

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE GRADUAÇÃO E EDUCAÇÃO PROFISSIONAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

CAROLINA BERNARDINO HERRERO

**CO-ARMAZENAMENTO DE GRAMA E RESÍDUOS DE FRUTAS E VEGETAIS
COMO ESTRATÉGIA DE PRÉ-TRATAMENTO PARA AUMENTAR A PRODUÇÃO
DE BIOGÁS DE RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA
2019

CAROLINA BERNARDINO HERRERO

**CO-ARMAZENAMENTO DE GRAMA E RESÍDUOS DE FRUTAS E VEGETAIS
COMO ESTRATÉGIA DE PRÉ-TRATAMENTO PARA AUMENTAR A PRODUÇÃO
DE BIOGÁS DE RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de Engenheira
Ambiental, da Universidade Tecnológica
Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Edwiges

MEDIANEIRA
2019



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Curso de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

CO-ARMAZENAMENTO DE GRAMA E RESÍDUOS DE FRUTAS E VEGETAIS COMO ESTRATÉGIA DE PRÉ-TRATAMENTO PARA AUMENTAR A PRODUÇÃO DE BIOGÁS DE RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS

Por

CAROLINA BERNARDINO HERRERO

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado às 14:00 h do dia 14 de maio de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel no Curso Superior de Engenharia Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Medianeira. A candidata foi argüido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. *Dr.* Thiago Edwiges
UTFPR – *Campus* Medianeira
(Orientador)

Prof. *Dr.* Laercio Mantovani Frare
UTFPR – *Campus* Medianeira
(Convidado)

Prof. *Dra.* Simone Spohr Venzon
UTFPR – *Campus* Medianeira
(Convidado)

Prof. *Dr.* Eduardo Eyng
UTFPR – *Campus* Medianeira
(Responsável pelas atividades de TCC)

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, que na sua infinita bondade não me permitiu desistir mesmo nos dias que pareceram impossíveis, me dando força, preservando minha saúde emocional e física para que eu pudesse continuar em busca desse sonho.

Agradeço com todo meu coração minha família que garantiu todos os subsídios necessários para minha formação. Ressalto a participação proativa da minha mãe, Maria Wanda, nos meus anos de graduação, que mesmo estando longe nunca se fez ausente, estando sempre presente em pensamento e alma. Agradeço também a minha tia Helena que foi além de suas responsabilidades e me ajudou a concluir essa etapa com mais conforto.

A UTFPR, servidores, professores e colegas de estudo que garantiram o aprendizado de qualidade que eu pude aproveitar durante a graduação. Em especial gostaria de agradecer ao Professor Thiago que me apoiou durante toda a pesquisa com muita paciência e boa vontade. Aos meus colegas de laboratório Jhenifer e João que também com muita paciência transmitiram a mim muito conhecimento e me apoiaram durante a pesquisa.

Aos amigos que fiz durante a graduação e que foram essenciais para meu crescimento pessoal e acadêmico.

Muito obrigada a todos, sozinha seria impossível.

RESUMO

HERRERO, C.B. **CO-ARMAZENAMENTO DE GRAMA E RESÍDUOS DE FRUTAS E VEGETAIS COMO ESTRATÉGIA DE PRÉ-TRATAMENTO PARA AUMENTAR A PRODUÇÃO DE BIOGÁS DE RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS**. 2019. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019.

Uma das fontes energéticas com potencial de crescimento na matriz energética brasileira é a energia proveniente da biomassa, especificamente o biogás. A partir da produção do biogás, os resíduos geram energia e também são estabilizados pela digestão anaeróbia, reduzindo riscos oferecidos anteriormente ao meio ambiente. Para que se possa obter êxito na produção do biogás a partir de substratos lignocelulósicos, se faz necessário à aplicação de pré-tratamentos que auxiliarão os microrganismos na quebra dessas estruturas. O objetivo do estudo foi avaliar o efeito do co-armazenamento de resíduos de grama e frutas e vegetais (RFV) na produção de biogás. O objetivo principal do pré-tratamento aplicado aos substratos lignocelulósicos é melhorar a etapa da hidrólise, que ocorre quando há a facilitação da sua conversão em açúcares fermentescíveis a partir da celulose. O pré-tratamento foi aplicado variando três concentrações de grama em relação à massa de RFV (1%, 5% e 10%) para cada um dos dois tempos de co-armazenamento propostos (2 e 7 dias). Através da caracterização dos substratos pôde-se observar que a grama tem elevado teor de sólidos totais o que dificulta na operação dos reatores, porém os RFV têm teores de sólidos voláteis que apresentam bom indicativo de conversão em biogás, indicando que o co-armazenamento das amostras de grama e RFV pode facilitar a operação de plantas de biogás. No estudo pode-se observar que as maiores proporções de grama levaram aos menores efeitos do pré-tratamento. Por outro lado, nas amostras que continham menor proporção de grama o efeito do pré-tratamento mostrou-se eficiente, já que neste caso os ácidos provenientes dos RFV puderam entrar em contato com toda a massa de grama com maior facilidade. A melhor média de volume específico foi do tratamento de 7 dias de contato com 1% de grama, produzindo $463,53 \text{ LN CH}_4 \text{ kg SV}^{-1}$ seguida do tratamento 2 dias de contato com 1% de grama, com $420,57 \text{ LN CH}_4 \text{ kg SV}^{-1}$. Quando aumentou-se o tempo de contato de 2 para 7 dias notou-se um ganho de produção de biogás de 10% para estas concentrações de grama. Apesar dos resultados indicarem melhores eficiências em tempos de contato mais longos, para a concentração de grama à 10%, a produção de metano foi melhor em 2 dias: $343,68 \text{ LN CH}_4 \text{ kg SV}^{-1}$ do que quando comparamos com a produção obtida em 7 dias de contato: $331,23 \text{ LN CH}_4 \text{ kg SV}^{-1}$.

Palavras-chave: Pré-tratamento. Degradação. Lignina.

ABSTRACT

HERRERO, C.B. **CO-STORAGE OF GRASS AND FRUIT AND VEGETABLE RESIDUES AS A PRE-TREATMENT STRATEGY TO INCREASE THE PRODUCTION OF BIOGAS OF LIGNOCELLULOSIC RESIDUES.** 2019. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019.

One of the energy sources with potential for growth in the Brazilian energy matrix is energy from biomass, specifically biogas. From the production of biogas, waste generates energy and is also stabilized by anaerobic digestion, reducing risks previously offered to the environment. In order to be successful in the production of biogas from lignocellulosic substrates, it is necessary to apply pre-treatments that will aid the microorganisms in the breakdown of these structures. The objective of the study was to evaluate the effect of co-storage of grass and fruit and vegetable residues (RFV) on biogas production. The main purpose of pretreatment applied to lignocellulosic substrates is to improve the hydrolysis step, which occurs when there is facilitation of its conversion into fermentable sugars from the cellulose. The pre-treatment was applied by varying three gram concentrations to the mass of RFV (1%, 5% and 10%) for each of the two co-storage times proposed (2 days and 7 days). Through the characterization of the substrates, with an overview of a solids content, which makes difficult the operation of the reactors, since the volumetric information systems present an indicative signal of conversion into biogas. grass samples and RFV can facilitate the operation of biogas plants. In the study it can be observed that proportions of proportions are taken to exercise rights. On the other hand, in the samples that contain less importance of the RFV, the effect of the pre-treatment proved to be efficient, since in this case the derivatives from the RFV could come in contact with all the mass of greater consistency. The best mean volume was the treatment of 7 days of contact with 1% of production, 463.53 LN CH₄ kg SV⁻¹ followed by 2 days contact treatment with 1% of grass, with 420.57 LN CH₄ kg SV⁻¹. When the contact time of 2 days was increased to a biogas production gain of 10% for these units of grass. The results of the tests were improved at longer contact times, at a concentration of 10%, methane production was better in 2 days: 343.68 LN CH₄ kg SV⁻¹ than when compared to the production obtained in 7 days of contact 331.23 LN CH₄ kg SV⁻¹.

Key words: Biogas. Pretreatment. Co-storage. Lignin.

LISTA DE ABREVIATURAS, ACRÔNIMOS E SIGLAS

CIBiogás – Centro Internacional de Energias Renováveis – Biogás

ST – Sólidos Totais

SF – Sólidos Fixos

SV – Sólidos Voláteis

RFV – Resíduos de Frutas e Verduras

TC – Tempo de Contato

T2 – Tempo de 2 dias de Contato

T7 – Tempo de 7 dias de Contato

GR – Grama

IN – Inóculo

CE – Celulose

CT2 – Controle 2 dias de Contato

CT7 – Controle 7 dias de Contato

R1, R2 e R3 – Reator 1, Reator 2 e Reator 3

T2C1 – Tempo 2 dias de Contato e Concentração 1% de Grama;

T2C5 – Tempo 2 dias de Contato e Concentração 5% de Grama;

T2C10 – Tempo 2 dias de Contato e concentração 10% de Grama;

T7C1 – Tempo 7 dias de Contato e Concentração 1% de Grama;

T7C5 – Tempo 7 dias de Contato e Concentração 5% de Grama;

T7C10 – Tempo 7 dias de Contato e Concentração 10% de Grama;

P1, P2, P3 e P4 – Peso 1, Peso 2, Peso 3 e Peso 4

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte.....	16
Figura 2 – Variação do consumo setorial de eletricidade (2016/2017).....	17
Figura 3 – Fluxograma da Digestão Anaeróbia	19
Figura 4 – Estrutura Lignocelulósica	23
Figura 5 – Resíduos de frutas e vegetais triturados	27
Figura 6 – Preparo das amostras para o co-armazenamento	28
Figura 7 – Esquema de montagem do experimento.....	29
Figura 8 – Siglas dadas aos pré-tratamentos.....	29
Figura 9 – Amostras incubadas no banho-maria.....	31
Figura 10 – Leitura diária do biogás produzido	32
Figura 11 – Produção diária de metano amostras de Grama, CT2 e CT7	37
Figura 12 – Produção diária de metano dos pré-tratamentos	38
Figura 13 – Produção diária de metano das amostras T2C1, T2C5 e T2C10.....	39
Figura 14 – Produção diária de metano das amostras T7C1, T7C5 e T7C10.....	40
Figura 15 – Efeito do co-armazenamento na produção de metano das amostras	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Massa das amostras em termos de Sólidos Voláteis	30
Tabela 2 – Sólidos Totais, Fixos e Voláteis das amostras	35
Tabela 3 - Composição de CH ₄ em cada amostra	42
Tabela 4 – Volume específico de CH ₄ em cada amostra	42

