

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ

THAÍS CRISTINA MORAIS VIDAL

**GERAÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS DAS AGROINDÚSTRIAS DE
BANANA E PALMITO PUPUNHA**

CASCATEL
PARANÁ – BRASIL
FEVEREIRO – 2014

THAÍS CRISTINA MORAIS VIDAL

**GERAÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS DAS AGROINDÚSTRIAS DE
BANANA E PALMITO PUPUNHA**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura, para obtenção do título de Mestre.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Armin Feiden

COORIENTADORAS: Prof.^a. Dra. Francisca Alcivânia de Melo Silva, Prof.^a. Dra. Kátya Regina de Freitas

CASCADEL
PARANÁ – BRASIL
FEVEREIRO – 2014

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

Ficha catalográfica elaborada por Jeanine da Silva Barros CRB-9/1362

V546g Vidal, Thaís Cristina Morais
Geração de biogás a partir de resíduos das agroindústrias de banana e palmito pupunha. / Thaís Cristina Morais Vidal — Cascavel, PR: UNIOESTE, 2014.
61 p.

Orientador: Prof. Dr. Armin Feiden
Coorientadora: Profa. Dra. Francisca Alcivânia de Melo Silva
Coorientadora: Profa. Dra. Kátya Regina de Freitas

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Energia na Agricultura, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas.
Bibliografia.

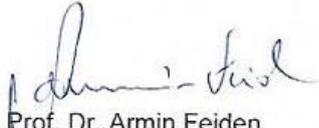
1. Biogás. 2. Biofertilizante. 3. Banana. 4. Pupunha. I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.

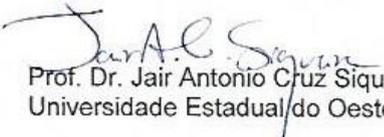
CDD 21^oed. 628

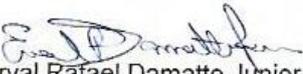
THAÍS CRISTINA MORAIS VIDAL

**“Geração de biogás a partir de resíduos das agroindústrias de banana
e palmito pupunha”**

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

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


Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel


Prof. Dr. Erval Rafael Damatto Junior
Agencia Paulista de Tecnologia do Agronegócio - APTA/São Paulo

Cascavel, 21 de fevereiro de 2014.

DEDICATÓRIA

Dedico essa, assim como todas as minhas vitórias à minha mãe Eliane, que em todos os momentos me deu apoio e carinho. Sempre acreditou nos meus sonhos e fez de tudo para torná-los possíveis.

À minha filha Laura, sempre presente, alegre e compreensiva em todos os bons e maus momentos de nossas trajetórias.

À minha avó Olga. Sem ela essa jornada nunca teria começado.

Estaremos sempre juntas.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me dado mais esse desafio para superar e me motivar a procurar o melhor para mim e minha família.

Ao meu orientador, Prof. Armin Feiden, pela orientação, incentivo e oportunidade de aprendizado, cujo conhecimento e apoio técnico foram imprescindíveis para a realização deste trabalho.

Às Agroindústrias Palmitos Selva S.A., Pérola do Ribeira e Tropdan, pelo interesse na participação do projeto e fornecimento do material para sua execução.

Às minhas coorientadoras Alcivânia e Kátya, pela orientação, apoio e incentivo ao projeto.

À minha mãe Eliane, que sempre me incentivou, me aguentou e ajudou para que o melhor sempre acontecesse.

Aos meus amigos Gisiane, Marinês, José, Rovian, Ivan, Neimar, Eduardo, Heloísa, Paulo Ricardo, Daniela e Rodrigo por dividir momentos divertidos, desesperadores, malucos, tristes e felizes. Pela companhia e sinceridade.

Em especial às minhas amigas Bya e Esllen, que desde início me incentivaram e me convenceram a lutar por mais esse desafio. Acompanharam e apoiaram toda essa etapa da minha vida, sem me deixar abater.

À Tati e à Vanderléia, pela amizade, apoio, compreensão e sinceridade em todos os momentos em que precisei.

À minha filha Laura, sempre me ajudando, incentivando e compreendendo.

Ao meu irmão David, pelo apoio.

À CAPES e CNPQ, pelo apoio financeiro

A todas às pessoas que, de alguma forma, boa ou ruim, participaram de mais essa etapa de crescimento, evolução e realização. Sem vocês nada disso seria possível. Aqui conquistei belas amizades e conheci um pouco do bom e do ruim, do falso e do verdadeiro. Foi uma etapa e tanto!

Obrigada a todos!

“Matar o sonho é matarmo-nos. É mutilar a nossa alma. O sonho é o que temos de realmente nosso, de impenetravelmente e inexpugnavelmente nosso”.

Fernando Pessoa.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE EQUAÇÕES	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Biomassa.....	3
2.1.1. Características da biomassa residual.....	4
2.1.2. Impactos da biomassa residual.....	5
2.1.3. Biomassa residual como fonte de energia.....	6
2.2. Biodigestão e produção de biogas.....	7
2.2.1. Biodigestores.....	9
2.2.1.1. Tipos de biodigestores.....	10
2.2.2. Fatores que influenciam a biodigestão.....	11
2.3. Indústria da banana e seus resíduos.....	13
2.4. Indústria do palmito pupunha.....	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1. Matéria prima.....	17
3.2. Sistema de biodigestores.....	20
3.3. Tratamentos.....	20
3.4. Implantação do experimento.....	21
3.5. Análise de sólidos.....	22
3.5.1. Sólidos Totais (ST).....	22
3.5.2. Sólidos totais voláteis (STV).....	23
3.5.3. Sólidos totais fixos (STF).....	23
3.6. Análise do biogás.....	23
3.7. Produção e rendimento de biogás.....	24

3.8. Análise estatística.....	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
4.1. Produção de biogás.....	25
4.2. Concentração de metano (CH ₄).....	28
4.3. Análises de sólidos das misturas utilizadas nos biodigestores.....	31
4.4. Produção e rendimento de biogás.....	36
4.4.1. Rendimento de produção de biogás de metano (CH ₄).....	36
4.4.2. Rendimento de biogás e metano sobre sólidos totais adicionados (STA).....	36
4.4.3. Rendimento de biogás e metano sobre sólidos totais removidos (STR).....	39
4.4.4. Rendimento de biogás e metano sobre sólidos voláteis adicionados (SVA).....	39
4.4.5. Rendimento de biogás e metano sobre sólidos voláteis removidos (SVR).....	40
4.4.6. Rendimento específico de metano.....	40
5. CONCLUSÕES.....	42
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Operação de biodigestores de fluxo hidráulico contínuo.....	11
Figura 2. Operação de biodigestores de fluxo hidráulico descontínuo.....	12
Figura 3. Resíduos da agroindústria do palmito pupunha.....	18
Figura 4. Resíduos da agroindústria de banana.....	19
Figura 5. Resíduos de banana após secagem e trituração.....	20
Figura 6. Resíduos de palmito pupunha após secagem e trituração.....	21
Figura 7. Sistema de biodigestores montado.....	22
Figura 8. Preenchimento dos biodigestores.....	23
Figura 9. Gráficos das médias de produção de biogás por tratamento.....	26
Figura 10. Distribuição de sólidos segundo o tamanho e fração orgânica.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição do biogás.....	10
Tabela 2. Composição das cascas de banana.....	16
Tabela 3. Características dos resíduos de palmito pupunha.....	17
Tabela 4. Características dos resíduos de palmito pupunha e banana.....	20
Tabela 5. Tratamentos utilizados no experimento.....	22
Tabela 6. Médias de produção de biogás dos tratamentos.....	27
Tabela 7. Informações de agrupamento usando o método de Tukey 95% intervalos de confiança.....	29
Tabela 8. Tukey para as repetições de cada tratamento (L).....	30
Tabela 9. Concentração dos gases presentes nos biogases dos diversos tratamentos.....	32
Tabela 10. Média de análises de sólidos.....	35
Tabela 11. Comportamento dos ST e SV adicionados e removidos.....	36
Tabela 12. Redução de sólidos dos tratamentos.....	40
Tabela 14. Substratos para produção de biogás e seus respectivos rendimentos.....	43

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Determinação dos sólidos totais.....	24
Equação 2. Determinação dos sólidos totais voláteis.....	25

RESUMO

VIDAL, T.C.M. (2014). *Geração de biogás a partir de resíduos das agroindústrias de banana e palmito pupunha*. Cascavel, 45 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Energia na Agricultura). Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

A preocupação com o esgotamento das tradicionais fontes de energia fósseis e com o consequente efeito estufa gerado pela utilização dessas têm se tornado cada vez maior, o que torna necessária a busca de fontes alternativas de geração de energia limpa. O presente trabalho teve como objetivo verificar a produção de biogás através da mistura de resíduos da agroindústria de banana e de palmito pupunha, além da análise dos efluentes e posterior verificação da redução da carga orgânica das matérias-primas utilizadas. Foram utilizados biodigestores do tipo batelada, feitos com PVC e alimentados com diferentes teores de misturas das biomassas, possibilitando a verificação qualitativa e quantitativa do biogás obtido. Foram encontradas médias produções de biogás significativas, de até 39,27 e 29,60 L e reduções de cargas que chegaram a até 73,96 %.

Palavras-chave: Biogás, Biofertilizante, Banana, Pupunha

ABSTRACT

VIDAL, T.C.M. (2014). *Generation from waste from agribusinesses banana and peach palm*. Cascavel, 45 p. Dissertation (Master in Energy in Agriculture). Center for Science and Technology. State University of West Paraná.

