

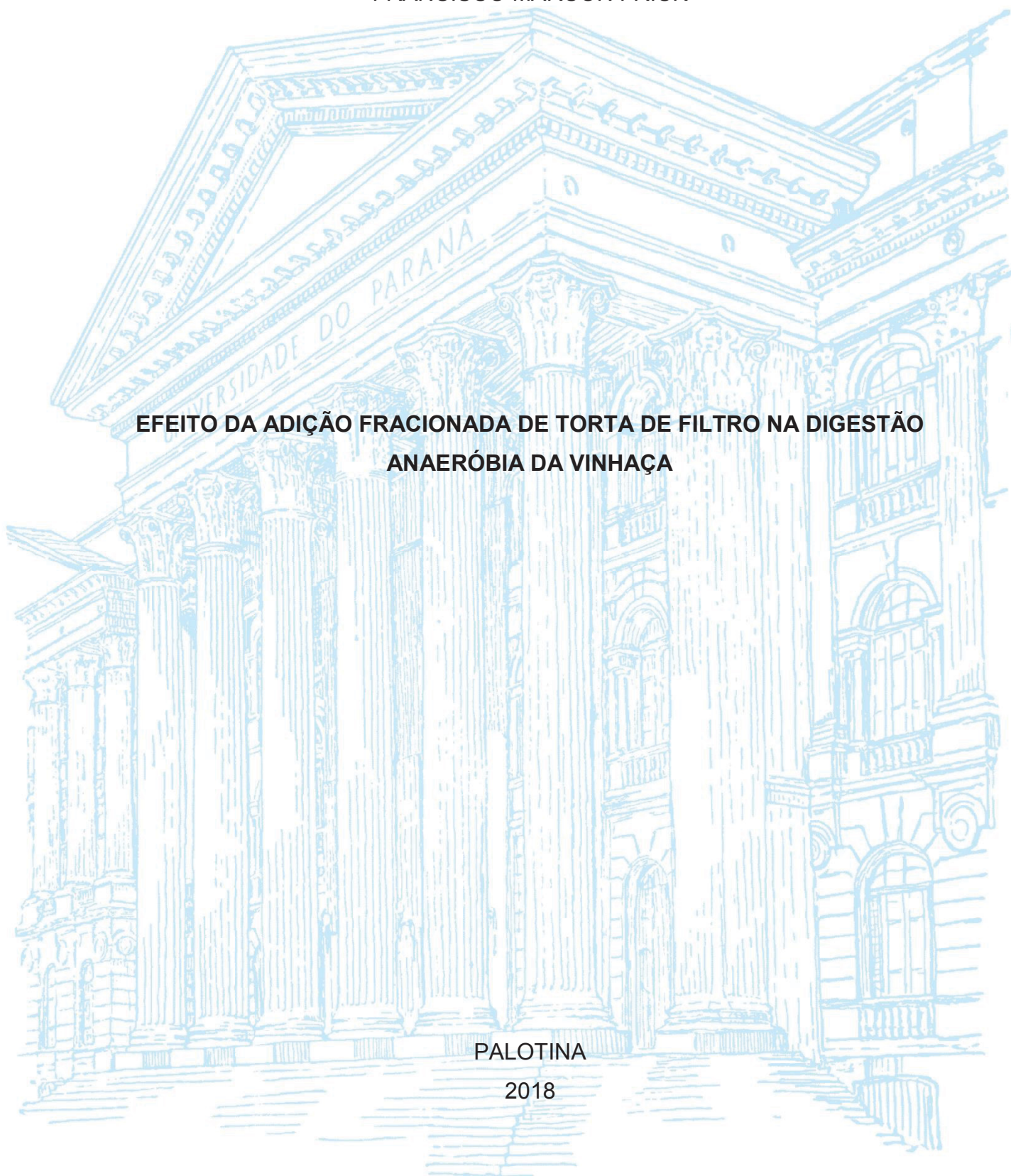
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM BIOENERGIA

FRANCISCO MARCON FRICK

**EFEITO DA ADIÇÃO FRACIONADA DE TORTA DE FILTRO NA DIGESTÃO
ANAERÓBIA DA VINHAÇA**

PALOTINA

2018



FRANCISCO MARCON FRICK

**EFEITO DA ADIÇÃO FRACIONADA DE TORTA DE FILTRO NA DIGESTÃO
ANAERÓBIA DA VINHAÇA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia da Universidade Federal do Paraná – UFPR, Setor de Palotina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Bioenergia.

Orientador: Prof. Dr. Joel Gustavo Teleken.

PALOTINA

2018

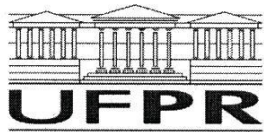
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

F897 Frick, Francisco Marcon
Efeito da adição fracionada de torta de filtro na digestão anaeróbia da vinhaça / Francisco Marcon Frick.
-- Palotina, 2018
43f.

Orientador: Joel Gustavo Teleken
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor Palotina, Programa de Pós-graduação em Bioenergia.

1. Digestão anaeróbia. 2. Vinhaça. 3. Biogás. I. Teleken, Joel Gustavo. II. Universidade Federal do Paraná. III. Título.

CDU 620.91



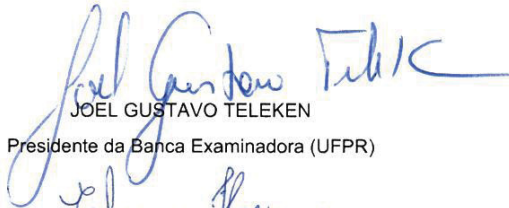
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR PALOTINA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO BIOENERGIA

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em BIOENERGIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **FRANCISCO MARCON FRICK** intitulada: **EFEITO DA ADIÇÃO FRACIONADA DE TORTA DE FILTRO NA DIGESTÃO ANAEROBIA DE VINHAÇA**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua Aprovação no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Palotina, 23 de Março de 2018.


JOEL GUSTAVO TELEKEN
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)


ELIANE HERMES

Avaliador Externo (UFPR)


DILCEMARA CRISTINA ZENATTI

Avaliador Externo (UFPR)

Dedico esta dissertação aos meus pais, Ivonete e Francisco, e irmãos Patricia e Guilherme, além de minha cunhada Naiana, pelo o apoio incondicional nas horas difíceis, a minha esposa, Loriane, pelo apoio e incentivo na realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Joel, pela paciência, orientação e auxílio para que fosse possível a realização e principalmente a finalização deste trabalho.

A professora Marilia Sfredo, Instituto Federal do Rio Grande do Sul, pelo apoio na realização do experimento e empréstimo de materiais e laboratório.

Ao químico Condurme Aizzo e a Usina Jacarezinho, pela cedência de amostras para a realização deste trabalho.

Aos colegas e amigos de mestrado em Bioenergia, pelas dicas, orientações, ajudas, trocas de informações e companheirismo durante todo o curso.

Ao técnico de laboratório Thompsom, pela ajuda, correções e apoio técnico na realização do trabalho, também ao doutorando Paulo Cremonez, pelas dicas.

A nossa maior glória, não reside no fato de nunca cairmos, mas sim em levantarmos sempre depois de cada queda.

Oliver Goldsmith

RESUMO

A indústria do etanol possui um importante papel na economia brasileira, principalmente por ser uma alternativa ao uso de combustíveis fósseis e ser ambientalmente renovável. No processo de obtenção do etanol a partir da cana-de-açúcar, são gerados diversos resíduos, entre eles o bagaço, que normalmente é utilizado na queima de caldeiras e obtenção de energia, a vinhaça e a torta de filtro, utilizados principalmente na fertirrigação e correção de solos. O estudo objetiva demonstrar a capacidade de dois destes resíduos em diferentes concentrações formar biogás pelo processo de biodigestão anaeróbia. Constatou-se que a toxicidade encontrada nos substratos, bem como o baixo pH nos tratamentos, influencia diretamente nos resultados encontrados, sendo uma baixa obtenção de biogás em relação a outros tipos de substratos. Além disto, a relação AV/AT demonstra a necessidade de uma correção prévia da acidez para melhores resultados, pois sem tal tratamento, o sistema entra em colapso nas primeiras 72 horas, o que evita a formação de alguns grupos microbianos e conseqüentemente, após este período formação do biogás, embora a taxa de metano em relação ao dióxido de carbono, é satisfatória, ficando acima de 80% em todos os tratamentos propostos.

Palavras chave: Digestão Anaeróbia. Vinhaça. Biogás.

ABSTRACT

The ethanol industry has an important role in the Brazilian economy, mainly because it is an alternative to the use of fossil fuels and to be environmentally renewable. In the process of obtaining ethanol from sugarcane, several residues are generated, among them bagasse, which is normally used in burning boilers and obtaining energy, vinasse and filter cake, used mainly in fertigation and soil correction. The objective of this study was to demonstrate the ability of two of these residues in different concentrations to form biogas by the anaerobic biodigestion process. It is reported that the toxicity found in the substrates, as well as the low pH in the treatments, directly influence the results found, being a low biogas gain in relation to other types of substrates. In addition, the VA / TA ratio demonstrates the need for a previous correction of the acidity for better results, because without such treatment, the system collapses in the first 72 hours, which prevents the formation of some microbial groups and consequently, after this biogas formation period, although the methane rate in relation to carbon dioxide, is satisfactory, being above 80% in all proposed treatments.

Key words: Anaerobic digestion. Vinasse. Environment. Methane.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	– FLUXOGRAMA DA PRODUÇÃO DE ETANOL.....	13
FIGURA 2	– FILTRO ROTATIVO	17
FIGURA 3	– SEQUÊNCIAS METABÓLICAS E GRUPOS MICROBIANOS ENVOVIDOS NA DIGESTÃO ANAERÓBIA.....	19
FIGURA 4	– ESQUEMA CONSTRUTIVO DOS BIODIGESTORES E GASÔMETRO.	25
FIGURA 5	– SISTEMA EM OPERAÇÃO	26
FIGURA 6	– PARÂMETROS ANALISADOS NA COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS.....	28
FIGURA 7	– PERCENTUAL DE METANO E DIÓXIDO DE CARBONO GERADOS	30
FIGURA 8	– VOLUME DE CH ₄ (dm ³) GERADO	31
FIGURA 9	– NH ₃ E H ₂ S OBTIDO (mg.L ⁻¹)	33

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	– VINHAÇA	16
TABELA 2	– CARACTERÍSTICAS DA TORTA DE FILTRO	18
TABELA 3	– COMPOSIÇÃO BÁSICA DO BIOGÁS.....	21
TABELA 4	– COMPOSIÇÕES DOS TRATAMENTOS.....	24
TABELA 5	– MÉTODOS ANALÍTICOS EMPREGADOS	27
TABELA 6	– VOLUME DE BIOGÁS E METANO GERADO (dm ³)	29
TABELA 7	– RESULTADOS OBTIDOS SÓLIDOS	31
TABELA 8	– REMOÇÃO DOS SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS	32
TABELA 9	– RELAÇÃO DE REMOÇÃO DOS SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS COM PRODUÇÃO DE METANO	32
TABELA 10	– RESULTADOS OBTIDOS ANÁLISE GASOSA.....	34
TABELA 11	– RESULTADOS OBTIDOS DE PH, ACIDEZ E ALCALINIDADE	34
TABELA 12	– RESULTADOS OBTIDOS DE DQO APÓS O TRATAMENTO	35