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Pré-tratamentos associados ao aumento de produção de metano	24
--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 ENERGIAS RENOVÁVEIS	15
3.2 BIOGÁS E SUA OBTENÇÃO	17
3.3 DIGESTÃO ANAERÓBIA	18
3.4 A GRAMA COMO SUBSTRATO	21
3.5 PRÉ TRATAMENTO	23
3.5.1 Pré -Tratamento Químico	24
3.5.2 Pré -Tratamento Físico	25
3.5.3 Pré -Tratamento Biológico	25
4 METODOLOGIA	26
4.1 INÓCULO E SUBSTRATO	26
4.1.1 Inóculo	26
4.1.2 Substrato	26
4.1.3 Resíduos De Frutas E Vegetais (RFV)	27
4.2 PRÉ-TRATAMENTO	27
4.3 POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO (PBM)	30
4.4 MÉTODOS ANALÍTICOS	32
4.4.1 Análise De Sólidos	32
4.4.2 pH	33
4.4.3 Cromatografia Gasosa	34
4.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	34
5 RESULTADOS	35
5.1 CARACTERIZAÇÃO DO SUBSTRATO	35

5.2 DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL METANOGENICO.....	35
5.3 COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS.....	41
6 CONCLUSÃO	43
REFERÊNCIAS.....	44

1 INTRODUÇÃO

Conhecendo a demanda energética necessária pra suprir o desenvolvimento de novas tecnologias e o crescimento econômico do País, faz-se necessário garantir uma matriz energética diversificada. No Brasil, existem diversas fontes renováveis com potencial para implantação, porém, barreiras financeiras e tecnológicas são fatores limitantes a elas.

Uma das fontes energéticas com potencial de crescimento na matriz energética brasileira é a energia proveniente da biomassa, especificamente o biogás. A produção do biogás no Brasil está na maioria das vezes relacionada à produção agrícola, que é geradora de dejetos poluidores e que necessitam de tratamento antes de serem descartados no meio ambiente. Porém, devido ao pequeno volume desses dejetos gerados de forma pontual o tratamento se torna economicamente inviável. A melhor saída nesses casos pode ser a escolha do biogás como fonte de energia alternativa, já que ele transforma o problema gerado pelo volume dos resíduos em sua própria solução.

A partir da produção do biogás, os resíduos geram energia e também são estabilizados pela digestão anaeróbia, reduzindo riscos oferecidos anteriormente ao meio ambiente. Neste processo é gerado um subproduto que tem potencial para ser utilizado como fertilizante e pode ser aplicado nas lavouras da propriedade a que pertence, ou comercializado, gerando renda extra ao agricultor.

Muito se trata sobre a produção energia a partir de dejetos animais, entretanto, alternativas como a produção de biogás a partir de resíduos de podas verdes, de grama, de bagaço de cana-de-açúcar e até palha de milho já estão disponíveis. Contudo, esta nova geração de biomassa é constituída por compostos lignocelulósicos que são responsáveis por garantir estrutura e proteção ao crescimento da planta. As bactérias que agem na digestão anaeróbia não têm afinidade para degradar estruturas resistentes como a lignina presente nos vegetais.

Para que se possa obter êxito na produção do biogás a partir de substratos lignocelulósicos, se faz necessário à aplicação de pré-tratamentos que auxiliarão os microrganismos na quebra dessas estruturas. Assim, a seleção de um pré-tratamento eficiente e barato é essencial para aumentar a produção final de metano de uma unidade geradora.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a produção de biogás a partir de resíduos de grama armazenados com resíduos de frutas e vegetais.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Caracterizar os substratos a partir de parâmetros físico-químicos;
- b) Submeter os substratos ao co-armazenamento como forma alternativa de pré-tratamento em diferentes proporções e tempo de contato;
- c) Determinar o potencial bioquímico de metano por meio de testes em batelada;
- d) Avaliar as influências do tempo de contato e composição na produção de biogás.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 ENERGIAS RENOVÁVEIS

O desenvolvimento da sociedade atual baseia-se no fato de que o homem sempre extraiu da natureza os recursos que necessitava para suas atividades essenciais. Porém neste momento, enfrentamos o reflexo gerado a partir da problemática de consumir mais do que se pode receber do meio ambiente sendo que a sustentabilidade dos recursos naturais por muitas vezes foi ignorada. No contexto mundial, devido à importância do setor, o segmento que mais recebe atenção sobre assuntos referentes à sustentabilidade é o de energia (DUPONT; GRASSI; ROMITTI, 2015).

O consumo energético está intimamente ligado a questões que abrangem o estilo de vida da população como o acesso à educação, hábitos de consumo, acesso a serviços, renda per capita, desemprego entre outros fatores. É importante salientar que este consumo também varia de acordo com a região onde a população reside, sendo maior em grandes centros urbanos quando comparado a áreas rurais. Se faz necessário, portanto que haja uma solução energética com recursos mais acessíveis a abrangente a diferentes demandas (FERREIRA, 2018).

Em agosto de 2015, foram concluídas negociações sobre os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) que orienta as políticas nacionais e as atividades de cooperação internacional dos próximos quinze anos. O item 7 desse documento traz o objetivo de produzir energia acessível e limpa. Precisamente o texto presente no item 7.2 refere em aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global, até 2030 (BRASIL, 2017).

A matriz energética nacional tem uma situação muito diferente da matriz global. Enquanto no mundo todo ainda se consome majoritariamente energia de fontes não renováveis como o carvão, gás natural, petróleo e derivados, no Brasil o consumo de energia de fonte renovável é muito representativo na matriz energética (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2017).

A geração de energia elétrica no Brasil vem do serviço público e autoprodutores, sendo que as centrais de serviço público tiveram 83,5% da participação na geração total. A geração a partir de fontes não renováveis teve contribuição de 20,8% do total nacional que representa um aumento de 1,2% em 2017 relativos ao ano anterior. Dados de 2017 informam que 80,4% da oferta interna de energia brasileira são provenientes de fontes renováveis, sendo que 65,2% representa a contribuição das fontes hídricas (Figura 1). O principal consumidor final de toda essa energia é o setor agropecuário, que aumentou seu consumo em 1,7% no ano de 2017 quando comparado ao ano anterior (Figura 2) (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2018).

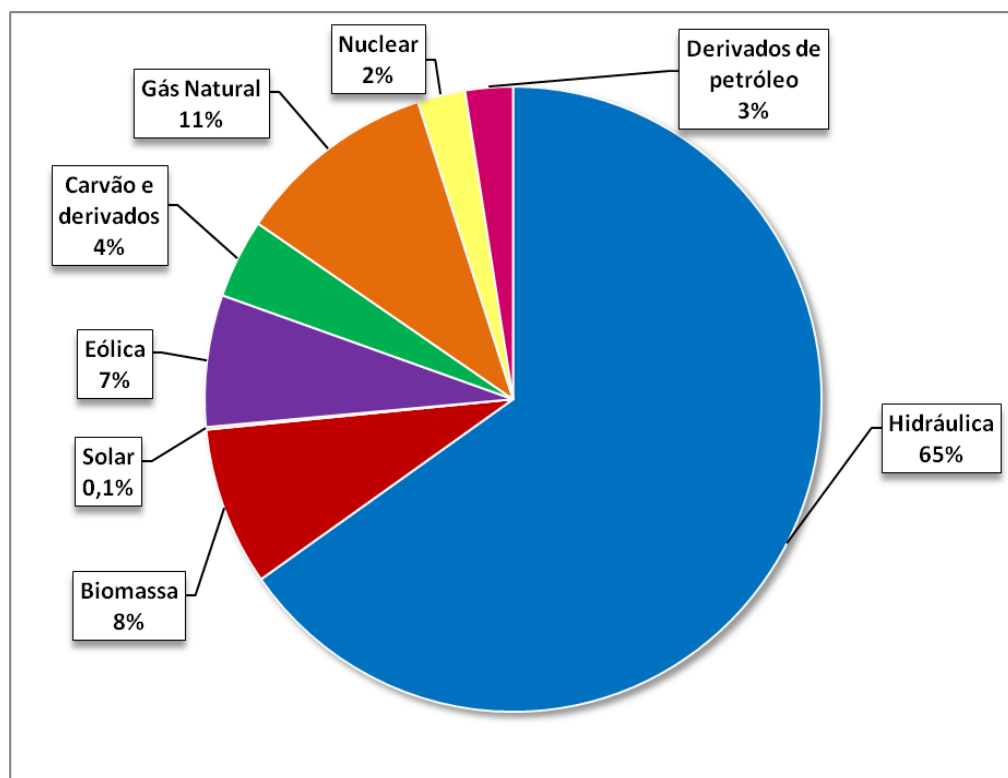


Figura 1 – Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte
Fonte: Adaptado de Balanço Energético Nacional (2018)