Concern about the depletion of traditional fossil fuels and the resulting greenhouse effect caused by the use of these have become increasingly larger, which makes it necessary to search for alternative sources of clean energy generation. This study aims to determine the production of biogas by mixing waste agribusiness banana and palm pupunha, besides the analysis of effluents and subsequent verification of the reduction of the organic load of the raw materials used. Were used in batch digesters, made with PVC and fed different levels of mixtures of biomass, enabling the qualitative and quantitative verification of biogas obtained. Average yields significant biogas, up to 39,29 and 29,60 L and loads that reached up to 73,96 % reduction was found.

Key-words: Biogas, Biofertilizer, Banana, Peach palm

1. INTRODUÇÃO

O petróleo é a principal fonte de energia do planeta, seguida pelo carvão mineral e pelo gás natural. Ele é importantíssimo e está presente em todo o nosso cotidiano. Com ele, as indústrias petroquímicas fabricam o plástico, a borracha sintética, os fertilizantes e os adubos usados na agricultura. Mas, essa grande dependência gera outras questões: o petróleo é uma fonte não renovável de energia. Algumas previsões indicam que ele se esgotará em no mínimo dois séculos.

A partir da década de 1980, os países importadores de petróleo estabeleceram duas estratégias, para amenizar os efeitos causados pela crise de petróleo, que já se arrastava desde a década de 1960: aumento da produção interna e substituição do petróleo por fontes alternativas. Essas medidas visavam diminuir a dependência energética e a emissão de gases promotores do efeito estufa.

A crescente preocupação com o meio ambiente, verificada ao longo dos últimos anos, tem servido de base para que sociedades e organizações questionem os modelos de exploração dos recursos naturais, abordando não somente a intensidade como são explorados, como também as consequências ambientais decorrentes de sua utilização (CORTEZ, 2011).

Assim, diversas maneiras têm sido buscadas, não só para reduzir a intensidade de exploração dos recursos naturais, mas também com foco na reutilização dos subprodutos gerados nos diversos processos das industriais.

Os processos anaeróbios vêm sendo utilizados desde os tempos romanos para diversos fins, especialmente no caso de tratar resíduos que apresentavam elevada carga orgânica. Por princípio, todos os resíduos sólidos orgânicos, de origem vegetal ou animal, são passíveis de estabilização anaeróbia. No Brasil, o tratamento anaeróbio vem sendo utilizado para bioestabilizar, principalmente, lodos de esgoto sanitário e efluentes líquidos com elevada carga orgânica (LEITE *et al.*, 2003).

Atualmente o manejo de resíduos tem recebido maior atenção e diversas alternativas são procuradas na tentativa de tratar os resíduos e aproveitar o potencial fertilizante ou de geração de energia a partir destes, sendo que o fator energia é o que mais se destaca, uma vez que interfere diretamente nos gastos finais de produção.

Com a utilização de biodigestores, os resíduos tornam-se fonte de geração de energia, visto que a partir da biodigestão anaeróbia da matéria orgânica, obtém sua conversão em gás metano, com alto poder energético e a possibilidade de utilização desse biogás para geração de energia agregando valor ao resíduo e diminuindo os custos com o tratamento. Como consequência, reduz-se a emissão de amônia, controlando odores, além da obtenção do biofertilizante, material estabilizado no interior do biodigestor, que representa estímulo à agricultura, pois é constituído por vários nutrientes que são importantes na adubação de culturas (SERRA, 2009).

O mercado do palmito pupunha vem se desenvolvendo em excelente ritmo, com crescimento dos preços pagos ao produtor e aumento de demanda de mercado. Porém, o aumento do volume comercializado gera outras questões que refletem no campo: o consumidor está mais exigente, procurando produtos de elevada qualidade, com garantia de origem e ecologicamente corretos, obrigando o produtor a se preocupar não só com o volume de alimentos produzidos, mas também com a destinação dos resíduos gerados durante a industrialização do palmito.

Ao contrário do crescente desenvolvimento do mercado do palmito, a cadeia produtiva da banana vem, nos últimos anos, enfrentando inúmeros desafios adversos que reduzem a competitividade de mercado e o lucro dos produtores, como a disseminação da Sigatoka Negra, a abertura do mercado de importação do fruto, sazonalidade e grandes oscilações de preços.

Sendo assim, o tratamento dos resíduos gerados durante a industrialização da banana e do palmito podem ser de grande valia para a redução da competitividade de mercado, agregando valor à cadeia produtiva, com conseqüente redução dos custos de industrialização, uma vez que o tratamento anaeróbio desses resíduos tem como subproduto o biogás, que pode vir a substituir parte da energia (elétrica e térmica) utilizada durante o processo de industrialização do palmito e da banana.

O presente projeto buscou viabilizar a utilização de resíduos da indústria de palmito pupunha juntamente com os resíduos da indústria de banana, constatando o potencial dos mesmos para obtenção de biogás através de biodigestores.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A partir da crise do petróleo nos anos 70, ocorreu uma busca por fontes alternativas de energia, no Brasil e no mundo. Dentre as alternativas mais promissoras para geração de energia limpa no meio rural, o biogás obtido através da biodigestão anaeróbia de material orgânico vegetal e/ou animal tem sido crescentemente utilizado. Considerando a constante elevação dos preços dos insumos energéticos atualmente utilizados, o que torna extremamente cara a utilização de combustíveis de natureza fóssil. Em virtude da vocação agrícola do Brasil e suas condições climáticas, a geração de biogás, juntamente com outras formas de energia relacionadas à biomassa, pode constituir uma importante alternativa de fornecimento de energia (SUZUKI, 2012).

Diversas alternativas são buscadas na tentativa de tratar os resíduos e aproveitar seu potencial fertilizante e de geração de energia. O aspecto energia destaca-se pela interferência nos gastos finais de produção e, portanto, deve ser destacado devido às oscilações de custos produtivos que podem reduzir a competitividade do setor.

2.1. Biomassa

A biomassa é qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica. De acordo com a sua origem, pode ser: florestal (madeira, principalmente), agrícola (soja, arroz e cana-de-açúcar, entre outras) e rejeitos urbanos e industriais (sólidos ou líquidos, como o lixo) (FERNANDES, *et al.* 2011).

O início da formação da biomassa se dá a partir da energia solar, sendo obtida através do processo denominado fotossíntese, realizado pelas plantas que, por sua vez, acionam a cadeia biológica. Através da fotossíntese, plantas que contêm clorofila transformam o dióxido de carbono e a água mineral a partir de produtos sem valor energético, em materiais orgânicos com alto teor energético e, por sua vez, servem de alimento para os outros seres vivos. A biomassa através destes processos armazena, a curto prazo, a energia solar sob a forma de carbono. Posteriormente, a energia armazenada no processo fotossintético pode ser transformada em calor, eletricidade ou combustível a partir de plantas, liberando novamente o dióxido de carbono armazenado (GALINKIN *et al.*, 2009; FERNANDES *et al.*, 2011).

A biomassa é considerada uma fonte renovável de energia, já que é de fácil reposição na natureza, em prazos relativamente curtos (anos ou menos), diferentemente dos combustíveis fósseis, que envolvem milhares de anos e condições favoráveis para sua reposição (SILVA, 1996).

2.1.1. Características da biomassa residual

Segundo Vitor (2010), os resíduos de efluentes originados de cadeias produtivas rurais, agroindustriais e urbanas são considerados biomassa residual. O autor também ressalta a importância de sua caracterização, que determina os principais fatores que influenciam na escolha da tecnologia adequada para seu tratamento, já que o sucesso e a eficiência da estabilização da biomassa são dependentes dos critérios técnicos adotados.

De acordo com Feiden (2010), as características da biomassa residual dependem dos tipos de substratos que as originam, fornecendo a cada uma certa particularidade. Existem diversos tipos de substratos, dentre eles:

- Sacarinos: Substratos com predominância de açúcares em sua composição. Caracterizam-se por serem, normalmente, solúveis e de rápida acidificação. São originados de indústrias de alimentos, conservas e bebidas.
- Amiláceos: Constituídos basicamente por amidos, cadeias de açúcares simples. O amido é facilmente hidrolisado por meio de agentes químicos, térmicos ou enzimas e também é passível de rápida acidificação.
- Protéicos: São substratos ricos em proteínas. Oriundos de matadouros e frigoríficos, esses substratos, normalmente, produzem maior quantidade de gás sulfídrico, devido à presença de sangue em sua biomassa residual.
- Ligno-Celulósicos: Caracterizam-se por serem substratos de baixa solubilidade e degradabilidade, necessitando ser reduzido em partículas muito finas para potencialização seu tratamento. Sua degradabilidade é determinada pela relação entre a celulose, a hemicelulose e a lignina.

O tipo de substrato não é a única característica da biomassa a ser definida. Outros parâmetros físicos, químicos e biológicos, como os teores de ST (Sólidos Totais), SV (Sólidos Voláteis), SS (Sólidos Solúveis), Temperatura, pH, umidade, dentre outros, interferem no potencial de produção de biogás e no nível tecnológico a ser utilizado para um processo viável (CORTEZ *et al.*, 2008).

2.1.2. Impactos causados pela biomassa residual

Os impactos ambientais da biomassa residual depositada, sem tratamento prévio no ambiente, podem ser observados nos cursos d'água, em escalas preocupantes pelos efeitos cumulativos das concentrações de nutrientes orgânicos, nitrogênio e fósforo, que diminuem a qualidade das águas de lençóis freáticos, reservatórios e lagos (GALINKIN *et al.*, 2009).