LISTA DE SIGLAS

C	–	Carbono
CV	–	Coeficiente de variação
F	–	Estatística do teste F
CH ₄	–	Metano
CO ₂	–	Dióxido de Carbono
°C	–	Graus Celsius
K	–	Kelvin
Kcal	–	Quilocaloria
L	–	Litro
m	–	Metro
mg	–	Miligrama
mL	–	Mililitro
mm	–	Milimetro
N	–	Nitrogênio
Mg	–	Magnésio
P	–	Pressão
Atm	–	Atmosfera
pH	–	Potencial Hidrogeniônico
ppm	–	Parte Por Milhão
T	–	Temperatura
V	–	Volume
%	–	Porcentagem
GEE	–	Gases de Efeito Estufa
Conab	–	Companhia Nacional de Abastecimento
LPB	–	Laboratório de Produção de Biocombustíveis
ST	–	Sólidos Totais
STV	–	Sólidos Totais Voláteis
STF	–	Sólidos Totais Fixos
TC	–	Tempo de Ciclo
DQO	–	Demanda Química de Oxigênio

- DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
- Copersucar – Cooperativa de Produtores de Cana, Açúcar e Etanol do Estado de São Paulo
- kW – Quilowatt
- kJ – Quilojoule

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	OBJETIVOS	10
2.1	OBJETIVO GERAL	10
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
3.1	PANORAMA DA PRODUÇÃO DE CANA DE AÇÚCAR E ETANOL	11
3.2	PROCESSO DE PRODUÇÃO DO ETANOL	11
3.3	RESÍDUOS GERADOS NO PROCESSO DE PRODUÇÃO: VINHAÇA E TORTA DE FILTRO	15
3.4	DIGESTÃO ANAERÓBIA E PRODUÇÃO DE BIOGÁS	18
4	MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1	LOCAL DO EXPERIMENTO	23
4.2	INÓCULO	23
4.3	SUBSTRATOS PARA A DIGESTÃO ANAERÓBIA	23
4.4	BIODIGESTORES E GASÔMETROS EM ESCALA LABORATORIAL	24
4.5	PARÂMETROS ANALISADOS	27
4.6	CARACTERIZAÇÃO DO BIOGÁS	27
4.7	ANALISE ESTATÍSTICA	28
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
	REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

A industrialização trouxe uma série de melhorias na qualidade de vida da população, melhoria esta que carrega consigo um significativo aumento do consumo, gerando um maior passivo em relação ao meio ambiente. A quantidade de resíduos gerados e a carga orgânica emitida pelo crescimento populacional, são capazes de causar impactos ambientais significantes, como a contaminação hídrica, chegando a atmosférica e no também no solo. Com isto, tornam-se necessário tratamentos eficazes destes resíduos e efluentes, buscando reduzir sua carga orgânica para que haja mitigação do impacto e destinação final controlada e apropriada (BALDACIN e PINTO, 2015).

Moraes et al. (2014), afirmam que o Brasil ocupa uma privilegiada posição na fabricação de biocombustíveis, principalmente se levarmos em consideração a produção de etanol a partir da cana de açúcar, uma matéria-prima renovável com produtividade relativamente elevada em relação a outras matérias-primas para biocombustíveis.

No entanto, o processo de produção deste biocombustível gera grandes quantidades de resíduos e efluentes, onde o de maior volume a vinhaça, pode constituir um problema ambiental grave, dependendo na forma em que se encontra disposta, além da cadeia produtiva produzir outros gases como, como o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O), principalmente na área rural pela utilização de combustíveis fósseis em tratores e caminhões (SOARES et al, 2009).

Segundo Mota, Santos e Amaral (2013), na geração do etanol é produzido como subproduto a vinhaça, com características que incluem pH ácido, altos níveis de matéria orgânica, potássio e sulfato. Seu grande volume produzido, associado com o seu elevado teor de matéria orgânica biodegradável, indicam que a vinhaça pode ser uma fonte potencial de energia por meio da digestão anaeróbica e recuperação de biogás, porém existem alguns limitantes no sistema como a acidez, e o sulfeto. A vinhaça, quando em meios anaeróbios como em lagoas de tratamento e em condições adequadas, produz biogás, cujo principal componente energético é o metano. Com isto, realizaram-se estudos para melhorar o entendimento deste mecanismo.

A torta de filtro é um subproduto gerado na produção do etanol que pode ser utilizado na geração de biogás elevando seu valor agregado. É obtida no processo de

clarificação do caldo a partir do filtro rotativo e são gerados cerca de 30 kg a 40 kg de torta por tonelada de cana moída, tendo sua disposição direta na lavoura ou em processos de compostagem. A torta de filtro, é produzida de forma contínua, rica em cálcio, nitrogênio e potássio, tendo variáveis composições dependendo de sua maturação e variedade da cana (HENRIQUES SANTOS et al., 2010).

A elevada expansão da indústria sucroenergética e conseqüentemente destes subprodutos citados, em especial os que tem como a principal destinação na fertirrigação (como é o caso da vinhaça e da torta de filtro rotativo), são objetos de estudos pois podem ser fontes de receita para a indústria além de terem seu aproveitamento potencializado. Neste contexto, a biodigestão surge como uma alternativa pela formação de biocombustível para a posterior geração de energia e potencialização do biofertilizante resultante.

Deganutti et al. (2002), em seu estudo, citam que a produção de metano é uma das opções de produção de energia que apresentam baixo custo e com resultados favoráveis, e vem sendo difundido em vários países, inclusive com avanços no Brasil. Este processo contribui para a economia do consumo de petróleo, por ser um gás de fontes alternativas e renováveis. Além disto, há um considerável ganho ambiental na sua obtenção, pois em seu processo o resíduo gerado é um biofertilizante com matéria orgânica e nutrientes, que quando aplicado aumenta a produtividade e fertilidade face ao seu baixo custo de obtenção.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o processo de produção do metano por digestão anaeróbia empregando como substratos misturas de vinhaça e torta do filtro rotativo, provenientes de usina sucroenergética.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar a produção do biogás nos diferentes tratamentos propostos.
- Verificar o teor de CH₄ no biogás obtido, e sua relação com sólidos totais, voláteis, além da influência da alcalinidade e acidez na sua produção.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PANORAMA DA PRODUÇÃO DE CANA DE AÇÚCAR E ETANOL

De acordo com o terceiro levantamento da safra 2017/18, realizado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a produção de cana-de-açúcar estimada era de 635,59 milhões de toneladas, um decréscimo de 3,3% em relação à safra anterior. A produção de etanol deve se manter acima de 27,5 bilhões de litros, sendo que destes 11,49 bilhões de litros são de etanol anidro, impulsionados pelo aumento do consumo da gasolina em relação ao etanol hidratado (CONAB, 2017).

Dentre as regiões no território brasileiro, a região sul na qual está incluso o Paraná, é a quarta maior produtora de cana de açúcar do Brasil, apresentando o maior percentual de aumento da área cultivada. O Paraná, no ano de 2015, colheu a cana bisada (cana colhida com atraso de um ano) e teve como aspectos positivos o clima favorável a cultura, que deram grande avanço na produtividade nesta região (CONAB, 2016).

3.2 PROCESSO DE PRODUÇÃO DO ETANOL

Muitos fatores interferem na produtividade e qualidade da cana de açúcar, sendo os principais: condições climáticas, propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo, da variedade e tipo de cultivo, da idade e estágio de maturação, estado sanitário entre outros (COPERSUCAR, 1987).

Em sua composição, a cana de açúcar em média é composta de 70 a 75% de água, 13 a 15% de sacarose e 10 a 15% de fibras (SINGH et al., 2015). O caldo, que é a composição da cana menos a fibra, é constituído de água (cerca de 82%) e o restante de sólidos solúveis, sendo definido como uma solução impura e diluída de sacarose, glicose e frutose. Os compostos orgânicos não fermentescíveis, são constituídos de substâncias nitrogenadas, gorduras, ceras, pectinas, ácidos e de matérias corantes (clorofila, sacaretina e antocianina). As substâncias inorgânicas, tem como componentes a sílica, potássio, fósforo, cálcio, sódio, magnésio, enxofre, ferro e alumínio, estes importantes para o processo fermentativo, pois são necessários na nutrição das leveduras (COPERSUCAR, 1987).

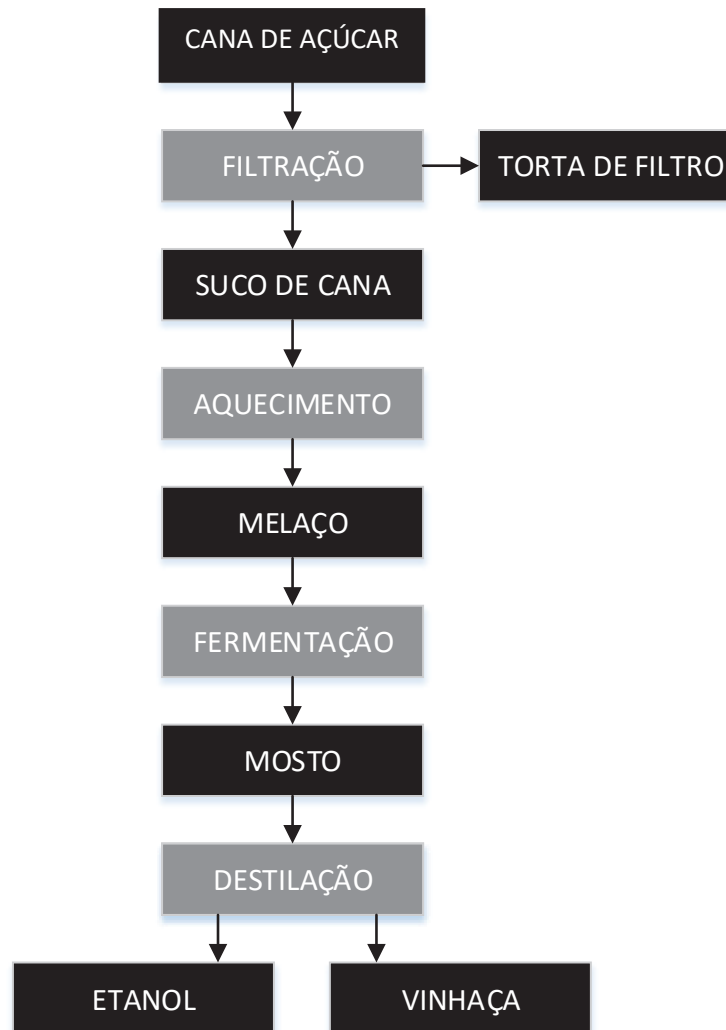
A produção da cana-de-açúcar, se dá entre os meses de abril e dezembro, pois o frio e a seca aumentam a quantidade de açúcar composta na cana-de-açúcar, caso não ocorra isto, a própria planta acaba consumindo o açúcar, diminuindo assim sua produtividade (CHIEPPE JUNIOR, 2012).

Hugot (1977) e Chieppe Junior (2012), descrevem o processo de transformação da cana de açúcar em uma usina como tendo seu início na recepção e descarregamento da cana-de-açúcar, onde o produto chega do campo, passa por um sistema de pesagem tipo balança onde é pesada e calculada a densidade da carga. Esta densidade serve para o cálculo da alimentação da mesa em volume constante e conseqüentemente o fluxo de alimentação da moenda. No sistema contínuo, este monitoramento de alimentação é de fundamental importância para a continuidade do processo.