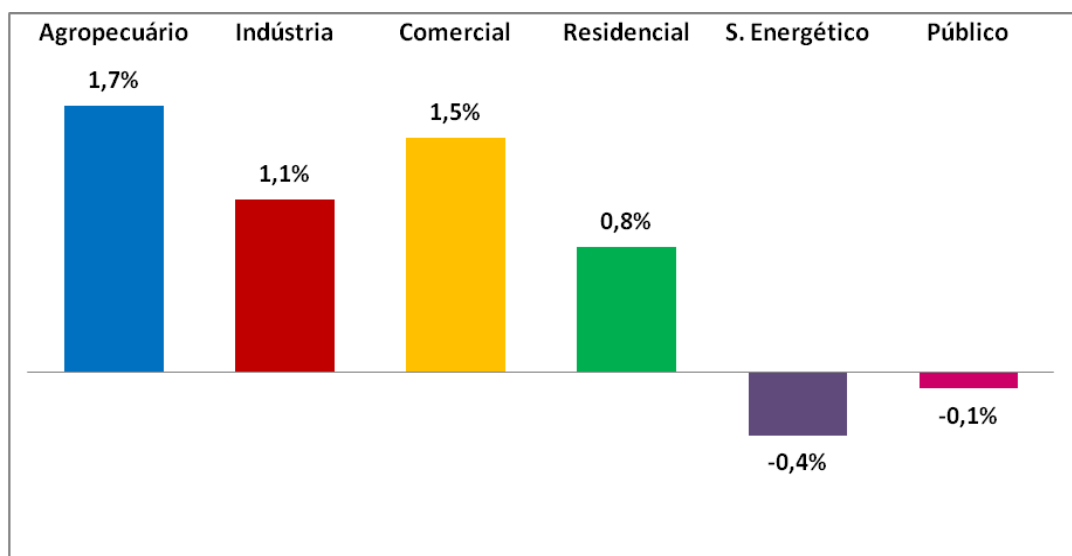


Figura 2 – Variação do consumo setorial de eletricidade (2016/2017)
Fonte: Adaptado de Balanço Energético Nacional (2018)

3.2 SOBRE O BIOGÁS

No caso da geração de energia por biomassa o potencial causador da poluição no meio ambiente é utilizado para geração de energia limpa. Após o enriquecimento da biomassa, esta pode ser utilizada de diversas formas, como na combustão direta, quando é queimada para geração de calor, produção de biogás, quando passa por um enriquecimento biológico para geração de biogás que por sua vez pode ser convertido em energia elétrica ou térmica (GÜLZOW, 2010).

A composição da biomassa é definida pelos materiais de origem orgânica podendo ser animal ou vegetal e ainda seus respectivos resíduos: dejetos, podas, bagaço, palha; que podem ser destinados para geração de energia. As fontes de biomassa são divididas em cultivos energéticos, resíduos de colheita, subprodutos e resíduos orgânicos (PEREIRA et al, 2015).

O biogás é uma mistura de gases composto, principalmente, por gás metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), também apresenta em menor quantidade nitrogênio (N_2), hidrogênio (H_2) e gás sulfídrico (H_2S). A concentração desses gases pode variar de acordo com o material que está sendo decomposto e também com a

eficiência do biodigestor, porém na maior parte dos estudos o metano representa de 40 a 80% do volume de gás enquanto o dióxido de carbono representa de 20 a 60%, as outras frações são representadas pela mistura de nitrogênio e hidrogênio podendo haver concentração mínima de outros gases como oxigênio, gás sulfídrico e monóxido de carbono (OLIVEIRA, 2009).

Além da quantidade de biogás produzida, é necessário que se obtenha um gás com qualidade, o que é alcançado através do processo de digestão anaeróbia. Com base nisso, pode-se caracterizar o gás e sugerir processos de purificação e armazenamento (GALBIATTI et al., 2009).

3.3 PROCESSO DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS

A digestão anaeróbia trata-se de um processo bioquímico complexo, que envolve a conversão de proteínas, carboidratos e lipídeos em metano. Para que a degradação ocorra são necessárias quatro etapas: hidrólise, acidogênese, acetanogênese e metanogênese (Figura 3), para garantir esse processo a presença de diferentes microrganismos agindo de forma simultânea é essencial. (ABREU, 2007).

Os reatores anaeróbios, onde acontece o processo de digestão, têm muitas vantagens: baixa produção de sólidos, baixo consumo de energia, baixo custo de implantação e de operação, baixo tempo de retenção hidráulica, além de tudo, as condições climáticas do Brasil contribuem para o bom funcionamento do mesmo, fazendo com que o país assuma uma posição líder no cenário mundial. Para que ocorra a digestão anaeróbia em um reator, é necessário que pelo menos três tipos de microrganismos estejam presentes: i) bactérias fermentativas ii) bactérias sintróficas e iii) microrganismos metanogênicos (AQUINO; CHERNICHARO, 2005).

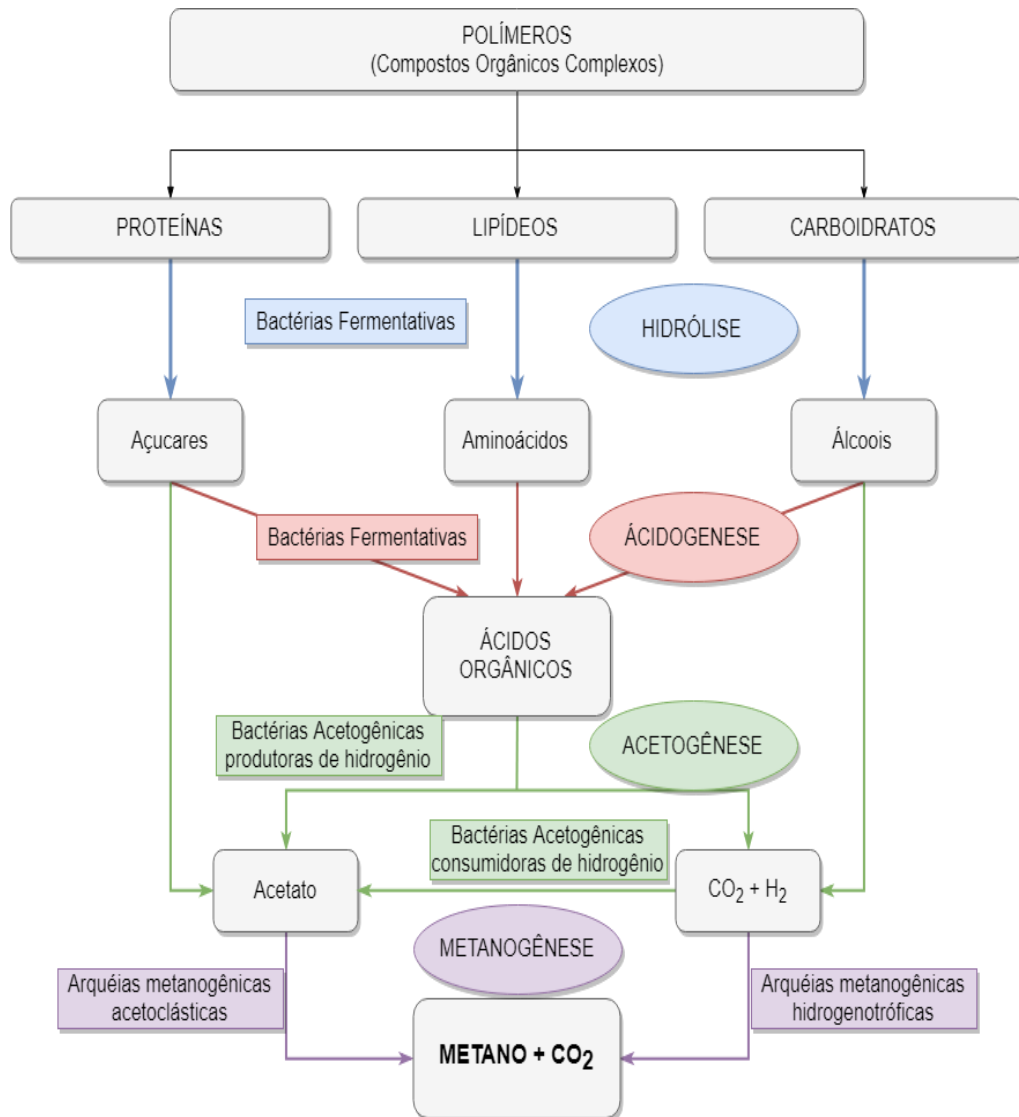


Figura 3 – Fluxograma da Digestão Anaeróbia

Fonte: Adaptado de Abreu, 2007 apud Mc Carty *et al.* (1982); Zehnder *et al.* (1982)

- Hidrólise

Através da ação de enzimas extracelulares de bactérias hidrolíticas, esta etapa age na conversão de materiais orgânicos insolúveis (lipídeos, proteínas e carboidratos) em substâncias orgânicas solúveis (aminoácidos ácidos graxos). Dependendo das características do substrato a ser degradado a velocidade de reação nesta etapa varia. Quanto mais complexo o substrato maior o tempo de reação,

assim, a hidrólise garante importância na velocidade global de degradação podendo ser considerada como etapa limitante, já quando o substrato não apresenta grande complexidade o tempo de reação é irrelevante (GERARDI, 2003).

- Acidogênese

Através do metabolismo de bactérias fermentativas acidogênicas os produtos gerados da etapa da hidrólise são absorvidos e convertidos em substâncias simples como ácidos graxos, alcoóis, ácido láctico e compostos inorgânicos. O grupo das bactérias acidogênicas é geralmente o mais recorrente dentre os demais, porém algumas têm comportamento facultativo metabolizando a matéria orgânica por meios oxidativos utilizando o oxigênio como aceptor de elétrons. Através desse mecanismo estas bactérias garantem que os resíduos de oxigênio dissolvido no sistema sejam eliminados melhorando o desempenho dos microrganismos estritamente anaeróbios, como as arqueias metanogênicas (ABREU, 2007).

- Acetanogênese

A etapa de acetanogênese é a etapa mais complexa do processo devido à quantidade de indivíduos e a exigência de equilíbrio que a etapa envolve. O processo é caracterizado pela relação de simbiose estabelecida entre as bactérias acetogênicas, as arqueas metanogênicas e as bactérias homoacetogênicas (ABREU, 2007).

