

REVISTA BRASILEIRA DE **ENERGIAS RENOVÁVEIS**

PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS: ANÁLISE DOS TEORES DE SÓLIDOS TOTAIS, VOLÁTEIS E FIXOS EM AMOSTRAS PRÉ E PÓS DIGESTÃO ANAERÓBIA¹

CAMILA HASAN², ANNY KARINY FEITOSA³, MARIA CRISTINA DE ALMEIDA
SILVA⁴, MUNIQUE MARDER⁵ & ODORICO KONRAD⁴

¹Publicado no Ano de 2019;

²Mestranda do Programa de Pós- Graduação em Ambiente e Desenvolvimento na Universidade do Vale do Taquari- UNIVATES, chasan@universo.univates.br;

³Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento na Universidade do Vale do Taquari- UNIVATES;

⁴Doscente da Universidade do Vale do Taquari- UNIVATES;

⁵Graduada em Engenharia Ambiental pela Universidade do Vale do Taquari- UNIVATES.

Resumo

O sétimo objetivo do desenvolvimento sustentável (ODS) trata do acesso às fontes de energia, especialmente as renováveis, com o intuito de assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e com preço acessível à energia para todos. A codigestão anaeróbia de resíduos orgânicos visando a obtenção de biogás para fins de aproveitamento energético é uma alternativa sustentável que pode tratar resíduos e gerar energia de forma acessível. Este estudo analisou a produção de biogás obtida a partir da codigestão de resíduos agroindustriais, relacionada aos teores de sólidos totais (ST), voláteis (SV) e fixos (SF) em amostras pré e pós biodigestão anaeróbia. Foram avaliadas em escala laboratorial 11 amostras compostas por uma mistura de lodos de estações de tratamento de efluentes industriais, sangue e dejetos suínos (DS), variando-se a proporção do dejetos suínos na mistura em uma escala de 0 a 100%, respeitando-se intervalos de 10% entre uma amostra e outra. Os resultados indicaram que a parcela de sólidos fixos foi maior nas amostras que continham os maiores percentuais de DS na mistura, enquanto a parcela de SV foi maior nas amostras com os menores percentuais de

DS. Com relação ao volume de biogás e metano gerados, observou-se a tendência de maior produção de biogás e metano nas amostras com menor volume de DS, em que, consequentemente a quantidade de SV era maior.

Palavras-chave: Energia Renovável, Biomassa, Tratamento Anaeróbio.

BIOGAS PRODUCTION FROM AGROINDUSTRIAL WASTE: ANALYSIS OF TOTAL, VOLATILE AND FIXED SOLIDS CONTENTS IN SAMPLES PRE AND POST DIGESTION ANAEROBIC

Abstract

The seventh objective of sustainable development (OSD) deals with access to energy sources, especially renewables, with a view to ensuring reliable, sustainable, modern and affordable access to energy for all. The anaerobic codigestion of organic waste to obtain biogas for energy use is a sustainable alternative that can treat waste and generate energy in an accessible way. This study analyzed the biogas production obtained from the codigestion of agroindustrial residues, related to the contents of total (TS), volatile (VS) and fixed solids (FS) in samples before and after anaerobic biodigestion. Eleven samples composed of a mixture of sludge from effluent, blood and swine manure (SM) treatment plants were evaluated on a laboratory scale, varying the proportion of swine manure in the mix on a scale of 0 to 100%, respecting 10% intervals from one sample to another. The results indicated that the plot of fixed solids was higher in the samples that contained the higher percentages of SM in the mixture, while the VS plot was higher in the samples with the lowest SM percentages. In relation to the volume of biogas and methane generated, there was a trend of higher production of biogas and methane in the samples with lower SM volume, in which, consequently, the amount of VS was higher.

Keywords: Biomass. Renewable energy. Anaerobic Treatment.

Introdução

Atender às necessidades da economia com menores impactos ao meio ambiente é um dos grandes desafios para o desenvolvimento sustentável. A possibilidade de aproveitamento energético dos resíduos agropecuários e industriais é comprovada por estudos de avaliação já desenvolvidos, a partir da análise da produção de biogás e biofertilizante, por meio da digestão anaeróbia. Esta reação também permite o tratamento destes rejeitos, já que reduz a concentração de matéria orgânica contida nos mesmos. Nas regiões onde a atividade agropecuária é intensa, encontram-se subprodutos oriundos da produção agrícola e pecuária, que podem ser convertidos em fontes energéticas através do biogás (MIYAWAKI, 2014).

O reaproveitamento de resíduos como matéria-prima para a produção de biogás apresenta-se como uma alternativa energética renovável interessante. Esta ação possibilita a criação de fontes de suprimentos descentralizadas e em pequena escala por setores ou indústrias que busquem desenvolvimento sustentável e que apostem em novas tecnologias para o atendimento de suas demandas de energia (BOHN et al., 2014).

A biomassa está entre as fontes de produção de energia com maior potencial de desenvolvimento, sendo considerada uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética. A partir da sua utilização, será proporcionada a diminuição da dependência dos combustíveis fósseis (NETO et al., 2010). O Brasil dispõe de condições climáticas favoráveis para explorar a imensa energia oriunda das biomassas, proporcionando, com isso, a redução de uma significativa parcela de importação de derivados do petróleo (NETO et al., 2010).