A incorreta deposição da biomassa residual, principalmente nos cursos d'água, pode causar grandes impactos, como a eutrofização. Como consequência, a grande quantidade de matéria orgânica nos espaços onde são depositadas acarreta a perda da qualidade da água por conta da degradação anaeróbia, que tem como subproduto o biogás (GALINKIN *et al.*, 2009).

Atualmente grandes impactos vêm sendo gerados, principalmente pela cadeia produtiva animal, que origina grandes quantidades de resíduos com elevado potencial de emissão de gases de efeito estufa, oriundos da degradação desses dejetos que são depositados em locais inapropriados (AIRES, 2009).

Segundo o IPCC (2013), 20 % das emissões mundiais de gases de efeito estufa são provenientes das atividades agropecuárias, sendo que o metano (gás produzido através da degradação da matéria orgânica em meio anaeróbio) e o óxido nitroso (produzido em meios anaeróbios através de compostos nitrogenados de natureza orgânica ou inorgânica) são os principais gases envolvidos no aumento do efeito estufa (AIRES *et al.*, 2013).

O metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O) prejudicam a saída da radiação solar que penetra na atmosfera e é refletida na superfície terrestre para o espaço, contribuindo assim para o aumento da temperatura global. Esses gases trazem grande preocupação devido ao seu tempo de vida na atmosfera terrestre e seu potencial de aquecimento global com relação ao dióxido de carbono (CO₂) (RODRIGUES, 2012; SUZUKI, 2012; AIRES, 2009). A solução seria a captação desses gases, afim de evitar a emissão dos mesmos, procedendo com posterior queima, para que o CH₄ e o N₂O sejam transformados em CO₂ e N₂, reduzindo a contribuição para o processo de aquecimento global (MORENG & AVENS, 1990).

Quando há a disposição de resíduos sem prévio tratamento, a qualidade do solo e da água são comprometidos através da contaminação dos mananciais pelos microrganismos, toxicidade a animais e plantas, além da depreciação dos produtos. Sendo assim, a necessidade de desenvolvimento de tecnologias mais limpas, com perspectivas de abrandar o abuso ao meio ambiente e produção dos respectivos resíduos é iminente (AIRES, 2009).

2.1.3. Biomassa residual como fonte de energia

A energia da biomassa é a energia que se obtém durante a transformação de produtos de origem animal e vegetal para a produção de energia calorífica e elétrica (SUZUKI, 2012). Porém, os resíduos orgânicos, compostos pelos efluentes da produção, principalmente agropecuária, são resultantes do metabolismo (sempre incompleto) dos ingredientes vegetais ou animais utilizados nos processos de beneficiamento e produção. Esses materiais ainda mantêm um potencial energético correspondente às suas altíssimas cargas orgânicas, além de conter outros compostos orgânicos, nutrientes e minerais, como o nitrogênio e o fósforo que, se dispostos no ambiente em seu estado bruto, produzem grandes impactos ambientais, especialmente nas águas, ao liberarem elevadas quantidades de cargas carbonáceas (GALINKIN *et al.*, 2009).

A biomassa é considerada uma fonte renovável de energia, já que é de fácil reposição na natureza, em prazos relativamente curtos (anos ou menos), diferentemente dos combustíveis fósseis, que envolvem milhares de anos e condições favoráveis (SILVA, 1996).

É importante ressaltar que tanto a biomassa plantada, com o objetivo de produzir agrocombustíveis, como a biomassa residual conversível em biogás para gerar energia elétrica, representam uma ampla gama de oportunidades econômicas, no ramo da agroenergia (GALINKIN *et al.*, 2009).

Segundo o CEPEA (2006), existem diversos fatores que justificam investimentos visando o aproveitamento da biomassa para a geração de energia no Brasil, estando entre eles:

- a. O reconhecimento da comunidade internacional sobre a importância da agroenergia na transição da matriz energética atual, baseada no uso de petróleo, para outra cujas fontes sejam compatíveis com exigências fundamentadas em problemas ambientais, dada a crescente preocupação da sociedade com as mudanças climáticas globais;
- b. Aumento da demanda por energia, especialmente nos países em desenvolvimento;
- c. Oscilação e crescimento dos preços de combustíveis fósseis devido ao esgotamento das reservas, além de disputas políticas. Pelo mesmo motivo, os fluxos de abastecimento podem sofrer interrupção;

- d. A energia passará a ser um componente importante no custo de produção de diversos segmentos da agroindústria, tornando progressivamente atraente a geração de energia dentro da propriedade;
- e. Contribuir para a balança comercial, reduzindo as importações de petróleo e aumentando a exportação de biocombustível;
- f. Indiscutível potencial que o Brasil tem para a geração de biomassa e, portanto, de agroenergia, o que tem motivado um crescente interesse de investidores internacionais para formalizar contratos de longo prazo para o fornecimento de biocombustíveis.

2.2. Biodigestão e produção de biogás

O aproveitamento de rejeitos agropecuários para produção de biogás vem se mostrando uma alternativa altamente viável. A biodigestão anaeróbia é importante por utilizar os recursos de forma sustentável, reciclar os resíduos de maneira aceitável e facilitar a comercialização de créditos de carbono através da redução da emissão de gás metano e dióxido de carbono, os quais estão relacionados com as alterações no clima do planeta e, conseqüentemente, com a perda de qualidade de vida dos seres como um todo (SERRA, 2009).

Sweeten & Reddel (1985) afirmam que no aspecto saneamento a biodigestão anaeróbia favorece a redução da matéria orgânica, ocasionando decréscimo no potencial poluidor dos resíduos. Como consequência, ocorre o controle de odores dos dejetos, destruição de organismos patogênicos e parasitas, conversão de resíduos orgânicos em gás metano e possibilidade de uso direto deste como fonte de energia.

Segundo Tomazela (2006), as técnicas de tratamento de rejeitos agropecuários utilizando métodos biológicos anaeróbios são as de maior destaque em inovações tecnológicas. Os sistemas de tratamento biológico de digestão anaeróbia, também denominados de reatores biológicos anaeróbios ou biodigestores, são sistemas onde há atuação de diferentes microrganismos que, na ausência de oxigênio molecular, promovem transformações de compostos orgânicos complexos em biogás, produto cujos principais componentes são metano e gás carbônico.

Existe atualmente uma gama muito grande de modelos de biodigestores, sendo cada um adaptado a uma realidade e uma necessidade de biogás. Eles diferem, principalmente, nas tecnologias associadas para obtenção de melhores rendimentos e nas características que os tornam mais adequados ao tipo de resíduo que se pretende utilizar e à frequência com que são obtidos. Dependendo da forma como serão operados os biodigestores, estes podem ser: batelada (batelada e expansão de cargas), contínuos para semi-sólidos (indiano, chinês e outros) ou contínuos para águas residuárias (fluxo ascendente com manto de lodo), dentre outros modelos (LUCAS JR. & SANTOS, 2000).

O sucesso do processo de biodigestão anaeróbia está ligado à sequência bioquímica de transformações metabólicas e é influenciado por uma série de fatores que podem interferir no processo. Dentre esses fatores destacam-se a temperatura, o tempo de retenção hidráulica, pH, presença de inóculo e de nutrientes, teor de sólidos, composição do substrato e a interação entre os microrganismos envolvidos no processo (SERRA, 2009).

A disponibilidade de certos nutrientes é essencial para o crescimento e atividade microbiana. O carbono, o nitrogênio e o fósforo são essenciais para todos os processos biológicos. O carbono é a fonte de energia para o metabolismo das bactérias enquanto o nitrogênio é importante na construção da estrutura das células. As quantidades de nitrogênio e fósforo necessárias para a degradação da matéria orgânica presente depende da eficiência dos microrganismos em obter energia para a síntese em reações bioquímicas de oxidação do substrato orgânico. A relação C/N para a biodigestão deve ser de 20 a 30:1, sendo que tanto o excesso como a deficiência de um ou do outro, prejudica a produção de biogás (SGANZERLA, 1983; FORESTI, 1999; SILVA, 2001).

Segundo Sganzerla (1983), a digestão anaeróbia ocorre em três etapas distintas, sendo:

Primeira etapa, considerada quando a biomassa se apresenta ainda em estado sólido, atuam as bactérias fermentativas comuns, que produzem as enzimas celulose, maltose, amilase, protease, esterase e uréase, entre outras. Nessa etapa, os polímeros lipídios, glicídios e protídios da biomassa são atacados.

Segunda etapa, considerada a etapa líquida, há o ataque dos monômeros da biomassa, principalmente pelas propionobactérias, bactérias acetogênicas e acidogênicas. Nessa fase são formados ácidos orgânicos, principalmente ácido acético e ácido propiônico.

Terceira etapa, denominada de fase gasosa, é a mais importante do processo, pois nela é produzido o metano. Nessa etapa as bactérias metanogênicas atuam sobre os ácidos orgânicos produzindo metano e gás carbônico, mistura chamada 'biogás'.

Os benefícios trazidos com a biodigestão anaeróbia de dejetos ganham destaque a partir do momento que o funcionamento do sistema não demanda consumo de energia elétrica, ao contrário há a produção de metano, um gás de elevado teor calorífico, também exige baixa demanda de área, reduzindo custos de implantação e com ela existe a possibilidade de preservação das bactérias anaeróbias sem que haja a necessidade de abastecimento do reator, ou seja, a colônia de bactérias entra em um estágio de endogenia, sendo reativada a partir de novos abastecimentos (AUGUSTO, 2007).