As acetogênicas são responsáveis pela produção de acetatos: CH_3COO^- que serão em seguida metabolizados pelas arqueas metanogênicas. Elas podem ser distinguidas em dois grupos baseadas no seu metabolismo: as produtoras de hidrogênio e as consumidoras de hidrogênio.

As produtoras de hidrogênio só têm crescimento garantido em ambientes com baixas pressões de hidrogênio, o que acontece quando microrganismos

consumidores de hidrogênio estão presentes no sistema, como por exemplo, as metanogênicas hidrogenotróficas. Já as consumidoras de oxigênio, pode-se afirmar que são estritamente anaeróbias, catalisando a formação de acetato a partir de CO_2 e H_2 . A esse grupo são independentes as relações simbióticas mencionadas anteriormente (AMARAL, 2017).

- Metanogênese

A última etapa da biodigestão anaeróbia é representada pela metanogênese que ocorre a formação de metano pelos microrganismos através de dois diferentes grupos de arqueias: as acetoclásticas, responsáveis por degradar o acetato em metano e dióxido de carbono; e as hidrogenotróficas, que utiliza o hidrogênio como doador de elétrons e o dióxido de carbono como aceptor para produção de metano (AMARAL, 2017).

A maior contribuição na produção total de metano é dada pelas arqueias acetoclásticas, cerca de 70% do metano produzido é resultante da degradação do acetato. Além disso, em substratos que apresentam a presença de enxofre, ocorre a etapa da sulfetogênese. Nesta etapa ocorre a redução de sulfatos, sulfitos e outros compostos sulfurados em sulfetos. Devido à utilização de compostos intermediários na digestão anaeróbia, as bactérias metanogênicas alteram a dinâmica de seus metabolismos impactando negativamente na quantidade de metano no biogás gerado (CHERNICHARO, 2007 apud ABREU, 2007).

3.4 A GRAMA COMO SUBSTRATO

As gramíneas são componentes básicos em muitos cenários, além de agregar valor estético ao local tem muitas outras funções, como a estabilidade do solo,

prevenção de erosões causadas pelo vento ou pela água, redução da poeira nas residências, estabilização da temperatura do chão, favorecimento da infiltração no solo, além de proporcionar uma área para recreação. Existem muitas variedades de gramas que podem se adaptar ao tipo de uso requerido, existem as que crescem menos, as que têm grandes raízes, algumas requerem de mais cuidado que outras (MURDOCH et al., 1998).

Tratando-se de um vegetal a grama é composta, principalmente, de celulose em sua parede celular, sendo este, o composto orgânico mais abundante encontrado na natureza. Além da celulose, existe também a hemicelulose que está sempre associada a lignina e a celulose. Apesar de muito energético, esses compostos são de difícil degradação pelos microrganismos que necessitam de auxílio geralmente empregado no pré-tratamento termoquímico (DA COSTA SOUSA et al., 2009; DERERIE et al., 2011 apud CREMONEZ, 2013).

Dentro da energia renovável da biomassa se encontra um grupo específico de biomassa florestal, conhecido por: materiais lignocelulósicos, no qual a grama está inserida. Este grupo ainda pode ser subdividido em três categorias: materiais de colheita florestal (galhos, folhas, tocos e raízes); resíduos gerados no processamento de madeira; e madeira oriunda de florestas energéticas (SOUZA et al., 2011).

Para viabilizar a utilização desses materiais, é necessário que se conheça as características físicas e químicas que os compõe. Essas características terão grande poder influenciador no rendimento de energia, seja esta obtida através de processos termoquímicos como a combustão e a pirólise, em processos físicos como a densificação, ou até mesmo em processos biológicos, como a fermentação (digestão anaeróbia) (SOUZA et al., 2011).

O uso de cultivos lignocelulósicos é uma maneira mais sustentável para a produção de energia renovável do que o cultivo de cana de açúcar (bagaço e palha, por exemplo) já que os materiais lignocelulósicos, como a grama, podem ser cultivados em locais onde não é possível o manejo agrícola. Os materiais lignocelulósicos são compostos por três tipos de polímeros: celulose, hemicelulose e lignina, sendo que podemos considerar sua concentração de lignina em até 15%.

Ainda não há o uso de todo o potencial que os materiais lignocelulósicos podem oferecer em termos de biogás, embora altos rendimentos de metano possam ser alcançados. Sendo assim também não há muitos estudos que abordem pré-

tratamentos específicos para este tipo de substrato, o que se sabe é que o tamanho das partículas deve ser reduzido para que a etapa da hidrólise seja favorecida na digestão anaeróbia, diminuindo o tempo de reação. Há estudos que comprovam que reduzir o tamanho das partículas no pré-tratamento do substrato lignocelulístico pode aumentar de 21-65% a sua produção de metano. (FRIGON; GUIOT 2010)

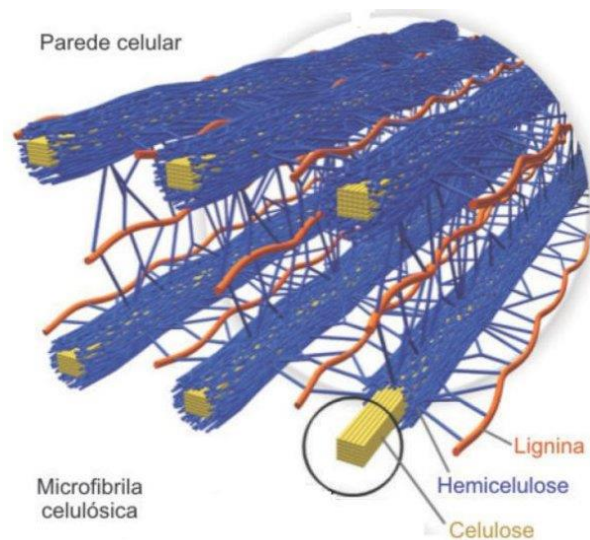


Figura 4 – Estrutura Lignocelulósica

Fonte: Cordeiro (2016)

3.5 PRÉ-TRATAMENTO

O objetivo principal do pré-tratamento aplicado a substratos lignocelulósicos é melhorar a etapa da hidrólise, isso ocorre quando há a facilitação da sua conversão em açúcares fermentescíveis a partir da celulose. Porém deve ser levada em consideração técnicas viáveis economicamente já que a digestão anaeróbia se trata de um procedimento simples e barato (FERNANDES et al., 2009 apud COSTA et al., 2013).

Muitas pesquisas estão em andamento para a tecnologia no pré-tratamento lignocelulósico. Entre elas a sacarificação a base de solvente, ácido diluído, amônia,

percolação de reciclagem de amônia, cal, vapor, estão sob intensiva investigação nos laboratórios. Ainda, pré-tratamentos específicos para aumentar a produção de metano na massa lignocelulósica foram revisados recentemente concluindo que vapor, cal, água quente e amônia se mostram eficientes. Na verdade, o aumento da produção de metano pode não ser o objetivo principal dos pré-tratamentos, mas sim reduzir o tempo de reação (FRIGON, 2010).

Quadro 1 – Pré-tratamentos associados ao aumento de produção de metano

Substrato Lignocelulósico	Pré Tratamento Químico	Aumento de Produção de Metano
Feno	Álcalis	17%
Folhas de Beterraba	2% NaOH 24hrs	
Palha	2% NaOH 72hrs	
Palha	3% Ca(OH) ₂ + 4% Na ₂ CO ₃ 72hrs	

Fonte: Adaptado de Frigon, 2010.

3.5.1 Pré-tratamento químico

Os pré-tratamentos com ácidos são comumente utilizados para substratos lignocelulósicos, porém devido à geração de inibidores como ácidos fenólicos e aldeídos podem ser menos atraentes. Além da geração de inibidores, devido a toxicidade e corrosividade da maioria dos ácidos, os reatores devem ser construídos de forma que suportam tais condições experimentais (SAHA et al., 2013).

Além do tratamento com ácidos, explorando os tratamentos químicos existem também algumas bases que oferecem aumento da porosidade da celulose e redução do grau de polimerização e cristalinidade, o que permite o acesso da celulose através da remoção da lignina. (BASTOS; ALINO, 2017)

3.5.2 Pré-tratamento físico

Existem diversos tipos de pré-tratamentos, podendo ser do tipo físico: moagem, irradiação, cisalhamento, esmagamento e pirólise. Todos com o objetivo de se diminuir o tamanho e a cristalinidade das partículas e aumentar suas superfícies de contato, acelerando o processo de hidrólise. Ainda, podem ser físico-químicos: hidrólise hidrotérmica, hidrólise com ácido diluído ou concentrado, hidrólise alcalina, explosão a vapor e hidrólise enzimática (VÁZQUEZ et al., 2007).

Objetivando o aumento da sua superfície específica de contato, capacidade de absorção, aceleração no processo de hidrólise e menores custos, moagem é o pré-tratamento mais utilizado por pesquisadores que buscam o aumento da produção do biogás (COSTA et al., 2013).

3.5.3 Pré-tratamento biológico

Quando comparado aos pré-tratamentos convencionais como os químicos e físicos, o pré-tratamento biológico pode ser considerado tão eficiente quanto estes além de ser seguro para o meio. Isso porque na natureza há uma diversidade de microrganismos que agem especificamente em biomassa celulósica e hemicelulósica. Além disso, devido as vantagens do tratamento biológico, como o baixo custo envolvido e pouca necessidade de energia, o mesmo pode ser combinado com outros pré-tratamentos a fim de aumentar ainda mais seus efeitos. (KUMAR; SHARMA, 2017)

4 METODOLOGIA

4.1 INÓCULO E SUBSTRATO

4.1.1 Inóculo

O inóculo utilizado para a digestão anaeróbia das amostras foi proveniente de um reator anaeróbio do Centro Internacional de Energias Renováveis - Biogás (CIBiogás), que opera com dejetos de bovinos e suínos visando manter um inóculo estabilizado e biologicamente ativo.