O Vale do Taquari, região pertencente ao Estado do Rio Grande do Sul, destaca-se como principal produtor de suínos do Estado, concentrando a criação e o abate, próximos a um milhão de cabeças por ano. Os resíduos oriundos desta produção animal, como os dejetos (fezes e urina), representam número expressivo, indicando grandes quantidades de biomassa gerada, sendo sua reciclagem relevante sob os aspectos econômicos e ambientais (DAL SOLER, 2012).

Recentes avanços na política energética brasileira têm impulsionado a cadeia do biogás que se encontra em processo de consolidação no cenário nacional. Neste contexto, a produção de biogás a partir de dejetos animais pode ser potencializada por meio da digestão conjunta com outros substratos como resíduos orgânicos, culturas energéticas ou subprodutos da industrialização de alimentos (STEINMETZ, 2016). Visando aproveitamento energético e

menores impactos ambientais, tratamentos biológicos são utilizados na redução das cargas orgânicas destes resíduos.

Neste sentido, o teor de sólidos dos substratos é um fator de suma importância a ser considerado, sendo determinante na opção pelo uso da digestão anaeróbia, principalmente quando se busca a eficiência energética, por meio da geração de biogás. Quanto maior a concentração de sólidos voláteis (SV) na biomassa que dá entrada no biodigestor, maior a possibilidade de melhores produções de biogás, com o controle adequado de outros fatores que interferem no processo (OLIVEIRA, 2004). Os SV representam a fração orgânica que pode ser convertida em biogás e, portanto, é desejável que os seus teores sejam elevados. A determinação de SV objetiva identificar a quantidade de matéria biodegradável disponível nos substratos (LABIOGÁS, 2013).

Diante do exposto, este artigo teve como objetivo analisar os teores de sólidos (Sólidos Totais, Sólidos Voláteis e Sólidos Fixos) em amostras pré e pós biodigestão anaeróbia, relacionando-os à produção de biogás oriunda da codigestão de resíduos orgânicos agroindustriais, provenientes de uma cooperativa de alimentos que atua no setor de processamento de carne e leite, no Vale do Taquari. **Materiais e métodos**

Os experimentos práticos para avaliar o comportamento dos substratos orgânicos submetidos à biodigestão anaeróbia e o seu desempenho na geração de biogás, relacionando-se com os Sólidos Totais (ST), Voláteis (SV) e Fixos (SF), foram realizados no Laboratório de Biorreatores da Univates.

Os experimentos de digestão anaeróbia, em escala laboratorial, foram operados em batelada, utilizando reatores de vidro com capacidade de 1000 mL, preenchidos com 600 mL de substratos, combinados com uma parcela de inóculo microbiano. A utilização de um inóculo, em experimentos de digestão anaeróbia, pretende fornecer microrganismos para facilitar e agilizar o processo de bioestabilização do material a ser digerido, visto que este material amplia a densidade microbiana, além de incorporar diversos outros tipos de agentes tamponantes, proporcionando redução significativa do tempo de retenção de sólidos presentes nos substratos digeridos (BARCELOS, 2009).

Os reatores foram mantidos em temperatura mesofílica (35 °C) em uma incubadora bacteriológica adaptada, conectada a um sistema automatizado de medição de biogás, que identifica os volumes diários de biogás gerados em cada reator. Este sistema, descrito por Konrad et al. (2016), baseia-se no deslocamento de um fluido dentro de um tubo em U,

promovido pela entrada de um volume conhecido de gás em seu interior. Este movimento é identificado por um sensor óptico e registrado em uma memória, que baseada na equação dos gases ideais, calcula os volumes de biogás produzidos nos reatores e conduzidos até os tubos para esta aferição, considerando pressão e temperatura do momento. A memória contendo os registros dos dados coletados e calculados pelo sistema é acessada via conexão USB, exportando-se os dados para planilhas de cálculo.

O teor de metano presente no biogás produzido pelas amostras foi avaliado através de um sensor infravermelho específico (Advanced Gasmitter), que detecta o metano na mistura gasosa e apresenta os dados em percentual. As leituras por meio deste sensor foram realizadas três vezes por semana, preferencialmente nas segundas, quartas e sextas-feiras, sendo que para os dias intermediários foi considerada a média entre os valores lidos.

Como critério para a finalização dos experimentos adotou-se o indicado pela norma alemã VDI 4630 (2006), encerrando os experimentos quando o volume diário de biogás produzido nas triplicadas de reatores foi menor que 1% do total acumulado.

Os substratos orgânicos utilizados para os testes propostos caracterizam-se como resíduos provenientes de atividades agroindustriais, relacionadas ao ramo alimentício, de uma Cooperativa do Vale do Taquari.

Considerando que todos os reatores foram preenchidos com 600 mL de substratos, 30% deste volume (180 mL) corresponderam ao inóculo (lodo anaeróbio digerido e preparado para o experimento) e 70% (420 mL) corresponderam à mistura de lodos, sangue e dejetos suíno (DS). Foram preparadas 11 amostras para a análise, considerando a variação do percentual de DS em uma mistura, integrando lodos de estações de tratamento de efluentes de frigoríficos e laticínio, além de sangue animal (suíno e aves). A mistura de lodos e sangue foi preparada considerando o valor percentual que cada resíduo representava no montante mensal gerado pela cooperativa (Tabela 1), simulando o tratamento conjunto destas biomassas residuais via digestão anaeróbia e reconhecendo que a codigestão pode ser mais eficiente do que a digestão de um único substrato.