Segundo Fernandes (2012) e Sganzerla (1983), o biogás é uma mistura de gases, gerada a partir da fermentação anaeróbia de matérias orgânicas. É composto, principalmente, por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), com pequenas quantidades de outros gases, como o hidrogênio (H_2), nitrogênio (N_2), gás sulfídrico (H_2S), monóxido de carbono (CO) e amônia (NH_3).

O biogás é um combustível de elevado poder calorífico. E, de acordo com Fernandes (2012) e Sganzerla (1983) é composto por 60 a 80 % de metano (CH_4), 20 a 40 % de gás carbônico (CO_2), 0,5 a 3,0 % de nitrogênio (N_2), 1 a 3 % de hidrogênio (H_2) e 1 a 5 % de gás sulfídrico (H_2S).

Por ser altamente rico em metano, o biogás produzido a partir da biodigestão anaeróbia da matéria orgânica pode ser utilizado para diversos fins, como aquecimento em fogões, campânulas, estufas, aquecedores, lampiões, funcionamento de motores, geladeiras e outros aparelhos (SUZUKI, 2012; SGANZERLA, 1983).

2.2.1. Biodigestores

Para que a digestão anaeróbia proporcione resultados satisfatórios, é necessário que este processo seja realizado sob condições controladas. Para este controle, utilizam-se biodigestores, onde sua constituição depende do tipo e do fornecimento do resíduo (SILVA, 1996).

Segundo Fernandes (2012), os biodigestores são sistemas destinados a conter a biomassa residual que entrará em contato com os microrganismos, em condições de total ausência de oxigênio, onde ocorrerá a produção e o armazenamento preliminar dos compostos gasosos, ou seja, os subprodutos do processo de biodigestão, como o biogás e o biofertilizante. Ao final do processo, o biofertilizante, biomassa resultante do processo de fermentação, está estabilizado, sendo que a eficiência de remoção da carga orgânica contida

na biomassa pode chegar a 87 %, podendo atingir até 96 %, quando adicionados agentes biorremediadores (SUZUKI, 2012).

2.2.1.1. Tipos de biodigestores

Segundo Sganzerla (1983) e Azevedo (2014), o biodigestor nada mais é do que um aparelho destinado a conter a biomassa e o produto desta, o biogás, e facilitar a sua distribuição. Ele não produz o biogás, e sim cria determinadas condições para que as bactérias metanogênicas atuem sobre os materiais orgânicos na produção deste combustível. Segundo Augusto (2007), os biodigestores operados no meio rural podem ser classificados em dois grupos, de acordo com seu fluxo hidráulico:

Fluxo contínuo: São os que necessitam ser abastecidos com substrato diariamente. Nesse sistema, para cada quantidade de resíduo que entra no biodigestor, igualmente será a quantidade de resíduo tratado a sair do biodigestor, ou seja, o volume de resíduo permanece constante ao longo do tempo. É um sistema bastante utilizado em agroindústrias de confinamento de animais, onde a geração de resíduos é constante (FERNANDES, 2012). Na Figura 1 é possível observar com mais clareza o funcionamento de um biodigestor de fluxo contínuo, onde o fluxo de afluente é o mesmo do efluente.

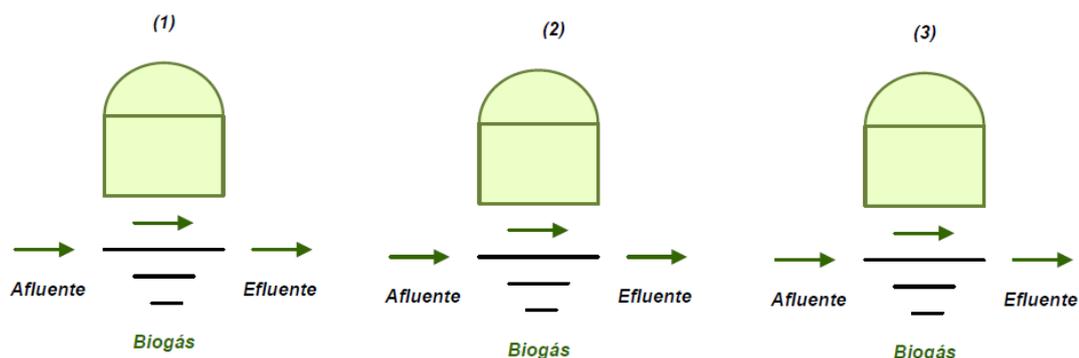


Figura 1. Operação de biodigestores de fluxo hidráulico contínuo.

*Adaptado por FERNANDES (2012)

Fluxo descontínuo: Também conhecidos como batelada, são caracterizados por receberem alimentação descontínua, ou seja, o biodigestor é alimentado apenas uma vez, no início do processo, e permanece sem receber substrato até a biodigestão terminar (SUZUKI, 2012). Na Figura 2 é possível observar as três etapas distintas de operação de biodigestores do

tipo batelada, em que (1) constitui-se da alimentação do biodigestor com carga orgânica, no início do processo; (2) o período de biodigestão, com conseqüente remoção da carga orgânica e produção de biogás; e (3), quando a carga de efluente é removida do biodigestor, para que o mesmo seja alimentado novamente.

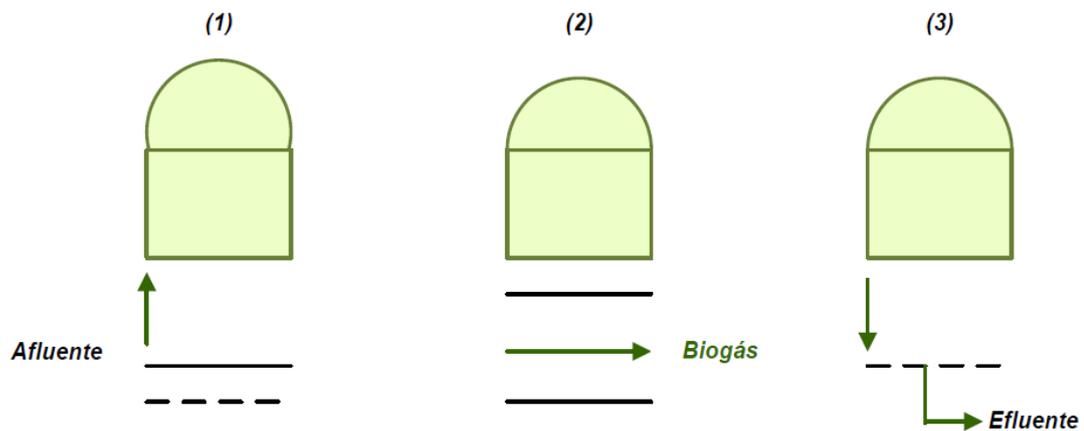


Figura 2. Operação de biodigestores de fluxo hidráulico descontínuo.

*Adaptado por FERNANDES (2012).

2.2.2. Fatores que influenciam a biodigestão

A partir do momento em que as condições de anaerobiose são efetivadas, o desenvolvimento das bactérias anaeróbias é iniciado e a digestão realiza-se a partir de qualquer matéria orgânica. Através da fermentação bacteriana se obtém o biogás, que é combustível. Após o período de fermentação a biomassa pode ser utilizada como fertilizantes e rações (SGANZERLA, 1983).

Entretanto, durante o período de fermentação diversos fatores podem influenciar no desempenho e rendimento do processo de biodigestão. O principal deles é a temperatura, que deve se situar entre 28° a 35° C, para que a ação das bactérias não seja prejudicada e a produção do biogás seja diminuída, como conseqüência da redução de seu metabolismo. Além disso, a temperatura atua também no equilíbrio iônico e na solubilidade dos substratos (FORESTI *et al.*, 1999, SGANZERLA, 1983).

Azevedo (2010) afirma que para que ocorra a digestão anaeróbia, algumas condições adequadas devem ser proporcionadas, tais como: fonte de energia, carbono, para a síntese de novo material celular e elementos inorgânicos, ou seja, nutrientes (N, P, K, S, Ca e Mg). Em alguns casos os nutrientes orgânicos podem atuar no crescimento, podendo ser necessários na síntese celular. Foresti *et al.* (1999) afirmam que a disponibilidade de alguns nutrientes é

essencial para o crescimento microbiano, sendo o carbono, o nitrogênio e o fósforo essenciais para todos os processos biológicos, e os teores de N e P necessários para a degradação da matéria orgânica dependem da eficiência dos microrganismos em obter energia para a síntese, a partir das reações bioquímicas de oxidação do substrato orgânico.

Segundo SUZUKI (2012), a principal fonte de N são os dejetos humanos e animais, enquanto que os polímeros presentes nos restos culturais representam a principal fonte de carbono, sendo que a produção de biogás não é bem sucedida se apenas uma fonte de material for utilizada.

O tempo de retenção hidráulica (TRH) também influencia o processo de biodigestão e está relacionado com o teor de sólidos totais (ST) do substrato. O TRH refere-se ao tempo em que uma carga de material a ser degradado permanece dentro do biodigestor (AUGUSTO, 2007).