Para que as bactérias se adaptassem aos resíduos, foi necessário um período de aclimação de 20 dias. Nos quais, o inóculo permaneceu em contato com uma mistura de carboidratos, lipídeos, proteínas e outros componentes necessários para crescimento microbiológico.

4.1.2 Substrato

O substrato analisado foi uma mistura de espécies de grama coletadas nas áreas verdes da Itaipu Binacional, que está localizada na cidade de Foz do Iguaçu-PR. Para ser submetida ao pré-tratamento a grama foi triturada e seca em estufa à 60°C por 24 horas. Foram realizadas análises de sólidos totais (ST), fixos (SF) e voláteis (SV) segundo APHA (2005).

4.1.3 Resíduos de frutas e vegetais (RFV)

Os resíduos de frutas e vegetais utilizados no co-armazenamento foram adquiridos no comércio local da cidade de Medianeira-PR, sendo composto por 125 g de cada um dos itens a seguir: banana, laranja, melão, abacaxi, batata, beterraba, tomate e cenoura. Os alimentos foram picados e adicionados no liquidificador onde foram triturados até chegar ao ponto de uma pasta (Figura 5).



Figura 5 – Resíduos de frutas e vegetais triturados
Fonte: A autoria própria

4.2 PRÉ-TRATAMENTO

O pré-tratamento foi aplicado variando três concentrações de grama (1%, 5% e 10%) em relação à massa de RFV para cada um dos dois tempos de co-armazenamento propostos (2 dias e 7 dias). Para as amostras de controle, foram pesados em um béquer e em balança analítica 100,0 g de RFV.

Para o preparo das amostras à concentração 1% foi adicionado 1,0 g de grama e 99,0 g de RFV. Para a concentração de 5%, foram pesados, em balança analítica, 5,0 g de grama e 95,0 g de RFV, ambos foram transferidos um béquer. Por fim, para a concentração referente a 10%, foram pesados, em balança analítica, 10,0g de grama e 90,0g de RFV, e transferidos para um béquer (Figura 6).

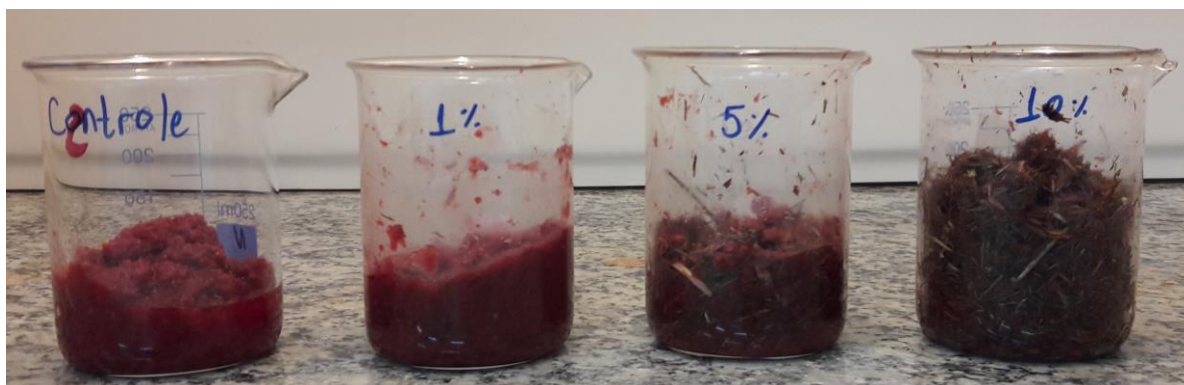


Figura 6 – Preparo das amostras para o co-armazenamento
Fonte: Autoria própria

Além das amostras preparadas para o pré-tratamento, foram pesadas amostras da grama seca e triturada, celulose microcristalina e inóculo para fins de validação do procedimento. O preparo das amostras foi repetido com as mesmas concentrações para o segundo tempo de co-armazenamento proposto. Ou seja, foram utilizadas duas amostras de cada concentração (1%, 5% e 10%), uma para cada tempo de contato, sendo: 2 dias (T2) e 7 dias (T7).

Os ensaios foram realizados em triplicata para garantir a repetibilidade do procedimento e foi adotada a média das triplicatas para os cálculos posteriores (Figura 7). Os tratamentos permaneceram em contato com o substrato pelo tempo previsto para cada um (dois e sete dias) em temperatura ambiente até a incubação (Figura 8).

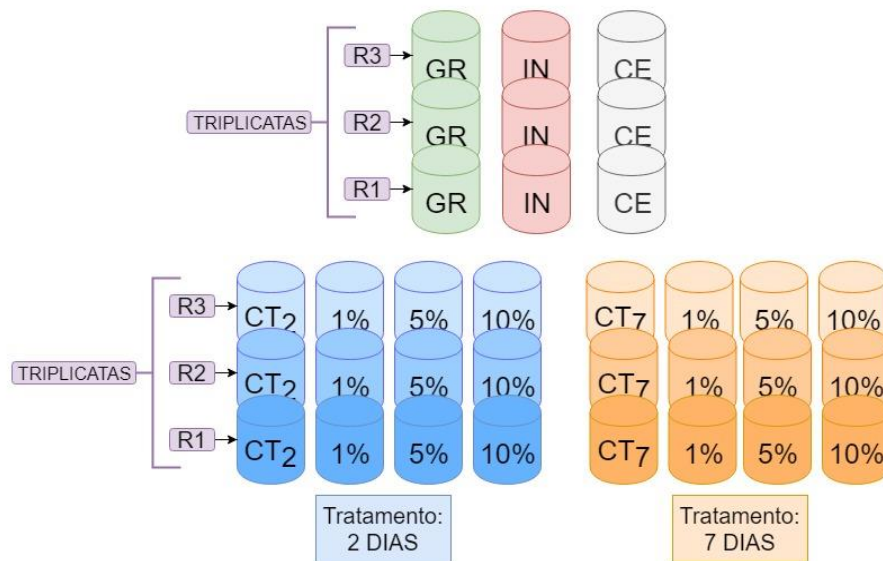


Figura 7 – Esquema de montagem do experimento
Fonte: Autoria própria

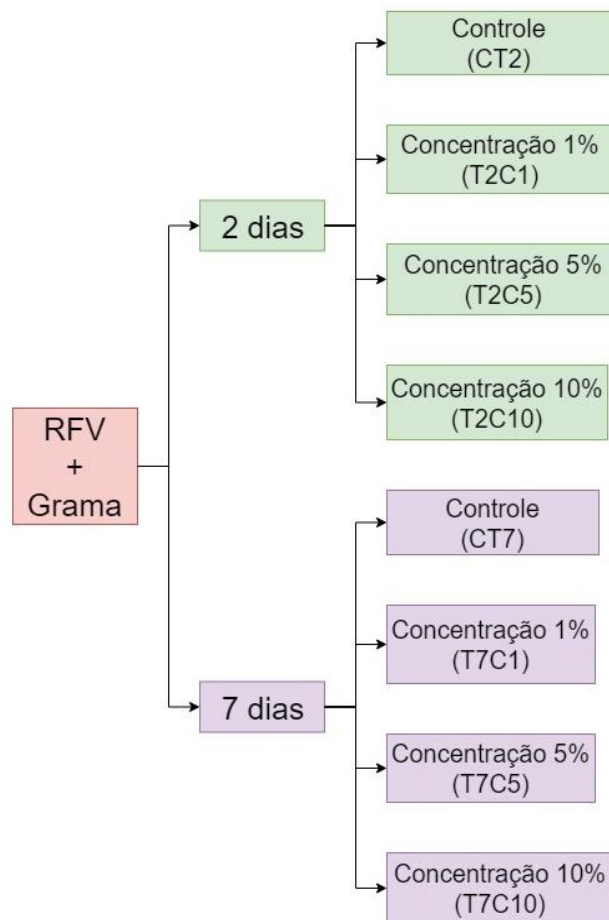


Figura 8 – Siglas dadas aos pré-tratamentos
Fonte: Autoria própria

4.3 POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO (PBM)

Para a incubação das amostras de grama pré-tratadas, foram adicionados aproximadamente 50,0 mL do inóculo já aclimatado pelo período de 20 dias, em frascos de vidro hermeticamente fechados com capacidade de 100,0 mL respeitando a relação 1:3 (SV Substrato/SV Inóculo), aos frascos de incubação foram colocadas, aproximadamente, 1g da massa preparada no pré-tratamento, os valores referentes aos sólidos voláteis de cada amostra estão explicitados na Tabela 1. Em seguida, os frascos foram lacrados e com auxílio de uma agulha circulou-se gás nitrogênio em seus interiores visando garantir um ambiente anaeróbio desde o início do teste. Finalmente, foram levados à banho-maria (Figura 9) em temperatura controlada de 37°C e pressão ambiente por 30 dias.

Tabela 1 - Massa das amostras em termos de Sólidos Voláteis

	2 dias				7 dias			
	SV (g)		SV (%)		SV (g)		SV (%)	
	Gramma	RFV	Gramma	RFV	Gramma	RFV	Gramma	RFV
1%	0,79	10,19	7,22	92,78	0,79	8,74	8,32	91,68
5%	3,97	9,78	28,85	71,15	3,97	8,39	32,1	67,9
10%	7,93	9,27	46,12	53,88	7,93	7,95	49,95	50,05

Fonte: Autoria Própria



Figura 9 – Amostras incubadas no banho-maria
Fonte: Autoria própria.

A pressão do volume de biogás produzido durante a incubação foi lido diariamente com auxílio de manômetro digital (modelo: HT-1890 Auto-Off) e, seringa de 50 mL, duas agulhas e tubos conectores de silicone (Figura 10). Antes de realizar a leitura, os frascos eram virados de ponta-cabeça uma ou duas vezes, afim liberar gases que pudessem estar presentes na fração líquida.



Figura 10 – Leitura diária do biogás produzido
Fonte: Autoria própria.