Tabela 1 – Composição da mistura de substratos residuais que integrou as amostras avaliadas

Composição da Mistura de Substratos*	Percentual	Critério
Lodo Flotado (Frig. de Suínos)	31,95%	Percentual fixo de acordo com a representatividade na geração total destes resíduos.
Lodo Ativado Desidr. (Frig. de Suínos)	0,88%	
Sangue (Frig. de Suínos)	8,42%	
Lodo Flotado (Laticínios)	8,95%	
Lodo Ativado (Laticínios)	8,95%	
Lodo Flotado e Ativado (Frig. de Aves)	30,58%	
Sangue (Frig. de Aves)	10,27%	

*Esta mistura foi preparada em volume suficiente (10L) e de forma mais homogênea possível para ser utilizado em todas as triplicatas. Deste modo o percentual descrito na tabela foi seguido e a variável nos reatores foi o volume em função da maior ou menor participação do dejetos suíno.

A distribuição das triplicatas de experimentos se deu da seguinte forma:

- Amostra 1: 0% de Dejetos Suíno e 100% da Mistura de lodos e sangue (420 mL)
 Amostra 2: 10% de Dejetos Suíno (42 mL) + 90% da Mistura de lodos e sangue (378 mL)
 Amostra 3: 20% de Dejetos Suíno (84 mL) + 80% da Mistura de lodos e sangue (336 mL)
 Amostra 4: 30% de Dejetos Suíno (126 mL) + 70% da Mistura de lodos e sangue (294 mL)
 Amostra 5: 40% de Dejetos Suíno (168 mL) + 60% da Mistura de lodos e sangue (252 mL)
 Amostra 6: 50% de Dejetos Suíno (210 mL) + 50% da Mistura de lodos e sangue (210 mL)
 Amostra 7: 60% de Dejetos Suíno (252 mL) + 40% da Mistura de lodos e sangue (168 mL)
 Amostra 8: 70% de Dejetos Suíno (294 mL) + 30% da Mistura de lodos e sangue (126 mL)
 Amostra 9: 80% de Dejetos Suíno (336 mL) + 20% da Mistura de lodos e sangue (84 mL)
 Amostra 10: 90% de Dejetos Suíno (378 mL) + 10% da Mistura de lodos e sangue (42 mL)
 Amostra 11: 100% de Dejetos Suíno (420 mL) e 0% da Mistura de lodos e sangue

Para a determinação dos sólidos totais, com base na metodologia do *Standard Methods, 2450 Solids - 2450G* para identificação do teor de sólidos totais, voláteis e fixos em amostras sólidas ou semissólidas, as amostras foram postas em cápsulas de porcelana previamente calcinadas por uma hora em forno mufla a 550 °C, esfriadas em dessecador e pesadas. O valor da massa da cápsula mais a amostra foi anotado e na sequência o material foi levado à estufa de secagem, marca SP LABOR, modelo SP-400. Nesta estufa é utilizada a técnica do calor seco, para eliminar o teor de umidade da amostra. As cápsulas com as amostras foram mantidas na estufa sob uma temperatura de 104 °C durante aproximadamente 24 horas. Após esse período, as cápsulas foram mantidas em um dessecador de vidro,

hermeticamente fechado, até atingirem a temperatura ambiente e na sequência foram pesadas, obtendo-se assim, o valor do material seco dado por meio da equação 1 que determina o percentual de sólidos presentes na amostra (APHA, 1999).

$$\text{Sólidos Totais (\%)} = [(A - B) \times 100] / (C - B) \quad (1)$$

Onde:

A: Peso da cápsula pós-estufa

B: Peso da cápsula calcinada

C: Peso da cápsula com amostra

O valor dos sólidos voláteis e fixos foi determinado a partir do material seco obtido na análise dos sólidos totais. O material seco foi encaminhado para um forno do tipo mufla, marca SP LABOR modelo SP-1200, sob a temperatura de 550 °C por aproximadamente 2 horas.

Após este procedimento, as amostras foram novamente esfriadas em dessecador e pesadas. As equações 2 e 3 demonstram os cálculos para determinação dos percentuais de sólidos fixos e voláteis sobre os sólidos totais das amostras.

$$\text{Sólidos Fixos (\%)} = [(D - B) \times 100] / (A - B) \quad (2)$$

Onde:

A: Peso da cápsula pós-estufa

B: Peso da cápsula calcinada

D: Peso da cápsula pós-mufla

$$\text{Sólidos Voláteis (\%)} = [(A - D) \times 100] / (A - B) \quad (3)$$

Onde:

A: Peso da cápsula pós-estufa

B: Peso da cápsula calcinada

D: Peso da cápsula pós-mufla

Resultados e discussão

Os testes de teores de sólidos totais, voláteis e fixos foram realizados a fim de avaliar as características das amostras avaliadas e as condições destas para a geração de biogás. Todas as análises foram realizadas antes e após o período de biodigestão anaeróbia das misturas. A Tabela 2 ilustra os teores de sólidos totais, voláteis e fixos verificados nas amostras submetidas à biodigestão anaeróbia.