Biologicamente o sucesso da biodigestão depende de um balanceamento entre as bactérias que produzem ácidos orgânicos e daquelas que produzem gás metano dos ácidos orgânicos. Este balanceamento é conseguido pela mistura da biomassa na proporção correta com água, pelo pH, temperatura e a qualidade do material orgânico (SGANZERLA, 1983).

Outro fator de extrema importância para o processo de biodigestão é o pH. Ele determina o tipo de microrganismo atuante, bem como influencia na velocidade e desempenho da fermentação. Para que o processo de biofermentação se dê de forma eficaz, é recomendado que o pH da mistura a ser fermentada esteja entre 7,0 e 8,0 (PEREIRA, 2011; SANDERSON, 2013).

Materiais poluentes podem interferir no processo de biodigestão. Segundo o SBRT (2014), os materiais poluentes, como o NaCl, Cu, Cr, NH₃, K, Ca, Mg e Ni são conciliáveis, se mantidas em baixas concentrações, diluídas em água, por exemplo.

Um indicador do bom ou mau funcionamento do processo de digestão anaeróbia é o volume de metano produzido, pois o primeiro sinal de algum desbalanceamento no processo é a redução da quantidade dos gases produzidos, que ocorre antes mesmo da elevação da concentração dos ácidos voláteis (FORESTI *et al.*, 1999).

O carbono e o nitrogênio contidos na matéria orgânica são as principais fontes de alimento das bactérias anaeróbias, sendo o carbono responsável pela obtenção de energia. Já o nitrogênio, contribui para a formação das células, sendo que as bactérias consomem o carbono aproximadamente 30 vezes mais rápido que o nitrogênio (SGANZERLA, 1983).

A presença do nitrogênio na biomassa garante a presença de outros nutrientes importantes, como P, Ca, Mg, K e micronutrientes, que também estão em certo grau

proporcional. Se a quantidade de nitrogênio na biomassa não for suficiente, as bactérias perdem seu poder de multiplicação, limitando a produção de biogás. Em contrapartida, o excesso de nitrogênio causa a formação de amônia, que pode tornar-se tóxica e paralisar a produção (AUGUSTO, 2007; SGANZERLA, 1983).

Segundo Suzuki (2012), a fermentação produz CH_4 e CO_2 , o que justifica o consumo de carbono, diminuindo a relação C/N e conseqüentemente, aumentando o nitrogênio. Entretanto essa relação não pode ser muito reduzida, ou seja, excesso de produtos nitrogenados na mistura, que pode vir a causar uma paralisação no processo de fermentação.

Portanto, a relação C/N torna-se um parâmetro de extrema importância, relacionado com as condições em que se desenvolvem os processos biológicos da fermentação. De acordo com Suzuki (2012), a relação Carbono/Nitrogênio ideal para que haja um processo de biodigestão ótimo deve estar entre 20 a 30:1, ou seja, 20 a 30 partes de carbono para uma parte de nitrogênio presente na biomassa.

2.3. Indústria da banana e seus resíduos

Segundo Alves (1999), a cultura da banana ocupa o segundo lugar em volume de frutas produzidas e consumidas no Brasil e a terceira posição em área colhida. Dados da FAO (2011) apontam o Brasil como o sexto maior produtor mundial de bananas, com produção anual de 7.329.471 t.ano⁻¹, equivalente a 7,76% da produção mundial, estando atrás somente da Índia, China, China Continental, Filipinas e Equador.

Mesmo diante da grande produção de bananas no Brasil, a cada 100 kg de frutas colhidas em 2006, 46 kg não foram aproveitados. Além desse rejeito, a cultura da banana gera outros resíduos no campo provenientes da sua industrialização. De acordo com Souza *et al.* (2009), em levantamento realizado em uma empresa de alimentos do município de Garuva, um dos maiores produtores de banana nanica na região nordeste do estado de Santa Catarina, para cada tonelada de banana industrializada, aproximadamente 3 toneladas de pseudocaule, 160 kg de engaços, 480 kg de folhas e 440 kg de cascas são gerados. Silva *et al.* (2009) relata que, para a agroindústria de beneficiamento de banana, aproximadamente 50% do volume processado são resíduos.

Tradicionalmente, a palha das folhas da bananeira, é disposta no solo como cobertura morta. No entanto, a incorporação desta matéria orgânica não decomposta, ao solo, mobiliza intensa atividade microbiana provocando, temporariamente, uma deficiência de nitrogênio às

plantas. Já, a casca de banana é um resíduo gerado nas empresas de processamento da banana e pode provocar transtornos como, por exemplo, proliferação de mosquitos. Este resíduo apresenta teores de amido, açúcares totais, umidade, cinzas, lipídios e proteínas com valores energéticos e nutritivos (FRANCO, 1982), além de consideráveis teores de celulose, hemicelulose e lignina, que são componentes que dificultam a decomposição do material (OSTROVZKI, 1981).

Silva *et al.* (2010), avaliaram o potencial para compostagem da casca de banana e determinaram sua composição química, que está apresentada na Tabela 2.

Tabela 1. Composição química das cascas de banana

Casca de banana	
pH	3,54
C/N	17/1
	g.kg^{-1}
N	6,30
P	3,1
K	38
C (Total)	106
MO (Total)	190

*Adaptado de SILVA *et al.* (2010).

O aproveitamento desses resíduos na produção de biogás, não só possibilitaria a redução da poluição ambiental, mas permitirá agregar valor à cultura da banana, que tem enfrentado, nos últimos anos, grandes desafios gerados pela oscilação do seu preço no mercado nacional (SOUZA *et al.*, 2009).

2.4. Indústria do palmito pupunha

Ao contrário dos crescentes desafios enfrentados pelo mercado da bananicultura, desde a década de 1990, vem-se observado enorme crescimento no cultivo da palmeira pupunha, devido a uma série de vantagens, quando comparado a outras espécies de palmito de exploração comercial. A principal delas é sua precocidade: a pupunheira é a espécie mais precoce de todas as palmeiras atualmente em uso para extração de palmito, levando entre 18 a 24 meses desde seu plantio até a primeira colheita (BOVI, 1998; VEGA *et al.*, 2004).

Atualmente, o estado de São Paulo é o maior produtor nacional de palmito pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth), com cerca de 30 mil hectares da cultura, sobretudo no Vale do Ribeira, onde atinge 20 milhões de plantas cultivadas (apud SCHMIDT *et al.*, 2010).

Porém, o crescimento acelerado do cultivo dessa palmácea gera uma preocupação com a grande quantidade de subprodutos descartados durante o processo de industrialização do palmito, como folhas, caules e bainhas (OLIVEIRA *et al.*, 2010), gerando mais um desafio à destinação de resíduos que atualmente vêm sendo descartados de maneira errônea, podendo constituir sérios impactos, quando depositados próximos a rios e lagos

Estudos apontam que há produção entre 54 e 82 t.ha⁻¹ de resíduos durante o processamento do palmito pupunha no Vale do Ribeira. Entre esses resíduos, destaca-se a entrecasca do palmito, que se concentra e gera problemas ambientais nas indústrias beneficiadoras, em virtude do grande volume produzido diariamente e do efluente gerado no processo de decomposição do material (SCHMIDT *et al.*, 2010).

Segundo Silva *et al.* (2010), durante o processo de industrialização do palmito, são produzidos dois tipos diferentes de resíduos: um material de consistência mais tenra (parte mais interna do tolete), denominado “bainha interna” e um material mais duro, denominado “bainha externa” ou “casca” do tolete. Esses materiais apresentam composição química distinta, que pode ser observada da Tabela 3.

Tabela 2. Composição química da bainha interna e da casca de palmeira pupunha

	Bainha interna de Pupunha	Casca de pupunha
pH	6,1	6,0
C/N	21/1	75/1
	g.kg ⁻¹	
N	23	7
P	5,2	1,3
K	46	15
C (Total)	489	534
MO (Total)	880	961

*Adaptada de SILVA *et al.* (2010).

A prospecção é de que a produção de resíduos nas agroindústrias de beneficiamento de palmito pupunha situe-se em torno de 70% de todo o volume de palmito pupunha processado (SILVA *et al.*, 2009). A alternativa atualmente utilizada para destinação de parte desses resíduos é a alimentação de ruminantes, na forma de alimento volumoso, sendo que os teores de FDN encontrados podem chegar a 45,43 % (OQUENDO & BOURRILON, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2010).

Atualmente diversas alternativas são estudadas para uma destinação mais adequada dos resíduos provenientes do processamento da palmeira pupunha, como a extração de celulose a partir de suas fibras para obtenção de papel e compostagem (SILVA *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2009; URPI & ECHEVERRÍA, 1999). Entretanto, pesquisas que avaliem seu potencial energético ainda são incipientes, o que torna necessário o aprofundamento dos estudos referentes não só ao cultivo da palmeira, mas sim à melhor alternativa para destinação e valorização desses resíduos.

Sendo assim, a produção de biogás através da união da biomassa da bananeira juntamente com a da palmeira pupunha será de grande valia para a redução de diversos impactos, uma vez que os referidos rejeitos poderão ser destinados a locais mais adequados e não mais depositados próximos às indústrias de beneficiamento, no campo ou mesmo lançados nos cursos d'água, minimizando assim os riscos de impactos causados pelas indústrias de palmito e de beneficiamento de banana.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Centro de Análises de Sistemas Alternativos (CASA), localizado na Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Cascavel, situado no Terceiro Planalto do estado, na região Oeste Paranaense, localizado entre as latitudes 24° 59' Sul e longitude 53° 26' Oeste, com altitude em torno dos 785 metros. O clima é subtropical mesotérmico superúmido.