Este sincronismo entre o corte, o transporte até a usina e a moagem, é de suma importância visto que a cana é uma matéria prima de fácil deterioração e contaminação (CHIEPPE JUNIOR, 2012).

Christofoletti et al. (2013), expõe o seguinte fluxo produtivo na produção de etanol, ilustrado na FIGURA 1.

FIGURA 1 – FLUXOGRAMA DA PRODUÇÃO DO ETANOL



FONTE: adaptado de CHRISTOFOLETTI et al. (2013).

Segundo Hugot (1977), na mesa, a cana é lavada para retirada das impurezas que são trazidas junto com a matéria prima do campo, como a areia, outros vegetais e demais contaminantes que podem estar misturados a cana de açúcar. O autor sugere que a densidade média das cargas de cana que alimentam as usinas fiquem na base de 200 kg de cana cortada por m³ no transportador, podendo este número chegar a 400 kg.m⁻³.

No processo seguinte, a cana-de-açúcar é transportada por uma mesa (esteira) e passa por navalhas que tem a tarefa de picar a cana a tornando homogênea, para assim alimentar os rolos de moenda (no setor de esmagamento ou moenda). Neste processo (picador), as células da cana são preparadas em um processo seco, sem a perda de caldo (CHIEPPE JUNIOR, 2012). A moenda, normalmente é composta por 5 a 6 ternos, e para cada terno são necessários 4 rolos

com diferentes dimensões, rotações e velocidades (HUGOT, 1977). Neste processo, há a retirada do caldo (parte líquida), do bagaço (parte sólida), o caldo vai para o tratamento de caldo e o bagaço normalmente para a queima na caldeira (CHIEPPE JUNIOR, 2012).

O bagaço, além de ser rico em celulose, podendo ser utilizado na produção de celulose, chapas de aglomerados e ração animal, é utilizado para a geração de energia por queima na caldeira (CHIEPPE JUNIOR, 2012).

Após sua extração, o caldo é tratado, devendo inicialmente ser ajustado o pH em um processo pelo qual é utilizado principalmente o Óxido de Cálcio - CaO, que, ainda de acordo com Hugot (1977), o processo de calagem desde o início da usina é utilizado como purificador por meio de uma precipitação e formação de substâncias insolúveis, como o fosfato ácido de cálcio, que em presença de polímeros é facilmente decantado. O óxido de cálcio é misturado ao caldo da usina por meio do “leite de cal”, obtida com a mistura da cal química diluída em água.

Encerrado o pré tratamento, segundo Chieppe Junior (2012) o caldo é aquecido a 105°C, passa por um processo de decantação e, de acordo com Hugot (1977), é peneirado para retirada de sólidos indesejáveis e não fermentescíveis e após, enviado para a destilaria onde ocorrerão os processos de fermentação e destilação para obtenção do etanol.

O processo fermentativo é realizado com a aplicação de microrganismos em equipamentos chamados de dornas, podendo ser conduzida de maneira contínua ou descontínua. Estes microrganismos são chamados de fermento, células de levedura, pé de cuba ou levedo alcoólico (COPERSUCAR, 1987). O processo fermentativo é onde ocorrem as transformações de açúcares em álcool. Este processo dura aproximadamente 50 horas (CHIEPPE JUNIOR, 2012).

Segundo a COPERSUCAR (1987), o volume total de dornas deve ser suficiente para atender a máxima produção de álcool projetada. Após o processo fermentativo, o vinho resultante possui células de levedura em suspensão, que devem ser recuperadas para os próximos processos fermentativos, com isto, é necessário passar por um equipamento centrífugo que faz a separação entre o vinho, que é enviado a destilaria, e a levedura que retorna a cuba.

Ainda segundo o manual da COPERSUCAR (1987), o vinho é enviado a destilaria passa por um processo de destilação em colunas para então ser obtido o etanol com maior pureza.

A obtenção deste, é baseada na diferença de pontos de ebulição dos diversos componentes do vinho. Na composição do vinho, há cerca de 7% de etanol, que é separada da parte aquosa denominada vinhaça (CHIEPPE JUNIOR, 2012). O etanol é destilado até a cabeça da coluna chegando a um grau de pureza aproximado de 92%, enquanto a vinhaça fica retida na base da coluna.

De acordo com o balanço de massa realizado na usina onde foram coletadas as amostras para realização do estudo, e também pelos estudos de Chieppe Junior (2012), a proporção de vinhaça gerada na produção de etanol, é de aproximadamente de 13 a 15/1, isto é, a cada 1 m³ de etanol gera-se de 13 a 15 m³ de vinhaça.

3.3 RESÍDUOS GERADOS NO PROCESSO DE PRODUÇÃO: VINHAÇA E TORTA DE FILTRO

Segundo a portaria do Ministério de Estado do Interior, nº 323, de 29 de novembro de 1978, que reza sobre Tratamento de Resíduos de Água e Álcool, Energia Combustível, a vinhaça possui efeitos danosos como poluente e fica proibido, a partir da safra de 1979/80, seu lançamento direto ou indireto em qualquer corpo hídrico.

Embora seja um poluente com alta carga orgânica, a vinhaça é utilizada largamente como fertilizante ou corretivo de solo. Para que isto ocorra, deve-se obrigatoriamente passar por um processo de tratamento, visto que sua disposição em solo direta também é proibida (SALOMON, 2007).

De acordo com Rebelato et al. (2013), a vinhaça é riquíssima em matéria orgânica (variando de 20000 a 35000 mg/l) e apresenta pH ácido, na faixa de 5 a 5,5, o que representa elevado risco potencial de contaminação, tanto do solo como de qualquer tipo de manancial, seja superficial ou subterrâneo.

Para Mota, Santos e Amaral (2013), para cada litro de etanol fabricado, são gerados 15 litros de vinhaça, que, por terem grandes cargas orgânicas, possuem potencial energético e podem ser aproveitadas para produção de metano, gerando receita extra as usinas com a produção de energia elétrica. Já Chieppe Junior (2012), como falado no tópico anterior, considera a geração de 13 litros de vinhaça por litro de etanol fabricado.

Segundo Soto, Basso e Kiang (2017), em geral, este efluente apresenta elevada turbidez e composição química variável, consiste basicamente de matéria orgânica na forma de ácidos orgânicos, potássio, cálcio e magnésio, também de sais

de sulfato, cloreto, fosfato e nitrato, e em menores concentrações metais, tendo o pH normalmente ácido, altos tores de DQO (Demanda Química de Oxigênio) e DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), em decorrência da matéria orgânica elevada e elevada condutividade elétrica.

Na TABELA 1, verifica-se a composição básica da vinhaça gerada em uma usina localizada no Oeste do Paraná analisada em 2015 pela Bioagri Ambiental.

TABELA 1 – VINHAÇA

Parâmetro	Composição (mg.l ⁻¹)
Sulfato	626
Nitrogênio	12
DBO	23400
DQO	33100

FONTE: Usina Jacarezinho (Grupo Maringá) (2015).

O caldo após o pré tratamento, é decantado e filtrado. Esta filtração é realizada normalmente em peneiras estáticas e o caldo é enviado a destilaria no tanque de recepção, também denominado de “pulmão” onde passa por aquecedores e após vai para o processo fermentativo. Enquanto que, o decantado resultante do processo, passa por uma peneira rotativa (FIGURA 2) na qual as partes solúveis contidas nesta mistura, diluem-se em água e retornam ao processo. A parte não solubilizada fica depositada na peneira e esta massa é denominada de torta de filtro (CHIEPPE JUNIOR, 2012).

FIGURA 2 – FILTRO ROTATIVO



Fonte: JEMP Equipamentos Industriais (www.jemp.com.br) (2017).

De acordo com Rosa e Martins (2013), a torta resultante do filtro rotativo, pode ser incorporada a mistura da vinhaça tendo ganho de biomassa, e conseqüentemente, pode ser aproveitada para geração de metano. Um dos fatores que devem ser avaliados em sua utilização, é a quantidade de sólidos constantes nesta mistura, que podem interferir no resultado e impedir o bom funcionamento dos biodigestores.

Segundo Leite et al. (2015), os dados relativos a torta de filtro, dependem do processo utilizado. Estes dados variam drasticamente como resultado de diferenças na composição da cana-de-açúcar e nas condições aplicadas em processos da destilação do etanol.

A composição básica da torta retirada no filtro rotativo após os decantadores, retirada de uma indústria sucroenergética na mesma empresa, é demonstrada na TABELA 2.

TABELA 2 – CARACTERÍSTICAS DA TORTA DE FILTRO

Característica		
Parâmetro	Composição	Laboratório
Sólidos	32,9%	Bioagri Ambiental Ltda.
Umidade	67,1%	Bioagri Ambiental Ltda.
Carbono Orgânico Total	11,6%	Bioagri Ambiental Ltda.
Poder Calorífico Inferior	2060 kcal kg ⁻¹	Bioagri Ambiental Ltda.
Poder Calorífico Superior	2230 kcal kg ⁻¹	Bioagri Ambiental Ltda.

FONTE: Usina Jacarezinho (Grupo Maringá) (2015).

3.4 DIGESTÃO ANAERÓBIA E PRODUÇÃO DE BIOGÁS

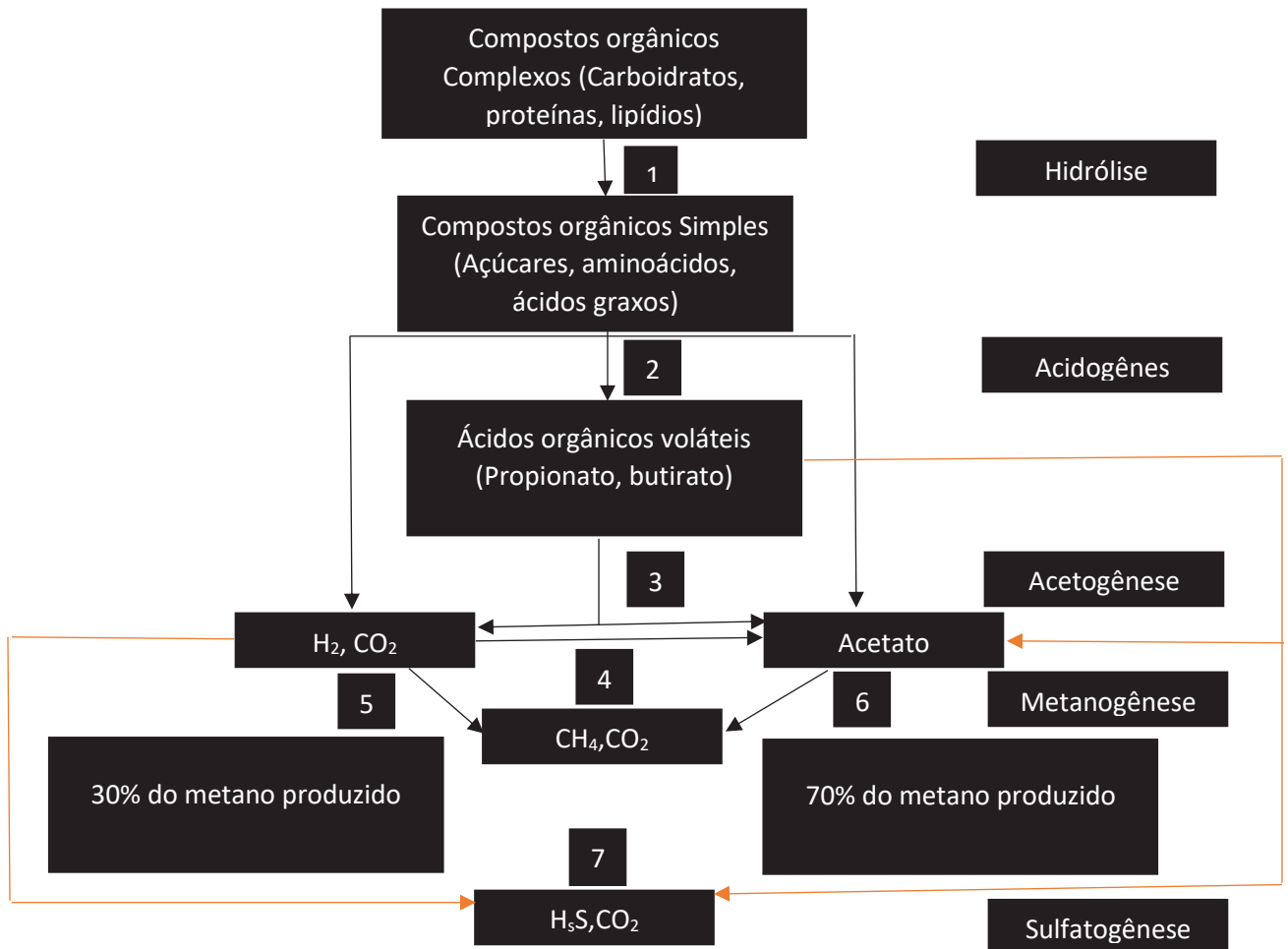
Biodigestão anaeróbia é um processo pelo qual as bactérias anaeróbias degradam a matéria orgânica em biodigestores, na ausência de oxigênio, transformando-a em biofertilizantes, e gerando biogás (gás combustível) (MARTINEZ et al., 2016).