Tabela 2 – Avaliação dos Sólidos Totais, Voláteis e Fixos no início e no fim dos experimentos

Amostras	ST		SV		SF	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
	%	%	% ST	% ST	% ST	% ST
0% DS	4,6	1,9	90,7	76,4	9,3	23,6
10% DS	4,4	2,0	88,4	71,2	11,6	28,8
20% DS	4,3	1,9	86,9	69,8	13,1	30,2
30% DS	4,3	2,0	83,8	69,3	16,1	30,7
40% DS	4,2	2,4	82,3	69,2	17,7	30,8
50% DS	4,1	2,5	79,7	66,6	20,3	33,4
60% DS	4,1	3,2	73,0	65,8	27,0	34,2
70% DS	3,9	3,0	75,9	66,0	24,1	34,0
80% DS	4,2	3,2	72,5	65,6	27,4	34,4
90% DS	4,2	3,8	69,8	60,6	30,2	39,3
100% DS	3,9	3,5	66,7	63,8	33,3	36,2

Fonte: Pesquisa aplicada.

*DS: Dejeito Suíno

%ST: Percentual em relação aos sólidos totais da amostra.

Segundo Angelidaki et al. (2009) materiais com teores de SV acima de 80% apresentam perfil de alta biodegradabilidade e podem ser utilizados com grandes chances de sucesso em sistemas anaeróbios. Embora nem todas as amostras tenham sido caracterizadas com teor de SV acima de 80 %, a maior parte delas esteve próxima deste valor.

As Figuras 1, 2 e 3 apresentam o comportamento dos sólidos totais, voláteis e fixos no comparativo entre o início e fim dos experimentos.

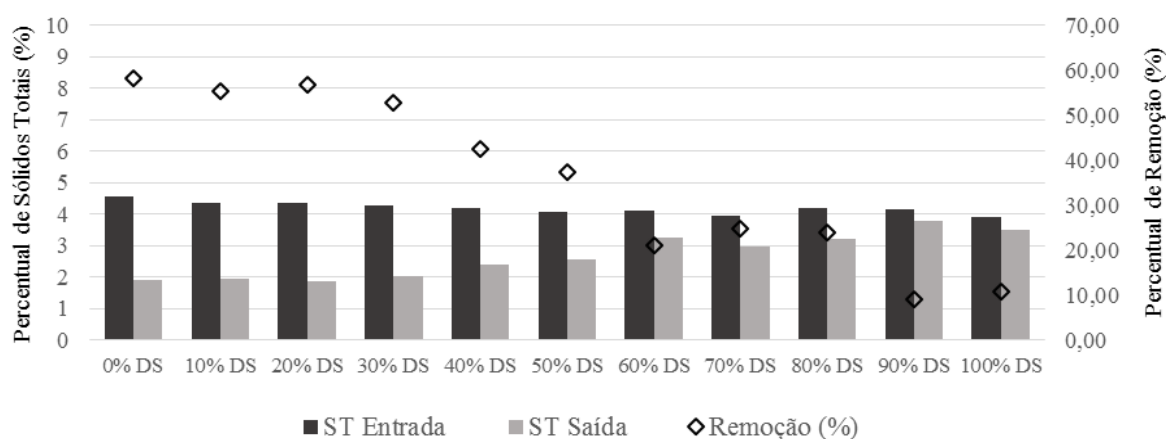


Figura 1 – Comparativo dos Sólidos Totais na entrada e saída do experimento

Fonte: Pesquisa aplicada

*DS: Dejeto Suíno

Nas Figuras 1 e 2 é possível perceber que a remoção dos sólidos voláteis e totais foi maior nas amostras com menores percentuais de dejetos suínos, onde também foram verificadas as maiores concentrações de sólidos voláteis, conforme ilustrado na Figura 2. Os percentuais de remoção dos ST variaram de 9,23% a 58,33%, sendo estes valores correspondentes às misturas de 90% DS e 0% DS, respectivamente. Para os SV, as remoções oscilaram de 14,75% a 65,30%, sendo estes valores respectivos às misturas de 100% DS e 20% DS.

O dejetos suíno é reconhecido pelos elevados teores de nitrogênio e amônia, característicos de sua composição, em virtude do volume de urina excretado pelos animais. Do ponto de vista microbiológico, a presença de agentes inibitórios nos substratos pode interferir na degradação da matéria orgânica em reatores anaeróbios, sendo incluídos neste grupo elevadas concentrações de amônia, sulfatos e metais pesados (CHEN et al., 2016). Acredita-se portanto, que a menor eficiência de degradação dos SV, obtidas pelas amostras com maior participação do DS, possa estar relacionadas à presença de compostos

característicos do dejetos suíno que podem ter influenciado no processo de digestão.