4.4 MÉTODOS ANALÍTICOS

4.4.1 Análise de Sólidos

A amostra do substrato foi preparada permanecendo na estufa por 24 horas a 60°C, após esse período foi triturada para análise dos sólidos. Para esta análise, foram utilizadas três cápsulas que permaneceram na mufla à 550 °C por 1 hora e, posteriormente, no dessecador por 1 hora, após esse período realizou-se a pesagem das cápsulas em balança analítica e o valor foi anotado como P1.

Para cada cápsula colocou-se 10 g da amostra do substrato (grama) ou no caso da análise dos sólidos do inóculo: 10 mL do inóculo. O valor obtido na pesagem da cápsula com a amostra foi anotado como P2.

Em seguida, as cápsulas permaneceram em uma estufa com recirculação de ar por 12 horas à 105°C e, posteriormente, foram levados ao dessecador para resfriar por 1 hora. O valor da pesagem da cápsula com a amostra seca foi anotado como P3.

Finalmente, seguiram para a mufla por mais 1 hora a 550°C e então ao dessecador até resfriaram por aproximadamente 1 hora, e então se anotou os pesos como P4. As porcentagens de sólidos totais, voláteis e fixos foram calculadas a partir das equações 1, 2 e 3 respectivamente.

$$\frac{(P3-P1).100}{P2} = \% \text{ Sólidos Totais (1)}$$

$$\frac{(P3-P4).100}{P2} = \% \text{ Sólidos Voláteis (2)}$$

$$(\%ST) - (\%SV) = \% \text{ Sólidos Fixos (3)}$$

4.4.2 pH

A análise do inóculo foi realizada diretamente no meio líquido em que se encontra, através do pHmetro digital. Enquanto a análise do substrato foi preparada, devido ao fato de mesmo ser constituído de um material sólido.

Foram transferidas para um becker 100 mL de água destilada e 20 g da amostra de grama bruta. Essa solução permaneceu em mistura no agitador magnético por 5 minutos. Após essa etapa, a amostra repousou por 1 hora, quando ocorreu a decantação natural, assim foi possível coletar o sobrenadante para análise em pHmetro digital.

4.4.3 Cromatografia gasosa

Para analisar a composição do biogás foi utilizado o cromatógrafo disponível no laboratório L33 da UTFPR-Medianeira da marca PerkinElmer e modelo Clarus 680 CG. Através da conversão de áreas estabelecidas no cromatograma comparando com as áreas de biogás padrão, foi possível determinar os teores de metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) das amostras incubadas.

O biogás padrão foi transferido de um cilindro para um balão de ar, a fim de simular a pressão do biogás em cada frasco. Em seguida, foram transferidos 0,5 mL do volume do balão para uma seringa de vidro. A seringa foi então posicionada no leitor do cromatógrafo e a amostra foi injetada durante 5 segundos. O mesmo procedimento se repetiu para as amostras do pré-tratamento incubadas.

4.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Afim de verificar se houve diferença significativa entre as médias dos tratamentos aplicou-se a análise de variância (ANOVA). Para indicar quais os pré-tratamentos possuíam diferença significativa aplicou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$), que é baseado em comparações múltiplas.

Na aplicação do teste de Tukey utilizou-se significância de 5% (α), ou seja, o intervalo de confiança para cada parâmetro foi de 95%. Para isso utilizou-se o número de ensaios dos pré-tratamentos (n) igual a 18, o número de parâmetros (l) igual a 6 contemplando todos os pré-tratamentos propostos e finalmente pôde-se calcular os graus de liberdade do experimento ($l-n$) igual a 12. Desta forma, pôde-se verificar quais dos pré-tratamentos propostos obtiveram os melhores efeitos e se houve diferença significativa entre eles.

5 RESULTADOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO SUBSTRATO

Através da caracterização dos substratos, apresentados na Tabela 2, pôde-se observar que a grama tem elevado teor de sólidos totais (86,4%) o que dificulta na operação dos reatores. Segundo Soares (2015), a quantidade de sólidos voláteis da amostra está relacionada com o volume teórico de biogás produzido, quanto maior o teor de sólidos voláteis, maior a produção teórica de biogás.

Já as amostras de RFV (CT2 e CT7) devido ao baixo teor de ST têm facilidade de degradação nos reatores. Estudos como o de Leite et al. (2009) encontraram também valores elevados para os sólidos totais voláteis de resíduos sólidos vegetais, 83,6%, que apresenta um bom indicativo de conversão em biogás, indicando que o co-armazenamento das amostras de grama e RFV pode facilitar a operação de plantas de biogás.

Além da presença de sólidos totais e voláteis, outra variável importante no processo de degradação da lignina presente na grama pela presença de RFV, é o pH ácido da mistura. O ácido presente nas amostras de RFV é que vai auxiliar a quebra da lignina da grama possibilitando a biodigestão anaeróbia.

Um inóculo apto ao teste teria pelo menos 50% de SV, o inóculo utilizado apresentou 60,8% de sólidos voláteis. Os valores de sólidos totais, fixos e voláteis referente as amostras estão expostos na Tabela 2.

Tabela 2 – Sólidos Totais, Fixos e Voláteis das amostras

Amostra	ST (%)	SF (%)	SV (%)	pH
Grama	86,4	8,1	91,8	-
CT2	9,7	9,3	90,6	4,88
CT1	11,2	8,4	91,6	4,31

Fonte: Aatoria Própria

5.2 DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL METANOGÊNICO

A qualidade do inóculo pode ser conhecida através do potencial de degradação de substratos padrões, como o acetato e a celulose, de acordo com Soares (2015). Neste teste foi utilizado celulose microcristalina (CC), sabendo que para ser validado o inóculo deve atingir de 740 a 750 $L_N CH_4 kg SV^{-1}$, ou no mínimo 80% deste valor, segundo a norma VDI 4630 (2006).

No período de incubação das amostras, a celulose foi incubada com o inóculo para validação dos testes. A média das triplicatas da produção específica de biogás acumulada foi de 671 $L_N CH_4 kg SV^{-1}$ para a celulose, sendo que esse valor representa 88,3% do valor médio padrão, validando desta forma o teste.

Através da Figura 12, pode-se analisar a produção acumulada de metano da amostra de grama bruta e dos RFV para CT2 e CT7. Esse controle foi necessário para que ao final da pesquisa fosse possível comparar o valor de metano obtido pelas amostras de interesse submetidas ao pré-tratamento. Ao final do período de incubação, as amostras de grama alcançaram a produção de 217 $L_N CH_4 kg SV^{-1}$, enquanto as amostras de RFV produziram $421 \pm 0,8$ e $428 \pm 0,1 L_N CH_4 kg SV^{-1}$ de metano para CT2 e CT7 respectivamente.

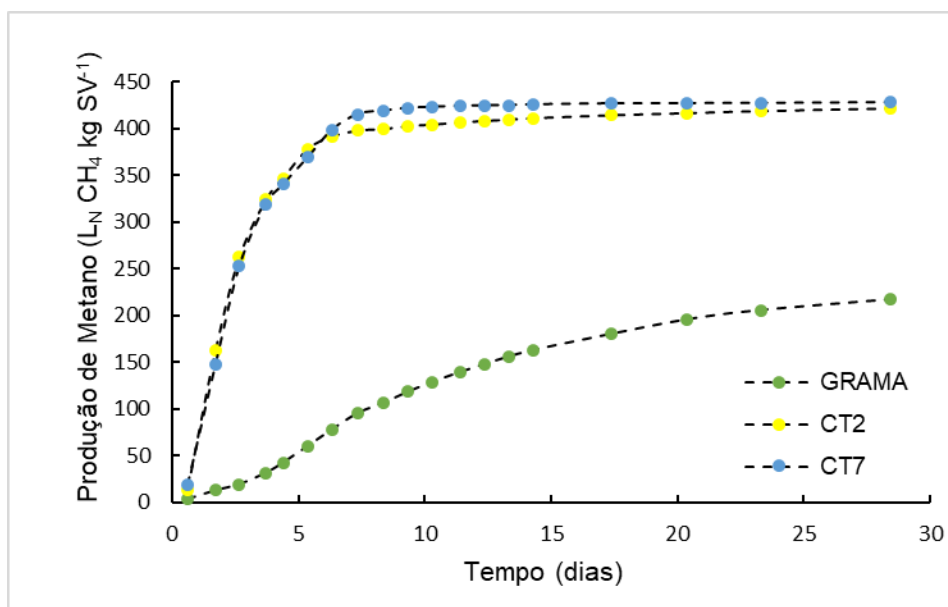


Figura 11 – Produção diária de metano amostras de Grama, CT2 e CT7
Fonte: Autoria própria

Através do comportamento das curvas que representam a produção acumulada de biogás para os pré-tratamentos propostos, nota-se que onde estavam as maiores proporções de grama estavam também os menores efeitos do pré-tratamento. Esse comportamento pode ser justificado pelo fato de que nestas misturas a proporção de RFV é conseqüentemente menor e se mostrou incapaz de umidificar toda a massa de grama existente, sendo insuficiente para que os ácidos presentes entrassem em contato com a grama produzindo o efeito desejado de degradação sobre a lignina.

Por outro lado, nas amostras que continham menor proporção de grama o efeito do pré-tratamento mostrou-se eficiente, já que neste caso os ácidos provenientes dos RFV puderam entrar em contato com toda a massa de grama com maior facilidade, agindo sobre a lignina e auxiliando na degradação da matéria orgânica, como demonstrado na Figura 13.