Um biodigestor pode ser um tanque, tubo ou outro recipiente revestido e coberto por material impermeável onde ocorre a fermentação da biomassa, criando um ambiente sem a presença de oxigênio, onde os microrganismos degradam a matéria orgânica formando biogás. Este processo por ocorrer na ausência de oxigênio é denominado fermentação anaeróbia (SILVA, 2013).

Baldacin e Pinto (2015), definem o processo de digestão anaeróbia como a ação de diferentes tipos de microrganismos na ausência de oxigênio, sob compostos orgânicos complexos como carboidratos, lipídeos e proteínas, transformando-os em produtos mais simples como o metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂). Esta necessidade de tratamento dos resíduos para posterior destinação, exigido por órgão ambientais, vem cada vez mais sendo utilizado o processo de biodigestão anaeróbia, de acordo com Lucena (2008) e este processo é uma alternativa para o tratamento da vinhaça e demais resíduos da indústria sucroenergética.

A evolução dos sistemas anaeróbios o torna cada vez mais eficiente na remoção da carga orgânica em períodos de tempos menores e os tornando mais vantajosos, inclusive na manutenção do sistema, se comparado aos sistemas aeróbios (BALDACIN e PINTO, 2015).

FIGURA 3 – SEQUÊNCIAS METABÓLICAS E GRUPOS MICROBIANOS ENVOVIDOS NA DIGESTÃO ANAERÓBIA



DESCRIÇÃO DA FIGURA:

- 1,2: bactérias hidrolíticas fermentativas
- 3: bactérias acetogênicas produtoras de hidrogênio
- 4: bactérias acetogênicas consumidoras de hidrogênio
- 5: bactérias metanogênicas utilizadas de hidrogênio.
- 6: bactérias metanogênicas acetoclásticas
- 7: bactérias redutoras de sulfato.

FONTE: Adaptado de ANDREOLI, VON SPERLING E FERNANDES (2001).

O processo de digestão anaeróbia (FIGURA 3) é dividido em algumas etapas, sendo que na primeira etapa, a matéria orgânica mais complexa (proteínas, carboidratos e lipídios) são hidrolisados (etapa de hidrólise) em compostos orgânicos mais simples como ácidos graxos e álcoois, em seguida são metabolizados pelas bactérias fermentativas acidogênicas em ácidos orgânicos de cadeia molecular reduzida, aminoácidos, açúcares, CO_2 , hidrogênio, amônia e outros em menor quantidade. Durante a etapa acidogênese a demanda química de oxigênio se mantém inalterada, não existindo estabilização de matéria orgânica. Em seguida as bactérias

acetogênicas transformam os ácidos orgânicos em H_2 , CO_2 e ácido acético, tendo como sequência a metanogênese (sobrevivem em relação de simbiose) que resultará na formação de CH_4 por meio de dois grupos de bactérias, as metanogênicas acetoclásticas (utilizam acetato e metanol, correspondem a 70% da formação CH_4) e as hidrogenotróficas (metabolizam H_2 e o CO_2 , correspondem a 30% da formação de CH_4), e na última etapa a redução de sulfato a sulfeto por meio de bactérias redutoras na sulfatogênese (BALDACIN e PINTO, 2015; ANDREOLI, VON SPERLING e FERNANDES, 2001).

De acordo com Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001), é importante ressaltar que a variedade e concentração de grupos de bactérias que atuam no processo de digestão anaeróbia estão ligados diretamente ao desempenho do digestor anaeróbio.

Para ocorrer a degradação da matéria orgânica de forma eficiente são necessários nutrientes como nitrogênio, fósforo e sais orgânicos, o carbono e o nitrogênio são os “substratos” principais das bactérias anaeróbias, o carbono fornece energia e o nitrogênio é importante para a formação da estrutura celular (DA SILVA, 2013).

Como o nitrogênio é um componente muito importante para proteínas, ácidos nucleicos e enzimas que são de grande importância para o crescimento de bactérias produtoras de hidrogênio, é um dos nutrientes mais essenciais para o crescimento de bactérias produtoras de hidrogênio (WANG e WAN, 2009).

Machado (2011) e Leite e Povinelli (1999), definem que misturas com baixas quantidades de sólidos, onde a concentração de sólidos estão entre 4 e 8%, destinam-se ao processo de digestão para formação de metano.

Segundo Deganutti et al. (2002) e Lins, Mito e Fernandes (2015), o biogás é composto por metano dióxido de carbono e gás sulfídrico e em menores proporções amônia, resultante da fermentação na ausência de oxigênio, de dejetos animais, lixos orgânicos residenciais e industriais, em condições adequadas de umidade. É um gás comum na natureza e pode ser encontrado em pântanos, lamas e locais onde a celulose sofre naturalmente a decomposição.

Na TABELA 3, verifica-se a composição básica do biogás esperado, e conseqüentemente a porcentagem de metano.

TABELA 3 – COMPOSIÇÃO BÁSICA DO BIOGÁS

Componente	Porcentagem (%)
Metano	50 – 75
Gás Carbônico	25 – 40
Nitrogênio	0,5 – 2,5
Hidrogênio	1 – 3
Oxigênio	0,1 – 1
Gás Sulfídrico	0,1 – 0,5

FONTE: Adaptado de REGO (2006) e MACINTYRE (1996).

Diversos fatores influenciam no processo de formação de biogás em reatores anaeróbios, Leite et al. (2004), cita como os mais importantes a temperatura, a carga orgânica aplicada, e a presença de materiais de natureza tóxicas.

- Temperatura - de acordo com Baldacin e Pinto (2015), existem 3 faixas de temperatura interessantes para reatores anaeróbios dependendo da temperatura média onde é realizado, a faixa psicrófila entre 4 à < 20, a faixa mesófila, entre 20 e 40°C e a faixa termófila entre 45 à 70°C. Com base nisto, no Brasil a faixa mesófila tem vantagens para o estudo pois se encontra muito próxima a realidade e temperatura ambiente.

No que se refere a pH, alcalinidade, Acidez Volátil e compostos tóxicos, Sampaio (1996) e Stival, Errera e Aisse (2017), referem com as seguintes importâncias:

- pH – É um dos principais controles, devendo ter seu pH ótimo entre 6,6 e 7,6. Para valores abaixo de 6,5 pode-se comprometer o material da digestão devido a toxidez gerada. Valores de pH baixos (faixa ótima entre 5,0 e 5,5), favorecem as bactérias acidogênicas.

- Alcalinidade – É necessária para a manutenção do pH e neutralização dos ácidos voláteis e equilíbrio gasoso.

- Acidez Volátil – De acordo com este parâmetro, consegue-se analisar se as condições do reator sofreram alguma alteração, pois há o aumento da acidez volátil e decréscimo da alcalinidade e da formação de gás (SAMPAIO, 1996). A acidez volátil determina a quantidade de ácidos voláteis contidas na amostra, tanto a baixa ou a alta quantidade de ácidos, podem influenciar na instabilidade do processo (MARTINEZ et al., 2016).

A relação ideal entre Acidez Volátil e Alcalinidade Total (AV/AT), Stival, Errera e Aisse (2017) relata que este parâmetro indica qualquer desbalanceamento do sistema. Cita ainda que quando a taxa de ácidos voláteis for baixa e a alcalinidade for elevada, ocorrerá boa digestão, relacionando valores inferiores a 0,15.

- Compostos Tóxicos – A presença elevada destes elementos (sulfetos e amônia entre outros), inibem a formação microbiana dentro do reator, aumentando os ácidos voláteis e reduzindo a formação do biogás.

No tratamento anaeróbio, a toxicidade por sulfeto é um problema devido a redução biológica dos sulfatos e de compostos orgânicos que contenham enxofre. A redução do sulfato leva a formação de sulfeto que dissocia na água de acordo com a temperatura e pH do meio, sendo que a forma não dissociada (H_2S) é a principal forma do componente dissolvido a pH abaixo de 7 (caso da vinhaça) (BALDACIN e PINTO, 2015).

De acordo com Pirolli (2016), o sulfeto de hidrogênio ocorre naturalmente nos gases de vulcões, fontes de enxofre, respiradouros submarinos, pântanos, corpos de água estagnada em petróleo bruto e de gás natural e como um produto da degradação biológica da matéria orgânica, sendo extremamente tóxico para os organismos e plantas. Com base no custo de implantação e operação, acredita-se que o tratamento biológico é a opção mais econômica para a remoção de sulfeto de hidrogênio devido ao grande gasto de energia e elevados custo para tratamentos físicos e químicos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCAL DO EXPERIMENTO

O experimento com os biodigestores realizou-se no laboratório de Operações Unitárias do Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS), na cidade de Erechim (RS), sendo as análises gasosas realizadas no mesmo laboratório. As amostras dos substratos e inoculo, bem como dos diferentes tratamentos, foram congeladas para posterior análise no Laboratório de Produção de Biocombustíveis, da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Setor Palotina, na cidade de Palotina (PR).

4.2 INÓCULO

Utilizou-se para o início do experimento inoculo obtido em uma propriedade localizada no município de Gaurama (RS), proveniente de um biodigestor tipo canadense que opera com resíduos líquidos de suinocultura na operação de engorda. A caracterização do inoculo se deu por: sólidos totais e sólidos totais voláteis, pH, acidez volátil e alcalinidade total, além da determinação da relação acidez volátil e alcalinidade total (AV/AT). O resultado obtido da relação entre AV/AT do inoculo foi de 0,07, número considerado muito bom para degradabilidade de acordo com Sampaio (1996). Optou-se por trabalhar com 20% (v/v) de inoculo no volume útil do reator, por ter sido o percentual utilizado em pesquisas anteriores como a de Cremonez (2015). Necessitou-se 3 coletas do inoculo, sendo uma antes de cada partida do sistema. Em cada coleta realizada, congelou-se uma amostra para posteriores análises.