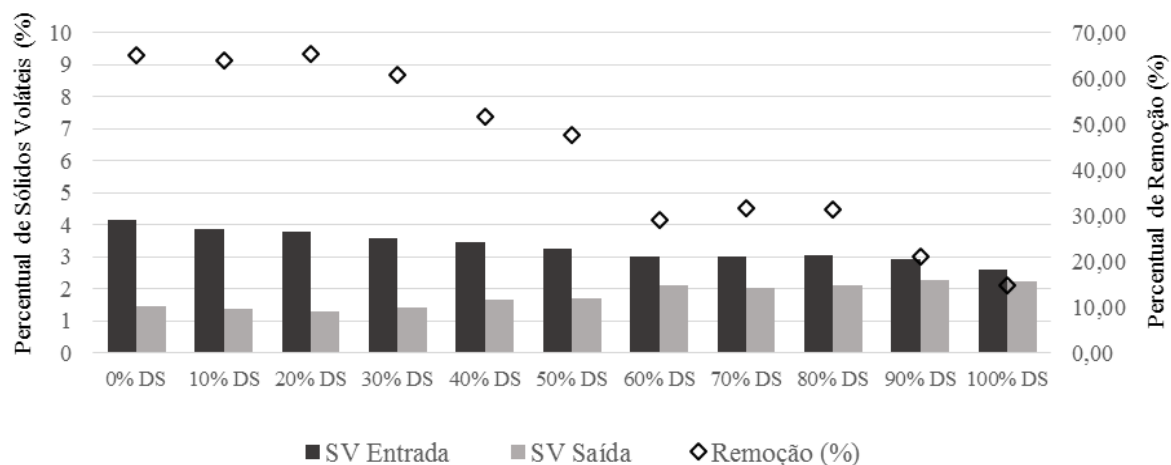


Figura 2 – Comparativo dos Sólidos Voláteis na entrada e saída do experimento

Fonte: Pesquisa aplicada

*DS: Dejetos Suíno

Como pode se observar na Figura 3, a parcela de sólidos fixos foi maior nas amostras que continham os maiores percentuais de dejetos suíno na mistura enquanto que a parcela de sólidos voláteis foi maior nas amostras com os menores percentuais de dejetos suíno, visto que estas continham maior participação da mistura de substratos rica em matéria orgânica, componente característico dos lodos de ETE e sangue animal. Os sólidos fixos referem-se à parcela de material inorgânico presente em uma amostra. No caso dos dejetos suínos, especificamente os oriundos de Unidades Produtoras de Leitões (UPL), sabe-se que as práticas de limpeza das baias, tipicamente construídas em alvenaria, são frequentes o que contribui para o carregamento de partículas sólidas como areia, pedrisco e sujeiras que se incorporam aos dejetos na forma de sólidos fixos.

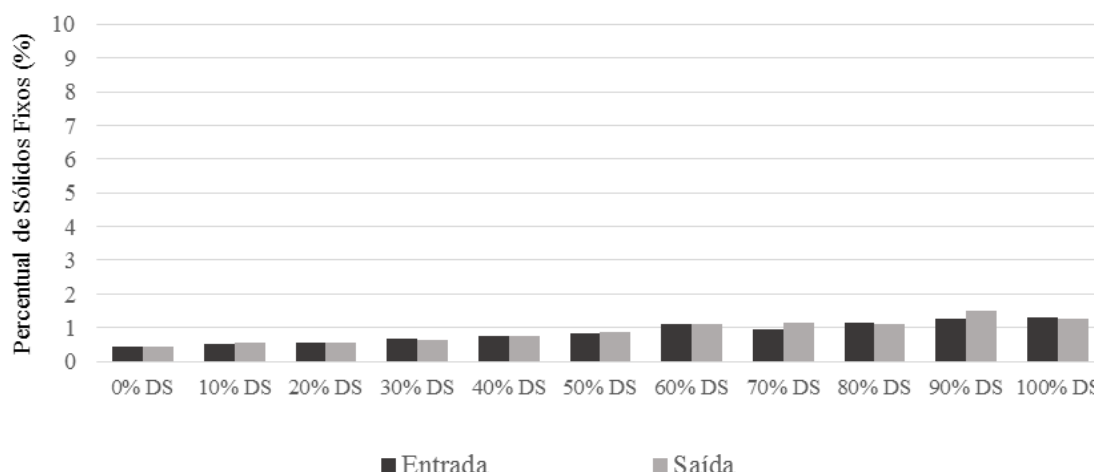


Figura 3 - Comparativo dos Sólidos Fixos na entrada e saída do experimento

Fonte: Pesquisa aplicada

*DS: Dejeito Suíno

A quantidade de sólidos fixos se manteve praticamente estável na entrada e saída do experimento, convergindo para as expectativas, visto que esta parcela de sólidos se relaciona com a matéria inorgânica presente nos substratos que, por meio de um tratamento biológico como o adotado, tem poucas chances de ser alterada ou removida. Deste modo, acredita-se que o pequeno acréscimo de SF verificado nas amostras de 50%, 70% e 90% DS esteja relacionado a homogeneização da amostra no momento da análise, visto que elas não se caracterizavam como amostras totalmente homogêneas.

De modo geral, pode-se dizer que a remoção de sólidos totais em experimentos de biodigestão anaeróbia é uma consequência da remoção dos sólidos voláteis, por meio de sua degradação, visto que os sólidos fixos dificilmente se alteram por relacionarem-se com a parcela inorgânica/mineral do substrato.

