 2013.

PERISSINOTTO, M. et al. Conforto térmico de bovinos leiteiros confinados em clima subtropical e mediterrâneo pela análise de parâmetros fisiológicos utilizando a teoria dos conjuntos fuzzy. **Ciência Rural**, v. 39, n. 5, p. 1492-1498, 2009.

RISBERG, K. et al. Biogas production from wheat straw and manure – Impact of pretreatment and process operating parameters, **Bioresource Technology**, v. 149, p. 232-237, 2013.

SPEECE, R. **Anaerobic Biotechnology and Odor/Corrosion Control for Municipalities and Industries** . Archae Press, Nashville, TN, 2008. 586 p.

THYGESEN, O. et al. Residual biochemical methane potential (BMP) of concentrated digestate from full-scale biogas plants. **Fuel**, v. 132, p. 44-46, 2014.

SIQUEIRA, C. **Proposta sobre o manejo e uso do esterco no sistema intensivo de produção de leite**. EMBRAPA-CNPGL. Juiz de Fora, 1991. 4 p.

WEBER, R. et al. Produção de biogás com relação ao teor de SV dos Dejetos de bovinocultura de leite. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3 n. 1, 2014.

WOODY, B. L. et al. Using Biochemical Methane Potential Assays to Aid in Co-substrate Selection for Co-digestion. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 27, p. 433-439, 2011.

USDA. **Foreign Agricultural Service**. United States Department of Agriculture. 2014. 37 p.

VDI 4630. **Fermentation of Organic Materials**. Characterisation of the Substrates, Sampling, Collection of Material Data, Fermentation Tests. VDI-Handbuch Energietechnik. 2006. 92 p.

VAN HORN, H. H. et al. Components of dairy manure management systems. **Journal of Dairy Science**, v. 77, p. 2008-2030, 1994.

VANDEVIVERE, P; DE BAERE, L; VERSTRAETE, W. Types of Anaerobic Digester for Solid Wastes. In: MATA-ALVAREZ, J. **Biomethanization of the organic fraction municipal waste**. J. Mata-Alvarez (org). Londres, IWA Publishing, 2002, p. 111-137.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 243 p.

XAVIER, C. A. N; LUCAS JUNIOR, J. Parâmetros de dimensionamento para biodigestores batelada operados com dejetos de vacas leiteiras com e sem uso de inóculo. **Eng. Agríc.**, v. 30, 2010.

WANG, G; GAVALA, H. N; SKIADAS, I. V; AHRING, B. K. Wet explosion of wheat straw and codigestion with swine manure: Effect on the methane productivity. **Waste Management**, v. 29, p. 2830-2835, 2009.

YADVIKA, S; SREEKRISHNAN, T. R; KOHLI, S; RANA, V. Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques – a review. **Bioresource Technology**, v. 95, p. 1-10, 2004.