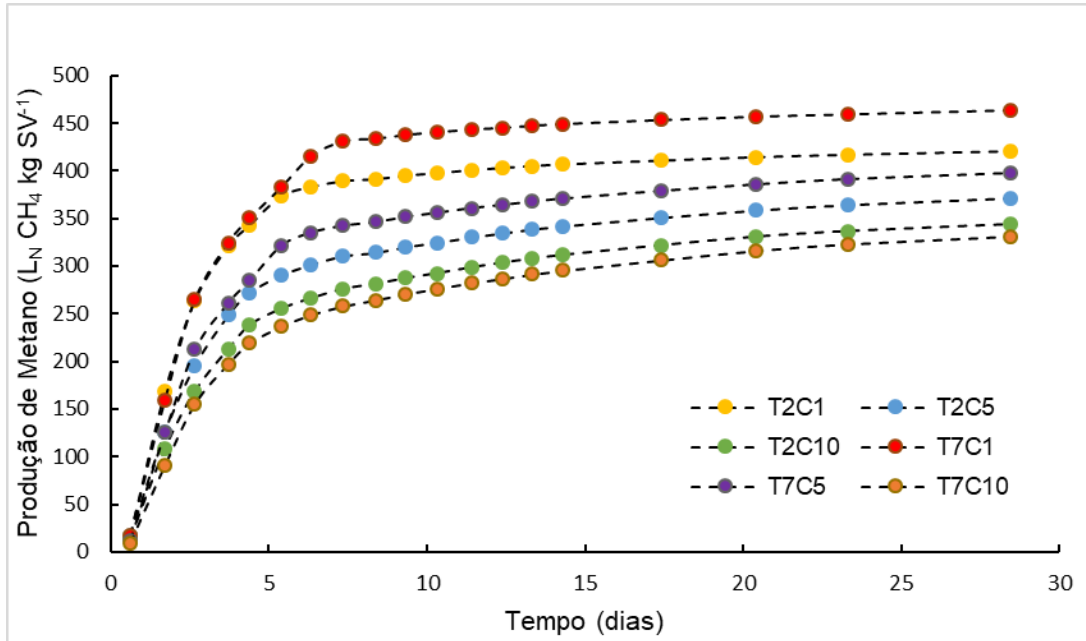


Figura 12 – Produção diária de metano dos pré-tratamentos
Fonte: Autoria própria

Sobre a variável tempo de contato, nota-se que quando comparadas as mesmas concentrações para tempos diferentes, observa-se melhor produção de biogás no tempo de 7 dias para os casos de 1% e 5% de concentração de grama. Já para 10% o resultado foge ao comportamento anterior e a melhor produção de biogás é referente ao tempo de contato de 2 dias. Os resultados obtidos estão expostos na Tabela 4.

Para o tempo de contato de 2 dias os resultados de produção de metano obtidos aos tratamentos foram: 421, 371 e 344 $L_N CH_4 \text{ kg SV}^{-1}$ para T2C1, T2C5 e T2C10 respectivamente. Os resultados estão explicitados na Figura 14.

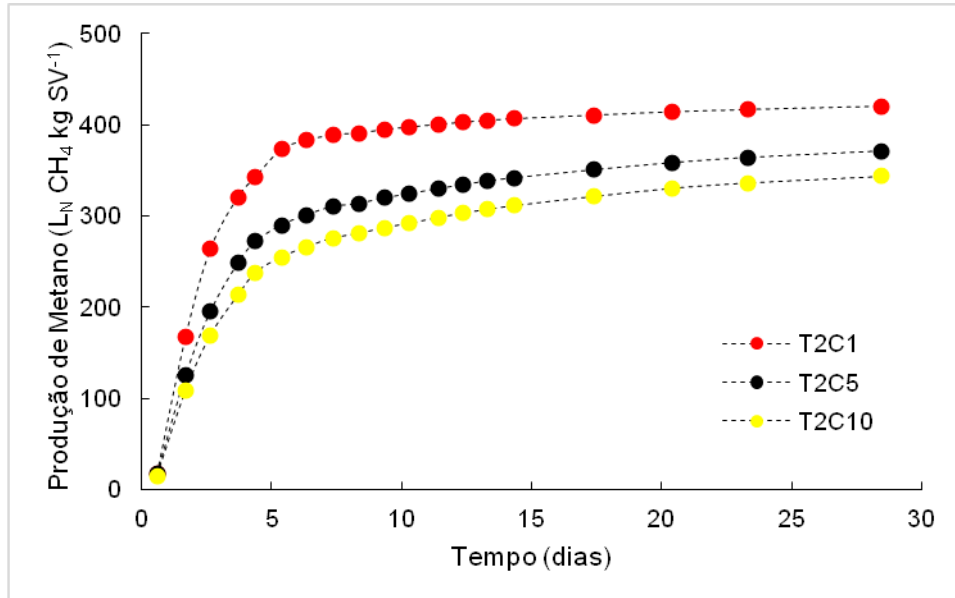


Figura 13 – Produção diária de metano das amostras T2C1, T2C5 e T2C10

Fonte: Autoria própria

Para o co-armazenamento referente a 7 dias os resultados obtidos na produção de metano foram: 464, 398 e 331 LN CH₄ kg SV⁻¹ para T7C1, T7C5 e T7C10 respectivamente. Os resultados estão explicitados na Figura 15.

Quando aumentou-se o tempo de contato de 2 para 7 dias notou-se um ganho de 9% na produção de biogás do tratamento C1. Já para o tratamento C5 esse ganho é de 7% e observando o tratamento C10 notou-se que não houve um percentual de ganho, mas sim uma perda de 2% na produção do biogás, pode-se acompanhar os efeitos na Figura 15.

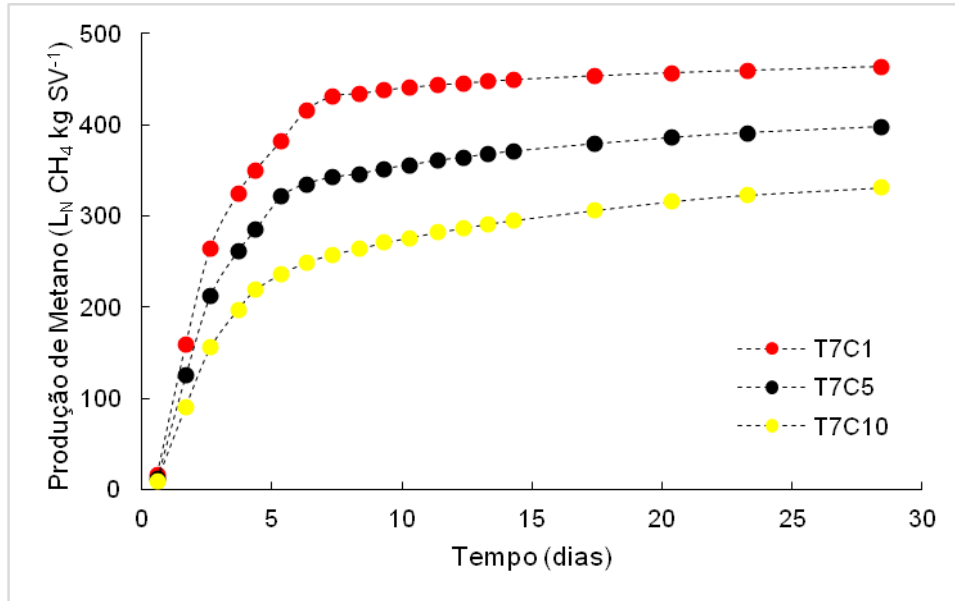


Figura 14 – Produção diária de metano das amostras T7C1, T7C5 e T7C10
Fonte: Autoria própria

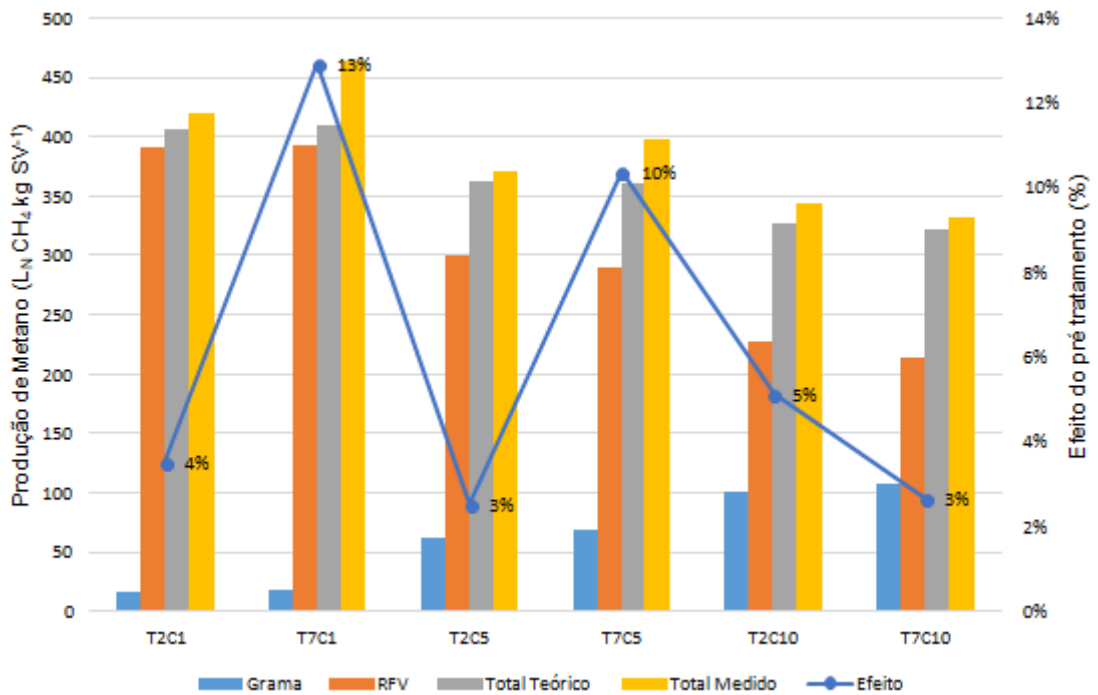


Figura 15 – Efeito do co-armazenamento na produção de metano das amostras
Fonte: Autoria própria

Os testes estatísticos aplicados explicitaram que existe diferença significativa na variável tempo quando tratamos da concentração à 1% de grama. Neste caso pôde-se afirmar que em baixa concentração o tempo de contato interfere na produção de biogás, sendo que quando menor a concentração e maior o tempo melhor o efeito do pré-tratamento.