Em uma análise que relacione os volumes de biogás e metano gerados com a presença de SV nas misturas, observou-se a seguinte tendência: quanto menor o volume de DS na mistura, maior a quantidade de SV (em massa) e, consequentemente, maiores os volumes de biogás e metano gerados. No entanto, cabe ressaltar que esta avaliação não considera o tempo de detenção hidráulica (TDH) das misturas, sendo que este variou de 27 a 59 dias, sendo os maiores volumes de biogás e metano produzidos pelas amostras que apresentaram os maiores TDH.

A inserção do dejetos suíno nas amostras reduziu a quantidade de SV e o TDH das reações. Os dejetos animais, de modo geral, podem apresentar bastante variação em sua composição, dependendo do sistema de manejo adotado, da alimentação fornecida e da quantidade de água utilizada nas práticas de higienização, sendo este um dos principais problemas associados ao manejo dos dejetos, visto que alto grau de diluição do substrato é ocasionado, principalmente, pela ineficiência no uso da água decorrente de vazamentos e desperdícios ou sistemas de limpeza inadequados (SILVA; FRANÇA; OYAMADA, 2015). O desempenho visualizado nas amostras com maior participação de DS pode, portanto, ser justificado com base na diluição que este substrato promoveu à mistura, reduzindo a massa de sólidos e facilitando a etapa de hidrólise do processo de digestão anaeróbia.

Os resultados apresentados na Tabela 3 expressam a relação entre os volumes de biogás e metano produzidos e a presença de sólidos voláteis presentes nas amostras antes de serem submetidas ao processo de tratamento anaeróbio.

Tabela 3 - Eficiência da geração de biogás e metano por gSV presente nas misturas

Amostra	Metano (mL)	Biogás (mL)	gSV	Metano (mL/gSV)	Biogás (mL/gSV)
0% DS	11.880	17.395	24,8	478,3	700,3
10% DS	13.123	18.765	23,2	565,2	808,1
20% DS	11.931	16.788	22,6	527,5	742,2
30% DS	10.852	15.772	21,5	503,8	732,2
40% DS	8.391	12.523	20,7	405,4	605,0
50% DS	8.183	12.375	19,4	420,9	636,6
60% DS	7.459	11.349	18,0	414,4	630,5
70% DS	5.884	9.014	18,0	326,9	500,8
80% DS	4.274	6.728	18,3	233,5	367,7
90% DS	3.343	5.445	17,5	191,5	311,8
100% DS	1.953	3.374	15,6	124,7	215,4

Fonte: Pesquisa aplicada

A tendência estabelecida indica que, quanto maior a quantidade de sólidos voláteis, maiores os volumes de biogás e metano produzidos (Figura 4).

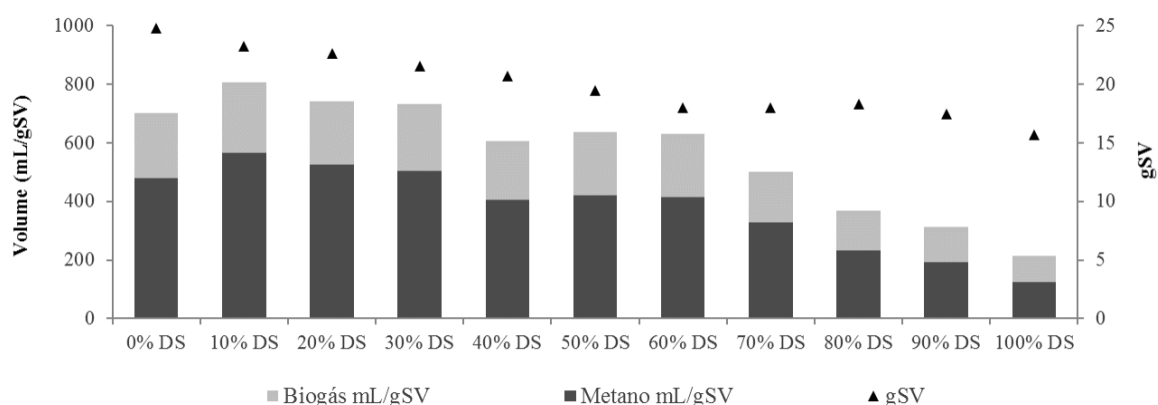


Figura 4 – Produção de biogás e metano relacionada aos SV das amostras
Fonte: Pesquisa aplicada

Lucas Jr. (1994) afirma que os SV são os responsáveis diretos pela produção de biogás e, portanto, quanto maior a quantidade de sólidos voláteis na alimentação de um biodigestor, maior será a capacidade do mesmo em produzir biogás. Karim et al. (2005) em avaliações sobre biogás observaram uma tendência geral que indica que maiores proporções de SV/ST incidem em maiores quantidades de metano. No entanto, a mistura 0% DS, que não recebeu a adição de dejetos suíno, mesmo contendo o maior teor de SV dentre as demais, não foi a que produziu a maior quantidade de biogás e metano por gSV, visto que a melhor eficiência foi obtida na mistura de 10% DS. Wilkie (2003) comenta que o teor de sólidos voláteis pode dar uma estimativa sobre a quantidade de substrato que pode potencialmente ser transformada em metano. Porém é preciso considerar que os sólidos voláteis são constituídos por compostos orgânicos que têm diferentes velocidades de degradação, e isso pode explicar a não ocorrência dos maiores volumes de biogás e metano na amostra que continha a maior quantidade de SV.