4.3 SUBSTRATOS PARA A DIGESTÃO ANAERÓBIA

Como substratos, utilizou-se vinhaça obtida a partir da destilação do vinho para a obtenção do etanol e da torta de filtro rotativo. Ambos, obtidos de uma indústria sucroenergética localizada no norte do estado do Paraná, que produz o etanol tendo como matéria prima, exclusivamente, a cana de açúcar.

Coletou-se os substratos durante o processo normal na usina, assim que gerados e enviados em recipientes limpos para o Rio Grande do Sul, onde realizou-

se os experimentos. Tomou-se o cuidado de não deixar “bolsões de ar” nos recipientes para melhor conservação das características iniciais dos substratos. Após, coletou-se pequenas amostras e congelou-se as mesmas para a realização das análises em Palotina, Paraná. Necessitou-se de dois envios de substratos pela usina.

Adicionou-se cinco misturas com diferentes concentrações de substratos em cinco biodigestores (TABELA 4), tendo o mesmo tempo de retenção hidráulica (TRH) e a mesma temperatura, cujos volumes e concentrações podem ser verificados abaixo.

TABELA 4 – COMPOSIÇÕES DOS TRATAMENTOS

Tratamento:	Inóculo (mg)	Vinhaça (mg)	Vinhaça (%)	Torta (mg)	Torta (%)
Tratamento 1	320	1280	100	0	0
Tratamento 2	320	1254	98	25,6	2
Tratamento 3	320	1229	96	51,2	4
Tratamento 4	320	1203	94	76,8	6
Tratamento 5	320	1172	92	102,4	8

FONTE: O autor (2017)

Realizou-se 2 repetições dos 5 tratamentos propostos, nas mesmas condições que o sistema inicial.

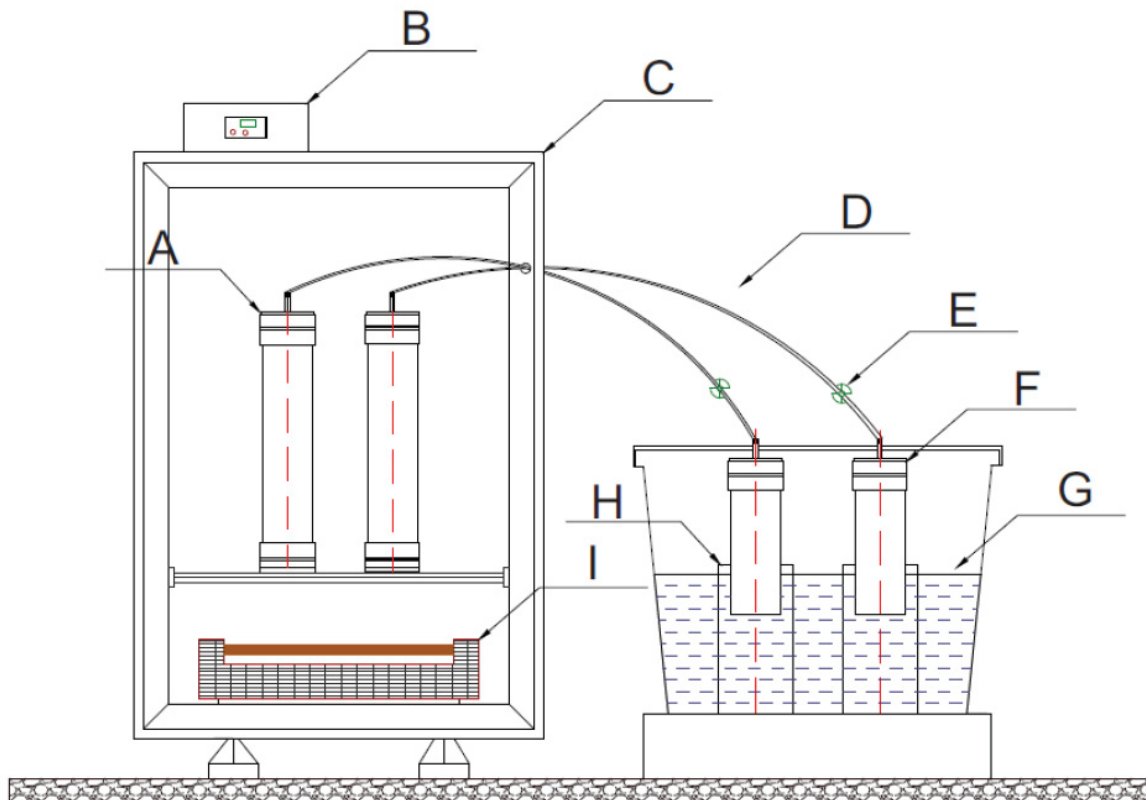
Na amostra, não se considerou a massa do inóculo para cálculo do percentual, visto que em princípio o trabalho se baseia nas decomposições e formações dos gases provenientes da vinhaça e da torta de filtro.

Alimentou-se os digestores, prevendo um valor máximo de 10% de sólidos voláteis, conforme indicação de Macintyre (1996). Realizaram-se as análises em triplicata para a confirmação dos resultados e proporcionalidades. Conservou-se as amostras por congelamento para posterior análise.

4.4 BIODIGESTORES E GASÔMETROS EM ESCALA LABORATORIAL

Construiu-se os biodigestores e gasômetros para a determinação da composição ótima de mistura, conforme Cremonez (2015), mantendo o mesmo padrão para controle de temperatura em 35°C e armazenamento do biogás produzido. Empregou-se cinco reatores com operação em batelada, construídos em PVC (polivinilcloro).

FIGURA 4 – ESQUEMA CONSTRUTIVO DOS BIODIGESTORES E GASÔMETROS



A) REATORES EM PVC; B) TERMOSTATO PARA CONTROLE DE TEMPERATURA; C) ESTUFA; D) MANGUEIRA DE SILICONE; E) CONEXÃO PARA TOMADA DE BIOGÁS; F) GASÔMETRO EM PVC; G) SELO DE ÁGUA; H) GUIA DOS GASÔMETROS; I) AQUECEDOR.
 FONTE: MEIER (2016).

A ligação entre os reatores e os gasômetros se deu por meio de mangueiras siliconadas, e a captação do biogás foi realizada por uma ligação na mangueira antes da entrada do gasômetro, conforme FIGURA 4.

Empregou-se reatores em batelada com volume aproximado de 2,0 L (75 mm de diâmetro por 450 mm de altura), definiu-se o volume de trabalho nos reatores de 1,6 L. As amostras foram homogeneizadas e após os reatores foram alimentados pela parte superior e vedados, evitando assim a dispersão dos gases.

Fez-se a ligação entre os digestores e os gasômetros por meio de borrachas, com conexão lateral (E) para medição de quantidade de biogás gerado.

Construiu-se os gasômetros em PVC com tubos de 100 mm de diâmetro e 300 mm de altura, com volume total de 2,4 L, e imersos em solução contendo 25% (v/v) de cloreto de sódio e 3 % (v/v) de ácido sulfúrico, de forma a impedir a difusão do biogás e a dissolução do dióxido de carbono (CO_2) contido no biogás (LARSEN et al.,2013).

A leitura do volume de biogás gerado nos gasômetros, se deu por meio do seu deslocamento vertical, tendo como base o volume interno dos gasômetros. Após cada leitura os gasômetros foram esgotados e conseqüentemente zerados para a realização de uma nova leitura.

A correção do volume de biogás para as condições de 1 atm e 25 °C foi efetuada por meio da equação que resulta da combinação das leis de Boyle e Gay-Lussac (eq. 1):

$$\frac{P1V1}{T1} = \frac{P2V2}{T2}$$

Equação 1

Onde,

V1 = volume corrigido do biogás;

P1 = pressão corrigida do biogás;

T1 = temperatura corrigida do biogás, em °k (273 °k);

V2 = volume do biogás nas condições de leitura;

P2= pressão do biogás no gasômetro, em mm H₂O (Erechim/RS);

T2 = temperatura do biogás no instante de leitura, em °k.

Os reatores foram mantidos em uma estufa Fortinox (FIGURA 5), modelo STAR FT 200 CR, sob temperatura média de 35 °C (+/- 1,0 °C).

FIGURA 5: SISTEMA EM OPERAÇÃO



FONTE: O Autor (2017)

4.5 PARÂMETROS ANALISADOS

Realizaram-se as análises, tanto nos compostos na entrada dos reatores, quando no efluente gerado, tornando possível a comparação e a avaliação da eficiência do processo de digestão anaeróbia das misturas. As metodologias empregadas nas análises estão apresentadas na TABELA 5.

TABELA 5 – MÉTODOS ANALÍTICOS EMPREGADOS

Parâmetro	Método
Ph	Potenciométrico (4500-H* / APHA, 1995)
DQO	Colorimétrico (5220-D / APHA, 1995)
ST	Gravimétrico (2540-B / APHA, 1995)
STV	Gravimétrico (2540-E / APHA, 1995)
STF	Gravimétrico (2540-E / APHA, 1995)
AV	Volumétrico (SILVA, 1977)
AT	Volumétrico (SILVA, 1977)
AP	Volumétrico (SILVA, 1977)
AI	Volumétrico (SILVA, 1977)

FONTE: O Autor (2017)

Estimou-se para a avaliação do trabalho a realização de Tempo de Ciclo (TC) em 20 dias, de acordo com estudos realizados por Cremones (2015), que sugere que um tempo de até 8 dias é considerado curto em processos de degradação biológica. Esta estimativa de tempo de retenção, também foi influenciada pela geração destes substratos serem constantes e em grandes volumes, devendo assim ser adotado curto período de ação.

Em virtude de não haver saída de efluentes dos digestores, os parâmetros propostos foram analisados no início e no final de cada ciclo, não sendo possível o acompanhamento durante o processo.

4.6 CARACTERIZAÇÃO DO BIOGÁS

O biogás produzido, foi quantificado e caracterizado quanto seu teor de metano, dióxido de carbono, amônia e gás sulfídrico in loco. Para tanto, utilizou-se para coleta recipiente amostrador e o biogás foi lavado com solução alcalina a partir de kit específico da empresa AlfaKit® com metodologia utilizada pela rede oficial de laboratórios de solos da EMBRAPA e caracterizado.

Na FIGURA 6, verifica-se os parâmetros analisados para a composição do biogás gerado.

FIGURA 6 – PARÂMETROS ANALISADOS NA COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS

Parâmetro	Método	Informação
Amônia	Azul de Indofenol	Curva de calibração de 15 a 875 ppmV em 2 faixas - Faixa 1 de 15 a 350 ppmV NH ₃ - Faixa 2 de 45 a 875 ppmV NH ₃
Gás Sulfídrico	Azul de Metileno	Curva de calibração de 20 a 380 ppmV em 2 faixas: - Faixa 1 de 20 a 230 ppmV H ₂ S - Faixa 2 de 30 a 380 ppmV H ₂ S
Gás Carbônico	Orsat	0 – 100% resolução 2,5%
Metano	Orsat	0 – 100% resolução 2,5%

FONTE: alfakit.ind.br (2018)

4.7 ANALISE ESTATÍSTICA

Utilizou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado, onde os 5 tratamentos (Vinhaça 100% + Inoculo, Vinhaça 98% + Torta 2% + Inoculo, Vinhaça 96% + Torta 4%+Inoculo, Vinhaça 94% + Torta 6% + Inoculo e Vinhaça 92% + Torta 8% + Inoculo) tiveram 3 repetições.