O experimento teve início em 24 de outubro de 2013 e foi encerrado no dia 2 de Janeiro de 2014, com TRH (Tempo de Retenção hidráulica) de 74 dias. Após o término do TRH foram realizadas avaliações para determinar qual a melhor mistura para produzir a maior quantidade de biogás; produção total de biogás isto é, quanto biogás é produzido em cada um dos tratamentos, por quilograma de sólidos totais (ST) e por quilograma de sólidos voláteis (SV); produção específica de biogás (volume produzido de biogás, por volume de biodigestor); concentração de metano no volume total de biogás; porcentagem (%) de redução de sólidos totais e voláteis obtidos.

3.1. Matéria-prima

Foram utilizados resíduos provenientes de indústrias de processamento do palmito pupunha (Figura 3) e da banana (banana chips) (Figura 4) os quais, atualmente, não possuem valor comercial, mas possuem potencial poluidor, constituindo um problema para as indústrias de processamento.



Figura 3: Resíduos da agroindústria de palmito pupunha.



Figura 4: Resíduos da agroindústria de banana.

Os resíduos de pupunha utilizados foram provenientes da agroindústria Palmitos Selva S.A. e os de banana da agroindústria Pérola do Ribeira, que beneficiam palmito e banana chips no Vale do Ribeira – SP. O material coletado na agroindústria de palmito era composto pela bainha interna e pela casca do palmito pupunha. Já, o material coletado na agroindústria de banana chips era composto basicamente pela casca das frutas, com pequenas quantidades dos pedúnculos e bicos das frutas.

Após a coleta, o material foi transportado até a cidade de Cascavel - PR, onde uma parcela foi enviada para análise. Na Tabela 3 é possível observar a concentração dos nutrientes contidos em cada um dos resíduos.

Tabela 3. Caracterização química dos resíduos de palmito pupunha e banana utilizados no experimento

Atributos químicos avaliados	Bainha interna	Casca de banana
	+ Casca de pupunha	
pH	7,8	2,88
N	22,6	3,80
	g.kg^{-1}	
P	7,6	5,2
K	21	44
C (Total)	468	97
MO (Total)	796	143

Antes da implantação do experimento, os resíduos foram secos em estufa a 65°C por dois dias, para facilitar o processo de picagem. Posteriormente foram picados em moinho de martelo, sem peneira, para que os resíduos ficassem com uma granulometria que o agricultor conseguiria obter sem dificuldades na própria propriedade, ou seja, partículas entre 4 e 6 cm de diâmetro (Figuras 5 e 6).



Figura 5. Resíduos de banana após secagem e trituração.



Figura 6. Resíduos de pupunha após secagem e trituração.

Após a secagem e trituração do material, o mesmo foi pesado para obtenção da massa total de cada um deles e posterior determinação das proporções para os respectivos tratamentos e repetições. Foram obtidos, ao todo, 1.647,0 g de resíduos de palmeira pupunha e 3.151,0 g de resíduos de banana.

3.2. Sistema de biodigestores

Os biodigestores utilizados foram desenvolvidos por Suzuki (2012), sendo os mesmos do tipo batelada (fluxo hidráulico descontínuo), caracterizados por sua alimentação descontínua, ou seja, feita uma única vez no início do processo, permanecendo sem receber carga até a completa biodigestão do material.

O sistema de digestão anaeróbia foi constituído por 2 recipientes de PVC (biodigestor e respectivo gasômetro), de 2,4 l, mangueiras transparentes de PVC e tubos de cobre (Figura 7), totalizando 24 biodigestores e seus respectivos gasômetros.

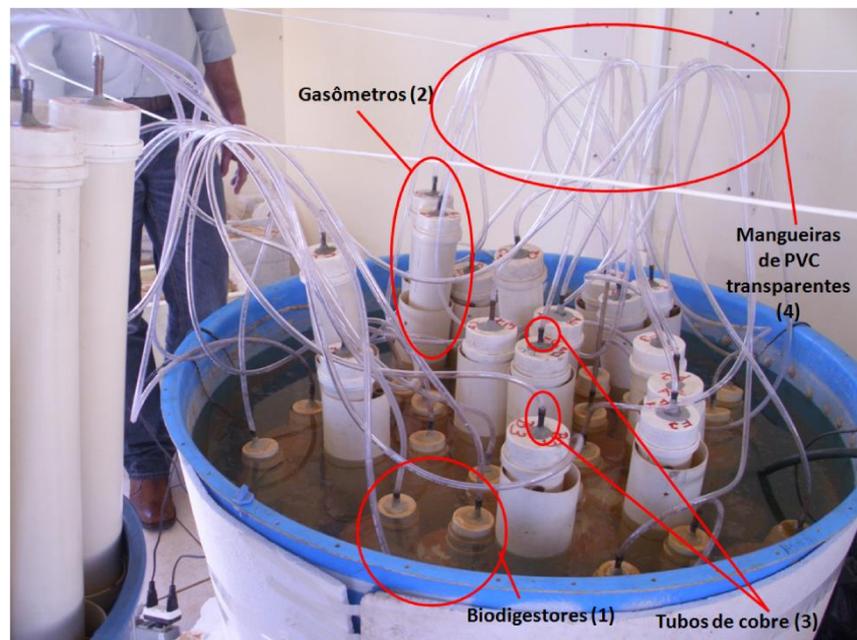


Figura 7: Sistema de biodigestores montado.

Na parte superior de cada biodigestor (1) e de cada gasômetro (2) foi instalado um pequeno tubo de cobre (3), onde foi fixada uma mangueira de PVC (4), que permitiu a interligação entre os biodigestores (1) e os respectivos gasômetros (2).

3.3. Tratamentos

Os tratamentos utilizados foram constituídos por misturas de diferentes proporções dos resíduos de pupunha e banana e estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4. Tratamentos utilizados no experimento

Tratamento	Resíduos de pupunha (%)	Kg pupunha	Resíduos de banana (%)	kg banana
A	100	0,179	0	0,035
B	80	0,143	20	0,071
C	60	0,107	40	0,107
D	40	0,071	60	0,143
E	20	0,035	80	0,179
F	0	-	100	-

Cada repetição foi composta por um biodigestor, sendo que em todos os tratamentos foram adicionados mais 30 % do volume de inóculo proveniente de um biodigestor operado com resíduos de bovinos, além de 600 ml de água para diluição.

3.4. Implantação do experimento

Após a pré-montagem do sistema, foram separadas as respectivas proporções de biomassa para a composição dos tratamentos. Os biodigestores foram preenchidos com biomassa residual, sendo que 30% do volume de cada biodigestor foi preenchido com inóculo proveniente de biodigestor operando com dejetos de bovinos. Os biodigestores foram completados com água e as respectivas misturas foram homogeneizadas (Figura 8).

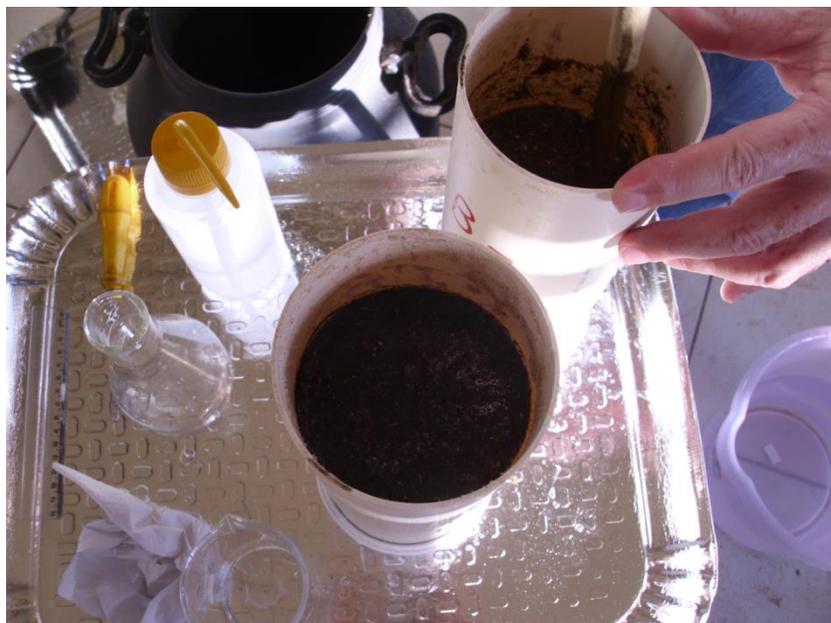


Figura 8: Preenchimento dos biodigestores.

Após o preenchimento de todos os biodigestores com as respectivas quantidades de biomassa, os mesmos foram fechados e inseridos em uma caixa d'água preenchida com água e dotada de termostatos, para que a temperatura dos biodigestores fosse mantida em torno de

30 °C. A caixa d'água foi preenchida com água até cobrir a conexão entre os tubos de cobre localizados na extremidade superior dos biodigestores e suas mangueiras, como forma de prevenção e detecção de vazamentos.

Os gasômetros também foram inseridos na água, pois o biogás produzido foi quantificado a partir do deslocamento vertical dos mesmos.

3.5. Análise de sólidos

A análise de sólidos foi realizada no laboratório UNIOESTE/ FUNDETEC, em Toledo – PR, onde foram avaliados os teores de sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF) e sólidos voláteis (SV), segundo a metodologia descrita em APHA (1992).