Os microrganismos da digestão anaeróbia operam em simbiose, em grupos específicos que são responsáveis por promover cada uma das etapas do processo: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (GUERI; SOUZA; KUCZMAN, 2018). O equilíbrio do processo depende do balanço dos compostos presentes no substrato e da cinética de degradação destes. Na hidrólise, os microrganismos excretam enzimas extracelulares que reduzem polímeros orgânicos complexos em compostos mais simples, convertendo proteínas, carboidratos e lipídios em aminoácidos, açúcares e ácidos graxos, respectivamente, sendo a etapa mais ativa do processo anaeróbio e também responsável pela velocidade global de reação (AMANI; NOSRATI; SREEKRISHNAN, 2010).

Xavier e Lucas Jr. (2010) afirmam que os rendimentos de biogás a partir da digestão anaeróbia podem variar, principalmente em função da qualidade do resíduo adicionado ao biodigestor, do grau de diluição e do tempo de retenção. No entanto, outros fatores também podem contribuir para oscilações nestes rendimentos, como a adição de um substrato complementar (HIDALGO; MARTIN-MARROQUÍN, 2014).

Com base nestas constatações, acredita-se que a maior produção de biogás e metano não ocorreu na mistura com maior teor de SV porque, comparada às demais misturas, esta foi a que concentrou maior carga orgânica (medida pelo teor de SV presente), o que pode ter implicado em maiores obstáculos na fase de hidrólise, onde ocorre a quebra de compostos orgânicos complexos, resultando em um menor rendimento nas produções de biogás e metano nas etapas posteriores da digestão anaeróbia. Cuetos et al. (2010) inferem que a codigestão de resíduos com alta concentração de lipídeos e substratos de elevada concentração de nitrogênio (como os dejetos suínos) reduz os problemas de sobrecarga orgânica, devido à diluição do nitrogênio, ao ajuste da relação C/N e melhoria da biodegradabilidade, pois as características de dois ou mais resíduos podem ser complementares.

4. Conclusões

Por meio deste estudo, foram analisados os teores de sólidos das amostras pré e pós biodigestão anaeróbia, relacionando-os à produção de biogás oriundo da codigestão de resíduos agroindustriais abundantes na região do Vale do Taquari, podendo caracterizar a digestão anaeróbia como uma alternativa de tratamento destes resíduos, além da vantagem da obtenção do biogás como uma fonte de energia renovável.

Com relação ao volume de biogás e metano gerados relacionados à presença de SV nas misturas, observou-se a tendência de maior produção de biogás e metano nas amostras com menor volume de dejetos suínos. Nestas amostras, também se concentraram os maiores teores de SV, relacionados, possivelmente, a compostos gordurosos presentes em maior quantidade devido à menor participação do DS. Uma hipótese que pode explicar o fato da mistura de 0% DS não ter tido o melhor de todos os desempenhos apresentados, pode ter sido a falta do DS, visto que isso pode ter acarretado em maiores obstáculos na fase de hidrólise (quebra dos compostos complexos) coincidindo em um menor rendimento nas produções de

biogás e metano nas etapas posteriores da digestão anaeróbia, em relação às amostras de 10%, 20% e 30%, por exemplo.

Pode-se verificar que a codigestão dos substratos combinados é capaz de superar a eficiência da geração de biogás, quando comparada ao desempenho do dejetos suíno em separado, por exemplo, que é uma biomassa tipicamente empregada como substrato para a geração de biogás, sendo também produzida em maior volume pela cooperativa avaliada. O seu tratamento de forma individual, além de exigir grandes volumes de reatores, não produz a mesma eficiência energética do que quando combinado com outros substratos.

Os dados obtidos podem servir de base para que sejam realizados outros testes com diferentes tipos e percentuais de biomassas residuais, a fim de fomentar o seu uso no incremento e na obtenção de uma fonte alternativa de energia que pode ampliar a participação das energias renováveis na matriz energética brasileira.

Referências

AMANI, T.; NOSRATI, M.; SREEKRISHNAN, T. R. Anaerobic digestion from the viewpoint of microbiological, chemical, and operational aspects - a review. **Environmental Reviews**, n. 18, p. 255-278, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1139/A10-011>

ANGELIDAKI, I.; ALVES, M.; BOLZONELLA, D.; BORZACCONI, L.; CAMPOS, J. L.; GUWY, A. J.; KALYUZHNYI, S.; JENICEK, P.; VAN LIER, J. B. Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays. **Water Science & Technology**, v. 59. n. 5, p. 927-934, 2009. DOI: 10.2166/wst.2009.040

APHA. American Public Health Association. AWWA - American Water Works Association; WEF - Water Environment Federation. (1999) Standard methods for the examination of water and wastewater. 20. ed. Washington (USA), 1999.

BARCELOS, B. R. de. Avaliação de diferentes inóculos na digestão anaeróbia da fração orgânica de resíduos sólidos domésticos. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília - UnB. Faculdade de Tecnologia, 90 p., 2009.