Para verificar a diferença estatística entre os tratamentos utilizou-se análise de variância (ANOVA) e Teste de Tukey a 5% de probabilidade utilizando-se software ASSISTAT 7.7 beta.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Analisando a produção do biogás nos biodigestores, verificou-se uma produção de $0,9667\text{dm}^3$ em média nos reatores, sendo que as maiores produções foram verificadas no Tratamento 1 (quando utilizou-se a vinhaça 100% em relação a mistura com a torta e 80% em relação ao inoculo). Em todas as amostras, a produção de biogás se deu no início do processo (primeiras 72 horas) sendo logo após estabilizadas e não observada maior formação.

Nos experimentos conforme TABELA 6, estatisticamente não ocorreram diferenças significantes na produção de biogás entre as composições estudadas.

TABELA 6 – VOLUME DE BIOGÁS E METANO GERADO (dm^3)

Amostras	Biogás (dm^3)	% CH ₄	Total de CH ₄ (dm^3)
Amostragem			
Tratamento 1	1,39 a	86,5 a	1,2023
Tratamento 2	0,8 a	90,67 a	0,7254
Tratamento 3	1,01 a	90,83 a	0,9174
Tratamento 4	1,25 a	90,83 a	1,1354
Tratamento 5	0,96 a	90,33 a	0,8672

Biogás - CV = 26,13% F = 2,1121

CH₄ - CV = 2,37% F = 2,3339

As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

FONTE: O Autor (2017)

Na TABELA 6, verifica-se ainda que a produção de biogás, estatisticamente foram iguais, tendo valores entre $0,8\text{ dm}^3$ e $1,25\text{ dm}^3$, e valores médios de 90% de metano.

As quantidades de produtos inseridos ao sistema foram de 1280 mg (vinhaça ou vinhaça e torta de filtro), considerando a produção do Tratamento 1, onde a alimentação foi de 1280ml de vinhaça com 320 ml de inoculo suíno, totalizando 1600 ml, obtivemos $1,400\text{ dm}^3$ de biogás, nas condições estudadas, com percentual médio de 86,5% de metano.

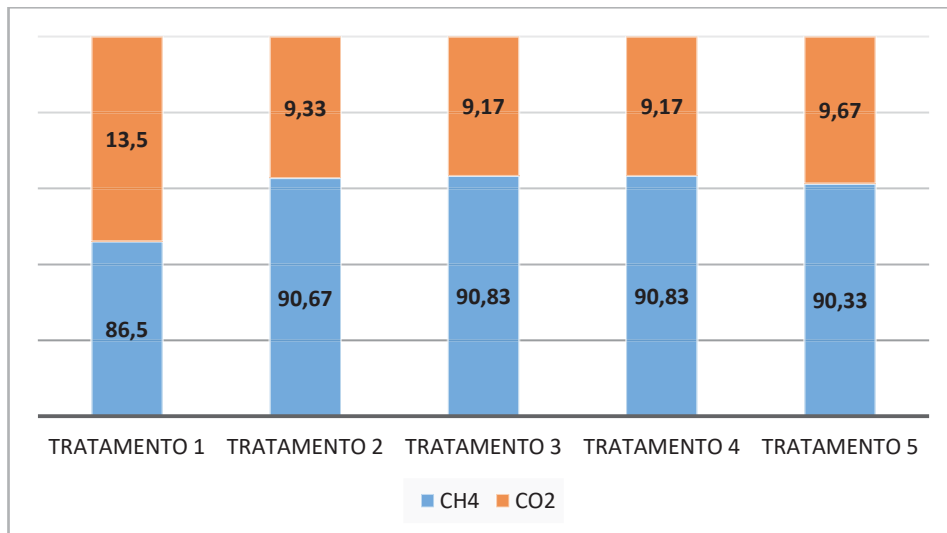
De acordo com Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001), o poder calorífico do Biogás com cerca de 70% de Metano, é de aproximadamente 23.380 kJ.m^{-3} ($6,5\text{ kW.m}^{-3}$), portanto, em uma produção de $1,400\text{ dm}^3$ de biogás, gerado em 1600 ml de mistura, cerca de $32,732\text{ kJ}$ ($9,1\text{W}$). Considerando a produção média em uma usina de 450.000 litros de etanol por dia, com conseqüente geração de 6.750.000 litros de vinhaça (tendo como base a razão de 15 litros de vinhaça para 1 de etanol), seria

possível gerar 7.382.812,5 dm³ ou 7.382,8125 m³ de biogás.dia⁻¹, capaz de produzir uma energia de 172610156,25 kJ (47.988,28 kW), ou o suficiente para abastecer 6 casas com consumo médio de 350 kWh.

As proporções dos compostos são variáveis, sendo o CH₄ e CO₂ os constituintes com maiores concentrações. Dependendo do tipo do resíduo, do tratamento e, de acordo com a eficiência do processo, o biogás chega a conter entre 40 e 80% de CH₄ (FIGUEIREDO, 2011).

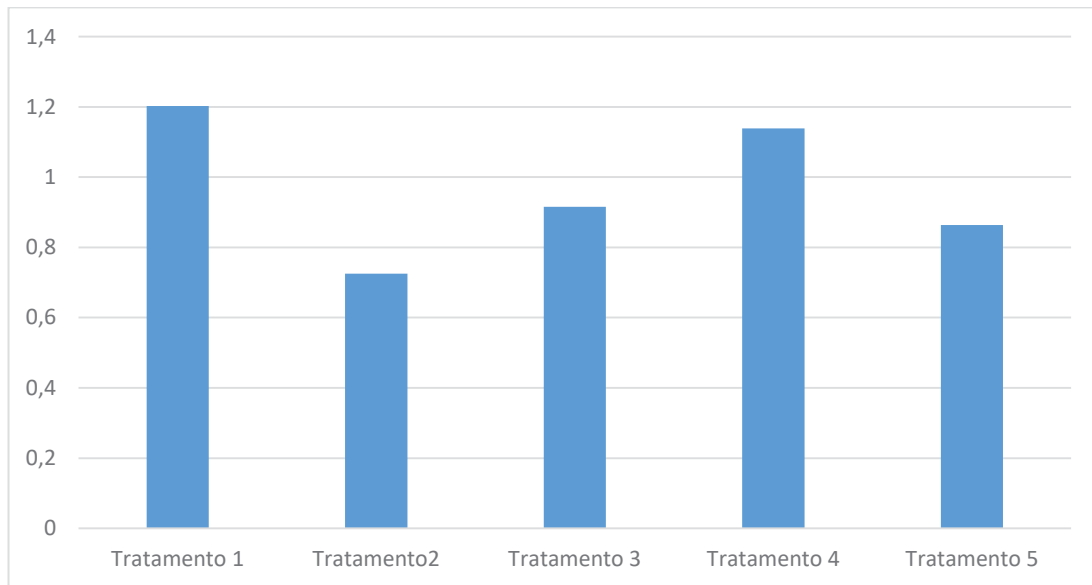
Nas análises realizadas, em todas as amostras a produção de metano ultrapassou aos 80%, tendo o menor percentual (FIGURA 7) de 87,5% no Tratamento 1.

FIGURA 7 – PERCENTUAL DE METANO E DIÓXIDO DE CARBONO GERADOS



FONTE: O Autor (2017)

O metano (CH₄) é o componente de maior importância, pois representa a parte combustível do biogás e, portanto, seu teor influencia diretamente no poder calorífico. O rendimento potencial de metano é determinado principalmente pela composição do substrato utilizado, ou seja, pelos seus teores de gorduras, proteínas e carboidratos (FIGUEIREDO, 2011).

FIGURA 8 – QUANTIDADE DE CH₄ GERADO (dm³)

FONTE: O Autor (2017)

Na FIGURA 8, existe o comparativo em relação a produção de metano nos diferentes tratamentos.

TABELA 7 – RESULTADOS OBTIDOS SÓLIDOS

Amostras	S.T. (mg.l ⁻¹)	STF (mg.l ⁻¹)	STV (mg.l ⁻¹)
Amostragem			
Tratamento 1	16.808,0 a	5.465,0	11.543,0 a
Tratamento 2	14.547,0 a	6.488,0	8.058,0 a
Tratamento 3	15.970,0 a	7.407,0	8.563,0 a
Tratamento 4	18.968,0 a	8.668	10.300,0 a
Tratamento 5	15.765,0 a	7.432,0	8.333,0 a
Vinhaça Pura	27.185,0	6.575,0	20.610,0
Inoculo	10.148,0	4.638,0	5.510,0
Torta de Filtro Rotativo	372.813,0	284.700,0	114.260,0

ST - CV = 48,23% F = 3,5154

STV - CV = 50,18% F = 0,3071

As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

FONTE: O Autor (2017)

Os valores obtidos na tabela acima (TABELA 7), demonstram os valores de sólidos totais resultantes nos diferentes tratamentos, considerando-se os valores obtidos em relação a sólidos totais voláteis e sólidos totais, não ocorreram variações de acordo com o método estatístico. Todos os tratamentos ficaram dentro do

estabelecido por Machado (2011), com valores de sólidos totais em torno de 4,5%, para que ocorresse uma melhor interação na amostra, entre a partes sólidas e líquidas.

A quantidade de sólidos voláteis interfere teoricamente na produção de metano. Entre os tratamentos propostos neste trabalho o melhor resultado na obtenção do metano foi obtido no Tratamento 1. No entanto, os 5 tratamentos tiveram respostas bem similares, provando assim a equivalência do sistema. Na TABELA 8, verificamos a produção de metano e a redução da carga de sólidos totais voláteis (há uma relação entre os sólidos totais voláteis na entrada do efluente e na saída do efluente do reator).

TABELA 8 – REMOÇÃO DOS SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS

Amostras	STVe (mg.l ⁻¹)	STVs (mg.l ⁻¹)	Rem. (mg.l ⁻¹)	Rem. (%)
Amostragem				
Tratamento 1	32.402,0	11.540,0	20.862,0	64,38
Tratamento 2	34.052,6	8.058,0	25.994,6	76,34
Tratamento 3	35.703,2	8.633,0	27.070,2	75,82
Tratamento 4	37.353,8	10.300,0	27.053,8	72,43
Tratamento 5	39.004,4	8.330,0	30.674,4	78,64

STVe = Sólidos Totais Voláteis na Entrada do Efluente

STVs = Sólidos Totais Voláteis na Saída do Efluente

Rem = Remoção entre entrada e saída (STV)

FONTE: O Autor (2017).

Não ocorreram grandes variações entre os diferentes tratamentos, tendo uma redução entre 64,38% a 78,64% em todos os tratamentos.