Já em concentrações de 5% de grama, a variável tempo de contato não se mostrou significativa. O mesmo acontece para concentração de 10%, não houve diferença significativa referente ao tempo de contato, ou seja, em concentrações acima de 1% o tempo de contato não influenciou na produção de biogás.

5.3 COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS

Através da composição de metano encontrada em cada amostra, Tabela 3, pôde-se notar que a amostra com maior concentração de metano presente no biogás foi a amostra CT7 com 63,52% de metano. Já era de se esperar tal resultado devido a quantidade de sólidos voláteis presentes nessa amostra livre de grama. Das amostras do pré-tratamento, o melhor resultado para produção de metano foi T7C1, com aproximadamente 62% de CH₄ presente no biogás.

Pode-se observar também, que o potencial de produção de metano da grama foi otimizado mesmo nos tratamentos que obtiveram menores teores de produção de metano. Na ausência de pré-tratamento, a grama alcançou a produção de 54,42% de CH₄ enquanto mesmo o pré-tratamento que teve menor rendimento (T2C10) aumentou sua produção em aproximadamente 5%.

Tabela 3 - Composição de CH₄ em cada amostra

Amostra	Metano (%)	CV (%)
IN	60,64	1,23
GR	54,42	0,11
CT2	59,13	3,29
CT7	63,52	0,57
T2C1	59,72	0,88
T7C1	61,97	0,28
T2C5	57,20	0,17
T7C5	58,96	0,27
T2C10	56,89	0,34
T7C10	57,07	0,49

Fonte: Autoria Própria

Sobre o volume específico de metano produzido entre as amostras dos pré-tratamentos propostos, a melhor média também foi do tratamento T7C1 com 463,53 L_N CH₄ kg SV⁻¹. A sequência dos pré-tratamentos que produziram em maiores quantidades está relacionada com as menores concentrações de grama seguida do maior tempo de exposição: T2C1 com 420,57 L_N CH₄ kg SV⁻¹ e T7C5 com 397,63 L_N CH₄ kg SV⁻¹. Já os resultados que apresentaram as menores respostas ao pré-tratamento foram as amostras com maiores concentrações de grama: T7C10 e T2C10 com 331,23 e 343,68 L_N CH₄ kg SV⁻¹ respectivamente. Observa-se o volume produzido em cada amostra na Tabela 4.

Tabela 4 – Volume específico de CH₄ em cada amostra

Pré-Tratamento	CH₄ (L_N CH₄ kg SV⁻¹)	CV (%)
T7C1	463,53	0,00
T2C1	420,57	0,05
T7C5	397,63	0,06
T2C5	371,32	0,00
T2C10	343,68	0,03
T7C10	331,23	0,05

Fonte: Autoria Própria

6 CONCLUSÃO

Através da metodologia aplicada pôde-se analisar os efeitos obtidos no co-armazenamento de resíduos de frutas e vegetais sobre a grama para produção do biogás. Contudo, os resultados dessa pesquisa indicam que para os tempos de contato e concentrações propostas, os efeitos do co-armazenamento como alternativa de pré-tratamento foram mais eficientes quando aplicados em concentrações de grama de 1%.

Os resultados da produção do biogás demonstraram que os ácidos presentes nos resíduos de frutas e verduras foram capazes de degradar a lignina presente na grama fazendo aumentar sua produção de metano em até 94%, no caso de concentração de 1% de grama com tempo de contato de 7 dias, resultando em um volume específico de $463,53 \text{ L}_N \text{ CH}_4 \text{ kg SV}^{-1}$.

Como sugestão para próximos estudos, a proposta é avaliar o comportamento do co-armazenamento dos resíduos de frutas e vegetais e grama em um intervalo de tempo superior a 7 dias, já que os resultados indicam que aumentar o tempo de contato pode ser o caminho para maior obtenção de biogás.

REFERÊNCIAS

ABREU, F. D. Érika; **Estudo da diversidade microbiana metanogênica em reatores uasb tratando esgoto sanitário**. UFMG - Belo Horizonte, 2007.

ARAÚJO, Marlene de; GOES, Tarcizio; **Energias alternativas fortalecem a matriz energética**. Revista de Política Agrícola. Ano XVIII – Nº 4 – Out./Nov./Dez. 2009

AQUINO, F. Sérgio; CHERNICHARO, A. L. Carlos; **Acúmulo de ácidos graxos voláteis (AGVS) em reatores anaeróbios sob estresse: Causas e estratégias de controle** - Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol.10 - Nº 2 - abr-jun, 152-161, 2005.

AMARAL, C. D. André; **Digestão anaeróbia de dejetos suíno: Potencial bioquímico de metano e a influência de estratégias operacionais**. UNIOESTE, Cascavel, 2017.

BASTOS, J.A.; ALINO, J.H.L. **Influência do pré-tratamento termoquímico de grama na produção de biogás**. 2017. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2017.

COSTA, Adriana Guimarães et al. **Geração de metano a partir de resíduos lignocelulósicos oriundos da produção do biocombustível: revisão**. Revista Dae, [s.l.], v. 62, n. 194, p.36-51, 2014. Editora Cubo Multimídia.

CORDEIRO, M. A. **Estudo da hidrólise enzimática do caroço de açaí (euterpe oleraceae mart) para a produção de etanol** / Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Belém, 2016..

CREMONEZ, A. Paulo; FEIDEN, Armin; ZENATTI, C. Dilcemara; CAMARGO, P. D. Mariele; NADALETI, C. Willian; ROSSI, D. Eduardo; ANTONELLI, Jhonathas; **Biodigestão anaeróbia no tratamento de resíduos lignocelulósicos**. Revista Brasileira de Energias Renováveis, v. 2, p. 21-35, 2013.

DUPONT, Fabrício Hoff; GRASSI, Fernando; ROMITTI, Leonardo. **Energias Renováveis: buscando por uma matriz energética sustentável**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental - Santa Maria, v. 19, n. 1, Ed. Especial, p. 70 – 81

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 11 mai. 2018.

FERREIRA, Wemerson Rocha. **Análise do potencial energético territorial do biogás proveniente de aterros sanitários para inserção na matriz elétrica do estado de Minas Gerais no horizonte de 2050** / Wemerson Rocha Ferreira. - 2018. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia

FRIGON, Jean-Claude; GUIOT, R. Serge. **Biomethane production from starch and lignocellulosic crops: a comparative review**. National Research Council of Canada, Montreal, 2010.

GALBIATTI, A. João; CAMELO, D. Anaira; SILVA, G. Flavia; GERARDI A. B. Eliana; CHIACONATO, A. Denise. **Estudo quali-quantitativo do biogás produzido por substratos em biodigestores tipo batelada**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.14, n.4, p.432–437, 2010 Campina Grande, PB, UAEEA/UFPA

GERARDI, Michael H. **The microbiology of anaerobic digesters** / ISBN 0-471-20693-8 (cloth) 1. Sewage sludge digestion. 2. Anaerobic bacteria. I. Title. 2003.

GÜLZOW, **Guia Prático do Biogás: Geração e Utilização**. 5ª edição, totalmente revista e atualizada, Gülzow, 2010.

GOVERNO DO PLANALTO. Disponível em: <<http://www4.planalto.gov.br/ods/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel/7-energia-acessivel-e-limpa/metad>> Acesso em: 11 mai. 2018.

KUMAR, A. K.; SHARMA, S. **Recent updates on different methods of pretreatment of lignocellulosic feedstocks: a review.** 2017. 4:7 Bioprocess. DOI 10.1186/s40643-017-0137-9

MURDOCH, Charles; DEPUTY, James; HENSLEY, David; TAVARES James; **Adaptation of Turfgrasses in Hawaii** - College of Tropical Agriculture & Human Resources. University of Hawaii at Manoa, 1998

OLIVEIRA, D.E. Rafael; **Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em abatedouros e as possibilidades no mercado de carbono.** USP - São Carlos, 2009

PEREIRA, S. Murilo; GODOY, P. Taís; GODOY, P. Leoni; BUENO, P. Wagner; WEGNER, D. S. Roger; **Energias renováveis: biogás e energia elétrica provenientes de resíduos de suinocultura e bovinocultura na UFSM** - Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria, v. 19, n. 3, set-dez. 2015, p. 239-247

ROSSI, Eduardo & Lindino, Cleber & Dos Santos, Kenia & Bariccatti, Reinaldo & Cremonez, Paulo & Antoneli, Jhonatas & Nadaleti, Willian. (2014). **Pré-tratamentos na produção de etanol de segunda geração.** Revista Monografias Ambientais. 13. 10.5902/2236130813596.

Saha BC, Iten BL, Cotta M, Wu YV (2005) **Dilute acid pretreatment, enzymatic saccharification, and fermentation of rice hulls to ethanol.** Biotechnol Prog 21:3816–3822

SOARES, J N. **Potencial de Produção de Biogás da Codigestão Anaeróbia de Resíduos de Frutas e Verduras e Lodo de Esgoto Primário** / Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico. Programa e Pós-Graduação em Engenharia Química. Jonatan Neitzel Soares – Florianópolis, SC, 2015

SOUZA, M. S. Marina; DA SILVA, A. Dimas; ROCHADELLI, Roberto; DOS SANTOS, C. Rosimeire; **Estimativa de poder calorífico e caracterização para uso energético de resíduos da colheita e do processamento de pinus taeda**. Floresta, Curitiba, PR, v. 42, n. 2, p. 325 - 334, abr./jun. 2012.

VÁZQUEZ, M., OLIVA, M., TÉLLEZ-LUIS, S. J., RAMÍREZ, J. A. **Hydrolysis of sorghum straw using phosphoric acid: evaluation of furfural production**. Bioresour. Technol., 98, 3053–3060, 2007.

VDI - VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE. VDI 4630: **Fermentation of organic materials Characterisation of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests**. Düsseldorf, 2006.