BOHN, C.; SCHIAVON MAIA, D.; NICLEVICZ, R. R.; PEREIRA, N. C.; GIMENES, M. L.; FRARE, L. M. **Impacto econômico da purificação de biogás no processo de geração de energia elétrica em um frigorífico de aves** in: XX COBEQ, Florianópolis: 2014. Disponível em: <https://proceedings.galoa.com.br/cobeq/trabalhos/impacto_economico_da_purificacao_de_biogás_no_processo_de_geracao_de_energia_eletrica_em_um> Acesso em: 20 jan. 2016.

CHEN, G.; LIU, G.; YAN, B.; SHAN, R.; WANG, J.; LI, T.; WU, W. Experimental study of co-digestion of food waste and tall fescue for biogas production. **Renewable Energy**, v. 88, p. 273-279, 2016. **DOI:** 10.1016/j.renene.2015.11.035

CUETOS, M. J.; GÓMEZ X.; MARTÍNEZ, E. J.; FIERRO, J.; OTERO, M. Feasibility of anaerobic co-digestion of poultry blood with maize residues. **Bioresource Technology**, v. 144, p. 513-520, 2013. **DOI:** <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.06.129>

DAL SOLER, A. L. **Levantamento de dados da geração e caracterização de dejetos na suinocultura em fase de creche e terminação**. Trabalho de conclusão de curso. Curso de Engenharia Ambiental, Centro Universitário Univates. Lajeado, 2012.

GUERI, M. V. D.; SOUZA, S. N. M.; KUCZMAN, O. Parâmetros operacionais do processo de digestão anaeróbia de resíduos alimentares: uma revisão. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 3, n. 1, p. 17-25, 2018. **DOI:** [dx.doi.org/10.5380/biofix.v3i1.55837](https://doi.org/10.5380/biofix.v3i1.55837)

HIDALGO, D.; MARTÍN-MARROQUÍN, J.M. Effects of inoculum source and co-digestion strategies on anaerobic digestion of residues generated in the treatment of waste vegetable oils. **Journal of Environmental Management**, v. 142, p. 17-22, 2014. **DOI:** <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.04.004>

KARIM, K.; KLASSON, T. K.; HOFFMANN, R.; DRESCHER, S. R.; DEPAOLI, D. W.; AL-DAHMAN, M.H. Anaerobic Digestion of Animal Waste: Effect of mixing. **Bioresource Technology**, v. 96, n. 14, p. 1607-1612, 2005. **DOI:** <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.12.021>

KONRAD, O.; AKWA, J. V.; KOCH, F. F.; LUMI, M.; TONETTO, J. F. Quantification and characterization of the production of biogas from blends of agro-industrial wastes in a large-scale demonstration plant. **Acta Scientiarum Technology** (Online), v. 38, p. 415-421, 2016. **DOI:** 10.4025/actascitechnol.v38i4.28649

LABIOGÁS. **Documentos internos**. Foz do Iguaçu: CIBiogás - PR, 2013.

LUCAS JÚNIOR, J. **Algumas considerações sobre o uso do estrume de suínos como substrato para três sistemas de biodigestores anaeróbios**. 137 f. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1994.

MIYAWAKI, B. **Purificação de biogás através de cultivo de microalgas em resíduos agroindustriais**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, 2014.

NETO, E. D. D.; ALVARENGA, L. H.; COSTA, L. de M.; NASCIMENTO, P. H.; SILVEIRA, R. Z.; LEITE, L. H. de M. Implementação e avaliação de um biodigestor de produção descontínua. **Revista eletrônica E-xacta**, v. 3, n. 2, p. 1-8, 2010. **DOI:** <http://dx.doi.org/10.18674/exacta.v3i2.296>

OLIVEIRA, P. A. V. de. Produção e aproveitamento do biogás. **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos**: Manual de boas práticas. Concórdia: Gestão Integrada de Ativos Ambientais, 2004.

SILVA, C. M. da; FRANÇA, M. T. de; OYAMADA, G. C. Características da suinocultura e os dejetos causados ao ambiente. **Connectionline** – Revista Eletrônica do UNIVAG, n. 12, p.44-59, 2015. **DOI:** <http://dx.doi.org/10.18312%2F1980-7341.n12.2015.199>

STEINMETZ, R. L. R. **Avaliação do efeito de drogas veterinárias na produção específica de biogás de substratos agropecuários**. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Florianópolis, 2016.

VDI 4630. **Fermentation of organic materials**. Characterization of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests. 92 p. Germany: Verein Deutscher Ingenieure – VDI, 2006.

WILKIE, A. C. **Anaerobic Digestion of Flushed Dairy Manure. Proceedings** - Anaerobic Digester Technology Applications in Animal Agriculture – A National Summit, from the Water Environment Federation. 2003. Disponível em: <<http://www.epa.gov/agstar/pdf/wefjune2003.pdf>>. Acesso em: 27 mai. 2017.

XAVIER, C. DE A. N.; LUCAS JÚNIOR, J. de. Parâmetros de dimensionamento para biodigestores batelada operados com dejetos de vacas leiteiras com e sem uso de inoculo. **Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v. 30, n. 2, p. 212-223, mar./abr. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162010000200003> Acesso em: 27 abr. 2017.