TABELA 9 – RELAÇÃO DE REMOÇÃO DOS SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS COM PRODUÇÃO DE METANO

Amostras	Rem. (mg.l ⁻¹)	CH ₄ (dm ³)
Amostragem		
Tratamento 1	20.862,0	1,2023
Tratamento 2	25.994,6	0,7254
Tratamento 3	27.070,2	0,9174
Tratamento 4	27.053,8	1,1354
Tratamento 5	30.674,4	0,8672

STVe = Sólidos Totais Voláteis na Entrada do Efluente

STVs = Sólidos Totais Voláteis na Saída do Efluente

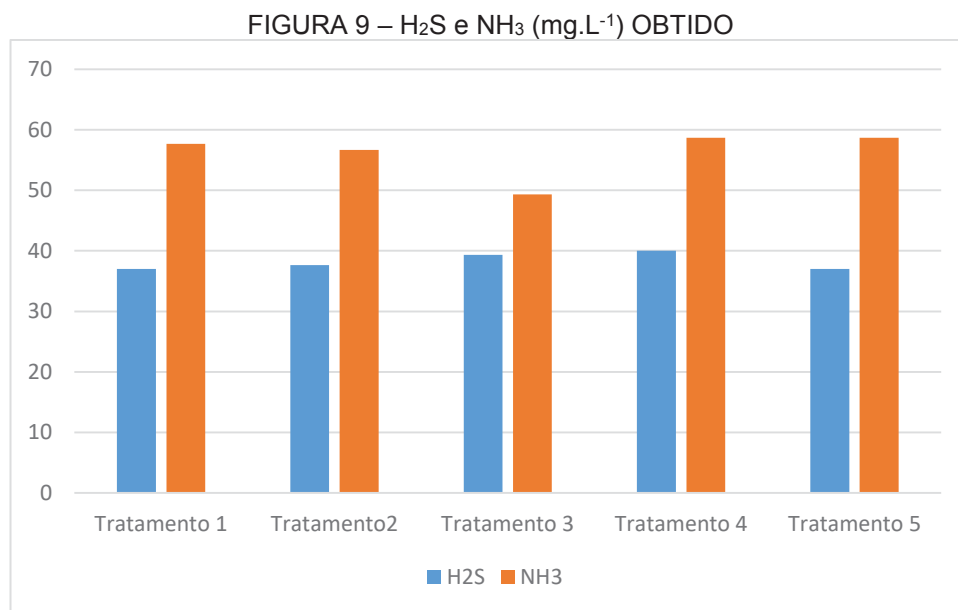
Rem = Remoção entre entrada e saída (STV)

FONTE: O Autor (2017).

De acordo com Mallmann (2013) e Leite e Povinelli (1999), quanto maior for a concentração de sólidos totais voláteis, maior será a produção de metano, tornando-

se cada vez mais atrativo o tratamento por biodigestão. No entanto, segundo Meier (2016), os valores elevados da carga orgânica na amostra (STV, DQO e ST) quando a carga orgânica é altamente digerível, podem influenciar negativamente, pelo aumento excessivo da velocidade da fase acidogênica do processo de biodigestão, que faz com que os ácidos gerados não são consumidos na fase metanogênica, inibindo a reação devido a acidificação do meio.

No melhor resultado Tratamento 1, verifica-se uma relação de $0,0359\text{m}^3$ de biogás por kg de sólidos voláteis removidos, rendimento considerado baixo se comparado com outros estudos e outros efluentes. Weber et al (2014), que utilizaram resíduos de bovinocultura e encontrou valores de $0,627\text{m}^3$ de biogás por kg de sólidos voláteis removidos e Mallmann (2013), que encontrou em seus estudos de potencial de produção de metano de bovinos, valores entre $0,27\text{m}^3$ e $0,44\text{m}^3$ produzidos por kg de sólidos voláteis removidos.



FONTE: O Autor (2017).

Os resultados obtidos de Amônia e H_2S , contaminantes verificados nos tratamentos, foram estatisticamente iguais de acordo com o método de variância. No que se refere a H_2S , nas misturas com maior percentual de torta do filtro rotativo, maiores quantidades de contaminantes foram verificadas (maior toxidez).

TABELA 10 – RESULTADOS OBTIDOS ANÁLISE GASOSA

Amostras	H ₂ S (mg.l ⁻¹)	NH ₃ (mg.l ⁻¹)	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)
Amostragem				
Tratamento 1	37 a	57,67 a	86,5 a	13,5 a
Tratamento 2	37,67 a	56,67 a	90,67 a	9,33 a
Tratamento 3	39,33 a	49,33 a	90,83 a	9,17 a
Tratamento 4	40 a	58,67 a	90,83 a	9,17 a
Tratamento 5	47 a	58,67 a	90,33 a	9,67 a

H₂S - CV = 8,42% F = 0,5581
 NH₃ - CV = 12,09% F = 1,0029
 CH₄ - CV = 2,37% F = 2,3339
 CO₂ - CV = 20,90% F = 2,3339

As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

FONTE: O Autor (2017)

Em relação a amônia, não ocorreram alterações significativas, conforme verificado na TABELA 10 e na FIGURA 9. A amônia apresentou altos valores o que pode ter influenciado na baixa produção de biogás.

TABELA 11 – RESULTADOS OBTIDOS DE PH, ACIDEZ E ALCALINIDADE

Amostras	pH	AT mgCaCO ₃ .L ⁻¹	AVmg.L ⁻¹	AV/AT
Amostragem				
Tratamento 1	4,87 b	383,33 b	2330 a	5,82
Tratamento 2	5,01 b	416,66 b	2236,67 a	5,37
Tratamento 3	5,08 b	497,22 b	2290 a	4,61
Tratamento 4	5,06 b	524,90 b	2470 a	4,71
Tratamento 5	5,16 b	511,11 b	2073,33 a	4,06
Vinhaça Pura	4,05	52,78	1563,33	29,62
Inoculo	7,44	2638,89	176,67	0,07

pH - CV = 4,83% F = 0,5865
 AT - CV = 39,07% F = 0,3552
 AV - CV = 33,11% F = 0,1096

As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

FONTE: O Autor (2017)

Segundo Karlsson *et. al.* (2014), um pH ótimo para a geração de biogás, seria um pH neutro, entre 7,0 e 8,5. Para tanto, é necessário que a alcalinidade do meio seja elevada e constante. Havendo assim, um pré tratamento para correção do pH e consequentemente do processo. Quanto maior for a alcalinidade, maior será a estabilidade do sistema e sua capacidade tampão no processo. Sua composição é

basicamente íons de bicarbonato que estão em equilíbrio com o dióxido de carbono. Leite *et al.* (2004) considera a alcalinidade total como sendo a soma da alcalinidade advinda dos ácidos graxos voláteis e dos bicarbonatos. No caso de resíduos com pH próximo de 5,0, a composição da alcalinidade são sais derivados de ácidos graxos voláteis basicamente, não tendo ação dos bicarbonatos. As análises demonstraram baixas alcalinidades (TABELA 11) o que interferiu para o curto período de formação de biogás.

O pH final dos tratamentos foi baixo se comparados ao indicado para a geração do biogás, principalmente devido a influência da vinhaça. Com isto, ocorreu a inibição do crescimento das bactérias e consequentemente de Biogás. Como correção, deve-se haver uma elevação do pH no substrato até níveis de neutralidade.

Os resultados encontrados na relação AV/AT, ficaram muito acima dos valores tidos como aceitáveis para um sistema de biodigestão anaeróbia, onde deveriam ficar entre 0,1 e 0,3, podendo fazer com que o sistema entre em colapso devido à alta acidez volátil e baixa alcalinidade.

Para avaliação do benefício ambiental do projeto, deve-se avaliar a DQO resultante após o sistema nos diferentes tratamentos. Obtiveram-se os valores da TABELA 12 para a saída do sistema e, a partir do teste de Tukey os nível de 5% de probabilidade, constatou-se que os sistemas propostos não diferem entre si do que se trata deste parâmetro.

TABELA 12 – RESULTADOS OBTIDOS DE DQO APÓS O TRATAMENTO

Amostras	DQO efluente (mg.l ⁻¹)
Amostragem	
Tratamento 1	20243,33 a
Tratamento 2	20886,67 a
Tratamento 3	20653,33 a
Tratamento 4	21090,00 a
Tratamento 5	16270,00 a.

CV = 40,19% F= 0,183

As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

FONTE: O Autor (2017)

Considerando-se um sistema de biodigestão anaeróbia, Mallmann (2013) considera um sistema com boa eficiência com reduções acima de 65%, que não foi o caso do implantado. Se tomarmos como base o valor de DQO médio da indústria

estudada (por volta de 30.000 mg.l⁻¹), obtive-se uma redução da DQO aproximada de 33% após o sistema. Possivelmente com as correções de entrada (pH e acidez) como visto anteriormente, cria-se um cenário mais propício para a formação do bioma e uma melhor eficiência na redução da DQO como também na formação de biogás e metano.

A acidificação do meio e contaminantes como o sulfeto, vistos anteriormente, podem ter influenciado nos resultados, visto que a vinhaça é um produto ácido com altos índices deste gás.

Observa-se ainda que estatisticamente, não ocorreram alterações nos tratamentos propostos. O tratamento dos resíduos como um todo pode ser realizado neste processo sem que haja alteração na sua eficiência, podendo assim ser utilizado tanto os resíduos fracionados, como somente a vinhaça.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os impactos ambientais gerados pela produção de açúcar e etanol, principalmente no que se refere ao campo e ao principal resíduo, vinhaça, são fontes de diversas pesquisas, leis e regulamentos por ambientalistas e pesquisadores. A vinhaça é riquíssima em matéria orgânica e apresenta pH ácido, abaixo de 5, o que representa elevado risco potencial de contaminação, tanto do solo como de qualquer tipo de manancial, seja superficial ou subterrâneo. Além do mais, ela possui inúmeras possibilidades para uso e aproveitamento, com neutralização ou redução de seus impactos.

A produção de biogás com a utilização de substratos alternativos ao usualmente estudados (suinocultura, bovinocultura, etc.), merecem uma atenção especial pelos volumes disponibilizados pela indústria, a necessidade de uma melhora na destinação e no aproveitamento energético. A biodigestão anaeróbia é um processo relativamente barato se comparado a biodigestão aeróbia no que se refere a tratamento de resíduos, tendo uma eficiência calculada entre 40 e 60% de redução da carga de DQO e ganho como fonte energética.

A vinhaça e a torta de filtro como substratos, sem tratamento prévio, apresentou resultados insatisfatórios no que se refere a produção de biogás se comparado a outras fontes, porém em todos os tratamentos propostos, ocorreram a formação do combustível.

Nas análises realizadas, o incremento da torta de filtro na mistura, na maioria das amostras, elevou a quantidade de sólidos totais voláteis, em relação aos tratamentos com menores misturas deste componente, o que, em teoria, representariam melhores resultados na obtenção do biogás. Porém, os tratamentos se mostraram estatisticamente iguais, tanto no que se refere a produção de biogás quanto a redução de sólidos totais, sólidos voláteis e DQO, o que nos indica que nestas condições, as misturas apresentam o mesmo comportamento. A baixa alcalinidade e acidez do sistema, podem ter interferido negativamente na produção, acelerando a fase da acidogênese e inibindo o desenvolvimento de outras bactérias, consequentemente, fazendo com que o sistema entre em colapso.

Em virtude dos resultados obtidos na atual pesquisa serem positivos, mais trabalhos devem ser desenvolvidos visando-se aperfeiçoar processos degradativos destes produtos, em relação as elevadas matérias biodegradáveis encontradas nas

amostras realizadas e, principalmente, sua valorização como fonte de energia renovável. Assim com estes resíduos extraídos em usinas de cana de açúcar, características da região onde foi desenvolvido este trabalho, há diversos outros tipos de resíduos industriais que não são aproveitados em todo seu potencial e são descartados em aterros sanitários ou de forma não apropriada devolvidos a natureza. Além disto, as indústrias podem agregar valor à sua cadeia produtiva e conseguir retornos financeiros significativos, principalmente com economia de energia.