3.5.1. Sólidos Totais (ST)

Primeiramente 24 cápsulas de porcelana foram colocadas em mufla a (550±50 °C) por uma hora. Após esse período as cápsulas foram colocadas em dessecador e após o esfriamento foram pesadas em balança de precisão de 0,1 mg.

Após a pesagem, cada cápsula recebeu 10 ml de sua respectiva parcela do experimento. As cápsulas foram pesadas novamente, para determinação do peso úmido (PU) e em seguida foram colocadas em estufa a 103 – 105 °C durante dois dias. Após atingirem peso constante foram colocadas em dessecador e após seu esfriamento, foram pesadas novamente, para obtenção do peso seco (PS).

Os sólidos totais de cada amostra foram determinados a partir da Equação 1.

$$ST = \frac{100[(PU - PS).100]}{PU}$$

Equação 1. Determinação dos sólidos totais.

Onde:

ST = sólidos totais;

PU = peso úmido (g);

PS = Peso seco (g).

3.5.2. Sólidos Totais Voláteis (STV)

Após a determinação dos ST, as cápsulas foram submetidas à calcinação em mufla a (550 ± 50) °C por duas horas, para determinação dos sólidos fixos (SF). Em seguida as amostras foram retiradas da mufla e colocadas em dessecador. Após o esfriamento as cápsulas foram novamente pesadas em balança de precisão de 0,1 mg, para obtenção do peso das cinzas (PC). Os teores de SV da biomassa foram calculados através da equação 2.

$$SV = \frac{ST - [1 - (PU - PC)]}{PU} \cdot 100$$

Equação 2. Determinação dos sólidos totais voláteis.

Onde:

SV = Sólidos voláteis;

ST = Sólidos totais;

PU = Peso úmido (g);

PC = Peso das Cinzas (g)

3.5.3. Sólidos Totais Fixos (STF)

Os sólidos totais fixos são a porção do resíduos total, fritável ou não fritável, que resta após a calcinação do matérias a $(550 \pm 50^\circ\text{C})$. Ou seja, STF é a diferença entre o peso do recipiente e o peso da amostra calcinada.

3.6. Análise do biogás

O biogás produzido durante a condução do experimento foi analisado com o auxílio do aparelho Dräger x-am 7000 (Figura 9), que detecta e quantifica os gases metano, dióxido de carbono, oxigênio, monóxido de carbono e gás sulfídrico, presentes no biogás.



Figura 9. Dräger x-am 7000, utilizado para análise da composição do biogás.

3.7. Produção e rendimento de biogás

Para verificação da produção e do rendimento do biogás foram utilizados os seguintes indicadores técnicos nas análises de sólidos:

1. Produção total média diária de biogás por dia;
2. Produção específica média diária de biogás;
3. Produção total média diária de metano (CH_4);
4. Produção específica média diária de metano (CH_4);
5. Rendimento de biogás e metano sobre sólidos totais adicionados;
6. Rendimento de biogás e metano sobre sólidos totais removidos;
7. Rendimento de biogás e metano sobre sólidos voláteis adicionados.
8. Rendimento de biogás e metano sobre sólidos voláteis removidos.

3.8. Análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com seis tratamentos e quatro repetições. O teste de significância utilizado foi o teste de Tukey, que permite testar qualquer contraste entre duas médias de tratamentos aos níveis de 5 % e 1 %.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Produção de biogás

A produção de biogás teve início após a queda de produção de gás carbônico, aos 14 dias após a implantação do experimento. Os tratamentos A, B e C tiveram comportamentos semelhantes (Figura 9), com grandes oscilações de produção de biogás no início do processo, até os 24 dias de retenção hidráulica. Após os 29 dias de retenção hidráulica, houve uma estabilização na produção de biogás, com posterior declínio de produção.

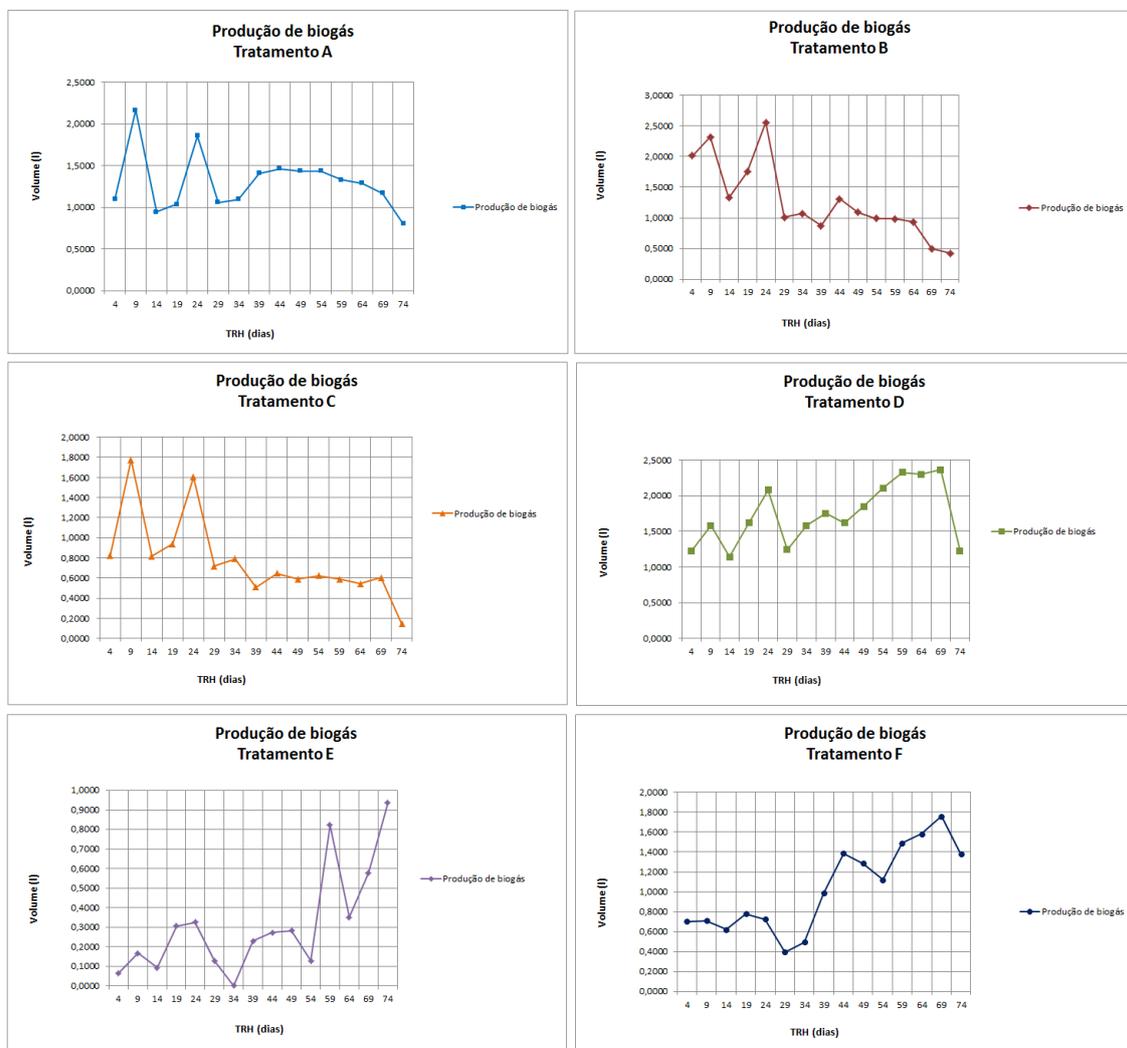


Figura 10: Médias de produção de biogás por tratamento.

Os tratamentos D, E e F, constituídos por maiores concentrações de resíduos de banana, tiveram seus picos de produção de biogás mais tardios, a partir dos 59 dias de

retenção hidráulica, sendo que os tratamentos D e F apresentaram oscilações de produção durante o período de retenção hidráulica, porém as respectivas produções de biogás mantiveram-se crescentes, até os 69 dias de retenção, com produções atingindo 2,36 e 1,75 L de biogás, respectivamente (Tabela 5). Aos 74 dias de retenção hidráulica a produção de biogás começou a decair para ambos os tratamentos.

Tabela 5. Médias de produção de biogás dos tratamentos de mistura de resíduos das agroindústrias de pupunha e banana (Cascavel, 2014)

Tempo de Retenção (dias)	Tratamento (l)					
	A	B	C	D	E	F
4	1,1022	2,0133	0,8249	1,2269	0,0652	0,7046
9	2,1657	2,3170	1,7736	1,5825	0,1667	0,7112
14	0,9447	1,3285	0,8150	1,1419	0,0927	0,6228
19	1,0348	1,7493	0,9365	1,6190	0,3059	0,7808
24	1,8565	2,5577	1,6046	2,0795	0,3257	0,7266
29	1,0602	1,0116	0,7189	1,2435	0,1281	0,3953
34	1,0967	1,0745	0,7885	1,5825	0,0000	0,4969
39	1,4081	0,8735	0,5080	1,7526	0,2286	0,9884
44	1,4644	1,3098	0,6438	1,6168	0,2716	1,3882
49	1,4357	1,0900	0,5875	1,8498	0,2816	1,2866
54	1,4357	0,9939	0,6239	2,1082	0,1270	1,1220
59	1,3308	0,9851	0,5864	2,3280	0,8227	1,4887
64	1,2899	0,9376	0,5433	2,3026	0,3511	1,5836
69	1,1707	0,5013	0,6018	2,3645	0,5787	1,7570
74	0,7996	0,4229	0,1446	1,2280	0,9365	1,3782
Média	1,3064	1,2777	0,7801	1,7351	0,3121	1,0287

O início do tratamento E foi constituído por pequenas oscilações de produção de biogás, com elevada produção aos 59 e 74 dias (Figura 10), com volumes de 0,82 e 0,93 litros de biogás, respectivamente (Tabela 5).