REFERÊNCIAS

- ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Org.) **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG; Curitiba: SANEPAR, 2001. 484 p.
- ALFAKIT. Alfakit.ind.br, 2018.
- BALDACIN, A.C.S.; PINTO, G.M.F. Biodigestão anaeróbia da vinhaça: aproveitamento energético do biogás. **Revista Eletrônica FACP**, Ano III, n 7, 01/2015.
- BARBOSA, G.; LANGER, M. Uso de biodigestores em propriedades rurais: uma alternativa à sustentabilidade ambiental. **Unoesc e Ciência – ACSA**, Joaçaba, v.2, n.1, p. 87-96, jan-jun/2011.
- Bioagri Ambiental Ltda., **Analises da vinhaça**, resíduos de sedimentação e torta do filtro, Analise 275277/2015-0, 10/2015.
- Bioagri Ambiental Ltda., **Analises da vinhaça**, resíduos de sedimentação e torta do filtro, Analise 275275/2015-0, 10/2015.
- BLANCO, M. F. J.; ZENATTI, D. C.; FEITEN, A.; WEBER, R.; TIETZ, C. M.; GIACOBBO, G. Produção de biogás a partir de dejetos da bovinocultura de leite e cama de aviário. **Acta Iguazu**, Cascavel, v.3, n.1, p. 14-27, 2014.
- CARVALHO, T. C. de; SILVA, C. L. da. Redução da quantidade de vinhaça através da evaporação. **Periódico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, vol.4, 2010.
- CHIEPPE JÚNIOR, João Baptista. Tecnologia e fabricação do álcool. **Inhumas: E-tec Brasil**, 2012. 74 p.
- CHRISTOFOLETTI, C. A.; ESCHER, J. P.; CORREIA, J. E.; MARINHO, J. F. U.; FONTANETTI, C. S. Sugarcane Vinasse: Environmental Implications of its Use. **Waste Management**, n 33, p 2752-2761, 2013.
- CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana de Açúcar**. V. 3 – Safra2016/17, n. 2 – Segundo levantamento. Brasília, Ago. 2016.
- CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana de Açúcar**. V. 4 – Safra2017/18, n. 3 – Terceiro levantamento. Brasília Dez. 2017.
- COOPERATIVA DOS PRODUTORES DE CANA, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Fermentação**. São Paulo: COPERSUCAR, 1987. 434p.
- COOPERATIVA DOS PRODUTORES DE CANA, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Destilação**. São Paulo: COPERSUCAR, 1987. 507p.

CREMONEZ, P. A. **Digestão anaeróbia de polímero orgânico a base de fécula de mandioca**. 2015. 93 p. Dissertação de mestrado, Programa de Engenharia de Energia na Agricultura, Unioeste.

DA SILVA, E. G. **Potencial experimental de produção de biogás em equipamento de pequena escala com utilização de esterco bovino**. 52 p., 2013. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Fundação Universidade Federal de Rondônia.

DEGANUTTI, R.; PALHACI, M.C.J.P.; ROSSI, M.; TAVARES, R.; DOS SANTOS, C. Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. An. 4 **Enc. Energ. Meio Rural**. 2002.

FIGUEIREDO, N. J. V. **Utilização de biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica – estudo de caso**. São Paulo, 148p., 2011. Dissertação de Mestrado – Universidade de São Paulo.

HENRIQUES SANTOS, Diego; TIRITAN, Carlos Sérgio; SIMONETI FOLONI, José Salvador; BOULHOSA FABRIS, Luciana. **Produtividade de cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel**. Pesquisa Agropecuária Tropical, out/dez – 2010. 40 p.

HUGOT, Emile. **Manual da Engenharia Açucareira**. Tradução: Imtrud Miocque. São Paulo: Mestre Jou, 1977. Volume I.

HUGOT, Emile. **Manual da Engenharia Açucareira**. Tradução: Imtrud Miocque. São Paulo: Mestre Jou, 1977. Volume II.

JEMP EQUIPEMANTOS INDUSTRIAIS. www.jemp.com.br, 2017.

KARLSSON, T.; KONRAD, O.; LUMI, M.; SCHMEIER, N.P.; MARDER, M.; CASARIL, C. E. KOCH, F.F.; PEDROSO, A.G. **Manual básico de biogás**. Lajeado: Editora Univates, 2014. 46 p.

LARSEN, A.C.; BENEDITTO, M.G.; GOMES, S.D.; ZENATTI, D.C.; TORRES, D.G.B. Anaerobic co-digestion of crude glycerin and starch industry effluent. **Eng. Agric.**, v.33, n.2, p.341-352. 2013.

LEITE, A. F.; JANKE, L.; HARMS, H.; ZANG, J. W.; FONSECA-ZANG, W. A.; STINNER, W.; NIKOLAUSZ, M. Assessment of the variations in characteristics and methane potential of major waste products from the Brazilian bioethanol industry along as operating season. **Energy Fuels**, n 29, p 4022 – 4029, 2015.

LEITE, V. D.; LOPES, W. S.; SOUSA, J. T.; PRASAD, S. Tratamento anaeróbio de resíduos orgânicos com baixa concentração de sólidos. **Eng. Sanitaria Ambiental**, V.9, n.4, p.280-284, 2004.

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

LINS, L. P.; MITO, J. Y. L.; FERNANDES, D. M. Composição média do biogás de diferentes tipos de biomassa. In: **Simpósio Internacional Sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais**, 4.,2015. Disponível em: <http://www.sbera.org.br/4sigera/files/4.28_JessicaYukiLimaMito.pdf> acesso em: jan/2018.

LUCENA, R. M. **Identificação molecular da diversidade microbiana em reator UASB de estação de tratamento de esgoto**. 63 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, PE, 2008.

LUNAS, A. L; LUSTOSA, P. R. B. Economic benefit of sugar cane bagasse: a study in the sugarcane energy generation sector from goiano southwest. **Custos e agronegócio on line** – v.11, n.2, p.342-369 – Apr/Jun – 2015.

MACHADO, Camila Romantini. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de exposição ao ar**. 51 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2011.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Instalações hidráulicas: prediais e industriais**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996. 739 p.

MALLMANN, Larissa Schmatz. **Potencial de produção de metano de bovinos submetidos à dieta suplementada com resíduo úmido de cervejaria**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação Scricito Sensu em Engenharia Agrícola, UNIOESTE, 2013.

MARTINEZ, D. G.; SILVA, F. P.; KITAMURA, D. S.; DE SOUZA, S. N. M.; FEIDEN, A. Qualidade do biogás a partir de resíduos industriais da avicultura. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.5, p. 12-26, 2016.

MEIER, Thompson R. W. **Otimização do processo de biodigestão anaeróbia a partir da mistura de água residual de suinocultura, vinhaça e glicerol bruto**. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Bioenergia), Universidade Federal do Paraná, 2016.

MILANEZ, A. Y.; FAVERET FILHO, P. C.; ROSA, S. E. S. Perspectivas para o etanol brasileiro. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 27, p.21-38, 2008.

MORAES, B. S.; JUNQUEIRA, T. L.; PANAVELLO, L. G.; CAVALETT, O.; MANTELATTO, P. E.; BONOMI, A.; ZAIAT, M. Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane bio refineries in Brazil from Energy, Environmental, and Economic Perspectives: Profit or Expense? **Applied Energy**, n 113, p 825-835. 2014.

MOTA, V. T.; SANTOS, F. S.; AMARAL, M. C. S. Two-stage anaerobic membrane bioreactor for the treatment of sugarcane vinnesse: assessment on biological activity and filtration performance. **Bioresource Technology**, n 146, p 494-503, 2013.

PIROLI, Mateus. **Avaliação da remoção de sulfeto de hidrogênio de biogás provindo da digestão de efluente suinícola utilizando biofiltro em escala piloto.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina. 2016.

REBELATO, M. G.; MADALENO, L. L.; RODRIGUES, A. M. Ponderação do impacto ambiental dos resíduos e subprodutos da produção industrial sucroenergética. **Revista Gestão Industrial**, v. 09, n. 02: p. 392-415, 2013.

REGO, Erik E.; HERNÁNDEZ, Francisco del Moral. Eletricidade por digestão anaeróbia da vinhaça de cana-de-açúcar. Contornos técnicos, econômicos e ambientais de uma opção. An. 6. **Enc. Energ. Meio Rural**, ano 2006.

ROSA, Alessandra Silva da; MARTINS, Camila Pereira Savi. Produção mais limpa nas fontes geradoras de poluição da indústria de açúcar e álcool. **RevInter Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade**, v. 6, n. 2, p. 90-125, Jun. 2013.

SALOMON, K. R. **Avaliação técnico-econômica e ambiental da utilização do biogás proveniente da biodigestão da vinhaça em tecnologias para geração de eletricidade.** (Tese de Doutorado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Itajubá, 2007.

SAMPAIO, B. M. L. **Viabilidade do processo de tratamento anaeróbio de resíduos da industrialização da mandioca em sistemas de duas fases.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Química - Universidade Estadual de Maringá, Maringá - PR, 1996.

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, p. 56- 60, 2013.

SINGH, A.; LAL, U. R.; MUKHTAR, H. M.; SINGH, P. S.; SHAH, G.; DHAWAN, R. K.. Phytochemical profile of sugarcane and its potential health aspects. **Pharmacogn Rev.**, v.9(17): p. 45-54, jan-jun. 2015.

SOARES, L. H. de B.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. **Mitigação das emissões de gases efeito estufa pelo uso de etanol da cana-de-açúcar produzido no Brasil.** Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2009. 14p. (Embrapa Agrobiologia. Circular técnica, 27).

SOTO, Miguel Alfaro; BASSO, Juliana Broggio; KIANG, Chang Hung. Impacto da fertirrigação da cana-de-açúcar por vinhaça nas propriedades físicas, químicas e hidráulicas do solo. In.: FONTANETTI, Carmem Silvia; BUENO, Odair Correa (Orgs.). **Cana-de-açúcar e seus impactos: uma visão acadêmica.** Bauru,SP; Canal 6, 2017. 275p.

STIVAL, L.; ERRERA, M.; AISSE, M. Avaliação do desempenho de uma unidade de biodigestão em escala real tratando dejetos de suinocultura. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.6, n.5, p. 983- 994, 2017.

SYDNEY, E. B.; LARROCHE, C.; NOVAK, A. C.; NEUAILLE, R.; SARNA, S. J.; BRAR, S. K.; LETTI, L. A. J.; SOCCOL, V. T.; SOCCOL, C. R. Economic process to produce biohydrogen and volatile fatty acids by a mixed culture using vinasse from sugarcane ethanol industry as nutrient source. **Bioresource Technology**, n.159, p 380-386. 2014.

WEBER, R.; ZENATTI, D. C.; FEIDEN, A.; TIETZ, C. M. Produção de biogás com relação ao teor de sólidos voláteis dos dejetos de bovinocultura de leite. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, p. 43-55, 2014.

WANG, J. L.; WAN, W. Factors influencing fermentative hydrogen production; A Review. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 34, n2, p. 799-811, 2009.