Van Velsing & Lettinga (1980) e Ostrovzki (1981) citam que o fator digestibilidade da biomassa inserida nos biodigestores interfere na digestão da matéria orgânica, uma vez que os principais componentes digeríveis da matéria orgânica celulósica poderão estar indisponíveis para o ataque dos microrganismos, já que pode haver ligação química entre a lignina e a

celulose e entre a lignina e a hemicelulose, ou seja, a lignina forma um complexo com a celulose e a hemicelulose, tornando a biomassa menos degradável durante a fermentação anaeróbia. Sendo assim, Ostrovzki (1981) recomenda a utilização da biomassa fresca, ainda com a umidade original da planta, para que a digestão se inicie e prossiga adequadamente.

Ostrovzki (1981) ainda afirma que a camada externa das fibras de celulose é a mais resistente ao ataque bacteriano e não é biodegradável. Sendo assim, recomenda a picagem das fibras, afim de aumentar a superfície de ataque pelos microrganismos, além do uso da matéria orgânica ainda fresca, com umidade original, para que o processo de biodigestão se inicie e continue com sucesso.

Vários autores alertam para os teores de lignina, celulose e hemicelulose presentes na composição dos resíduos de banana, que podem variar entre 8,9 a 23,22 %, 14 a 37 % e 8,06 a 9,0 %, respectivamente (Deivanai & Kasturi Bai, 1995; Ranzani *et al.*, 1996; Ibrahim *et al.*, 2010). Fatores que podem explicar o pico de produção de biogás nos tratamentos D, E e F mais tardios do que os tratamentos com maiores concentrações de resíduos de pupunha, com picos de produção aos 69, 74 e 69 dias, respectivamente (Figura 10), indicando que o material digerível ainda não estava disponível para o ataque bacteriano nos tratamentos com maiores concentrações de resíduos de banana.

Os teores de sólidos voláteis (SV) influenciam diretamente a produção de biogás, uma vez que estes são a fração do resíduo responsável pela geração de biogás (OLIVEIRA, 2014; BERTÉ, 2009). Sendo assim, o teor de sólidos voláteis determinado na matéria orgânica a ser inserida no biodigestor pode indicar o potencial aproximado de produção de biogás, pois pode prever a biodegradabilidade do material com base no conteúdo de sólidos voláteis de lignina (CHANDLER *et al.*, 1980).

Os resíduos provenientes do beneficiamento do palmito pupunha são ricos em fibras longas e de difícil rompimento, com teor de sólidos voláteis em torno de 76, 14% (NETO *et al.*, 2006). Além disso, Pupo *et al.* (2012) analisaram a composição química de resíduos oriundos do beneficiamento do palmito pupunha, encontrando teores de 30% de celulose, 23,15 % de hemicelulose e 6,35 % de lignina. Fatores esses que podem ter contribuído para as elevadas produções de biogás no início do período de retenção hidráulica, nos Tratamentos A, B e C, uma vez que os teores de lignina nas cascas do palmito são menores do que os encontrados nos resíduos de banana, ou seja, havia uma concentração maior de produtos de rápida degradação nos resíduos de pupunha do que nos resíduos de banana.

Apesar de a média de produção de biogás do tratamento D ser superior às médias dos outros tratamentos, principalmente quando comparada à produção do tratamento E, houve diferença significativa de produção entre os tratamentos (Tabela 6).

Tabela 6. Produção de biogás (l) pelas diferentes misturas de resíduos das agroindústrias de pupunha e banana

Tratamento	Média (l)	Agrupamento	Proporção de resíduos de pupunha (%)	Proporção de resíduos de banana (%)
A	0,352	a	100	0
B	0,3407	a	80	20
C	0,206	a	60	40
D	0,462	a	40	60
E	0,083	a	20	80
F	0,274	a	0	100

*Médias com mesmo agrupamento de letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 95%.

**CV médio = 14,74

4.2. Concentração de metano (CH₄)

O biogás é o resultado de uma mistura de gases, formados através da fermentação anaeróbia da biomassa. Basicamente é composto de 60 a 70% de metano (CH₄) e 30 a 40% de gás carbônico (CO₂), além de pequenas quantidades de nitrogênio, hidrogênio, monóxido de carbono e gás sulfídrico (SGANZERLA, 1983; SUZUKI, 2012). É um gás incolor e de elevado poder calorífico, sendo que este depende da concentração de metano em sua composição, normalmente variando entre 5.000 a 6.000 kcal.m⁻³, podendo chegar a 12.000 kcal, se for realizada sua purificação para remoção do CO₂ (SGANZERLA, COMASTRI FILHO, 1981).

O tratamento A desenvolveu o biogás de melhor qualidade, com concentração média de gás metano de 74,76 %, e 19,57 % de CO₂ em sua composição. O biogás com a segunda maior qualidade foi o produzido no tratamento D, com concentração média de metano de 73,37 % e 21,01% de CO₂. As concentrações médias de metano podem ser observadas na Tabela 9.

O tratamento B foi o que resultou no terceiro melhor biogás, com concentração média de metano de 69,51 % e 18,39 % de CO₂. Em seguida, o biogás produzido no tratamento F teve concentração média de metano de 60,25 % e 17,98 % de CO₂. Apesar do tratamento C não ter diferido estatisticamente dos tratamentos B e F (Tabela 7), o biogás produzido nesse tratamento possui uma concentração muito baixa de metano (50,83 %). O mesmo aconteceu

com o tratamento E que diferiu estatisticamente dos outros tratamentos, com a menor média de qualidade de biogás, com concentração média de metano de 45,07 % e 20,88 % de CO₂. Kalia *et al.* (2000) encontraram teores de 59 a 79 % de metano ao estudar a biodigestão de resíduos de banana. Nallathambi Gunaseelan (2004) afirma que mais de 90 % do metano produzido durante a biodigestão de resíduos de banana se dá entre 40 e 50 dias de retenção hidráulica.

Segundo Suzuki (2012), o biogás produzido nos tratamentos C e E não é de boa qualidade para uso em motores de combustão interna, uma vez que suas respectivas concentrações de metano são muito baixas, não chegando a 60%, que é o teor mínimo de concentração necessário para que o motor funcione plenamente, uma vez que o uso de biogás com menores concentrações de metano implicaria em mau funcionamento do motor, acarretando dificuldades de ignição e falhas. Sendo assim, para o biogás produzido nos tratamentos C e E são recomendados outros usos, como a queima direta.

Tabela 7. Concentração dos gases presentes nos biogases dos diversos tratamentos de misturas de resíduos das agroindústrias de pupunha e banana (%)

Tratamento	Repetição												Média			
	1			2			3			4			CH ₄	CO ₂	O ₂	
	CH ₄	CO ₂	O ₂	CH ₄	CO ₂	O ₂	CH ₄	CO ₂	O ₂	CH ₄	CO ₂	O ₂	CH ₄	CO ₂	O ₂	
A	73,17	16,98	9,84	78,94	18,00	2,41	80,77	16,81	2,43	66,16	26,50	7,33	74,76	a	19,57	5,50
B	80,32	17,01	2,67	43,92	18,59	1,66	80,31	15,65	4,04	73,47	22,32	4,20	69,51	ab	18,39	3,14
C	65,88	14,74	19,38	33,33	8,79	57,95	50,77	22,66	1,31	53,35	24,24	22,41	50,83	ab	17,61	25,26
D	79,43	19,17	1,40	54,78	28,54	16,68	77,57	20,12	2,31	81,72	16,21	1,91	73,37	a	21,01	5,57
E	46,88	28,90	33,93	56,34	21,36	22,300	51,73	21,57	26,70	25,33	11,68	62,99	45,07	b	20,88	36,48
F	50,28	15,34	34,37	48,88	19,28	31,84	60,54	20,78	18,68	81,28	16,53	2,19	60,25	ab	17,98	21,77
Média	65,99	18,69	16,93	52,70	19,09	22,14	68,23	19,60	9,25	63,55	16,25	16,84				

Tabela 1. *Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

4.3. Análises de sólidos das misturas utilizadas nos biodigestores.

A mistura utilizada no processo foi composta por sólidos e por água. Os sólidos totais (ST) dividem-se em sólidos em suspensão e sólidos dissolvidos. Segundo Andreoli (2003), citado por Suzuki (2012) e Jordão e Pessoa (1995), no lodo grande parte dos sólidos está em suspensão, que são constituídos pelos sólidos voláteis e pelos sólidos fixos, sendo que na matéria orgânica a maioria dos sólidos encontram-se dissolvidos, e também são compostos por sólidos voláteis e sólidos fixos (Figura 10).

A matéria orgânica é decomposta pela ação das bactérias presentes no próprio efluente e transformada em diversas substâncias químicas, durante a fermentação anaeróbia. Essas substâncias químicas caracterizam-se por serem substâncias estáveis, ou seja, durante o processo de fermentação, as substâncias orgânicas insolúveis dão origem a substâncias inorgânicas solúveis (ZILOTTI, 2012 e SUZUKI, 2012).

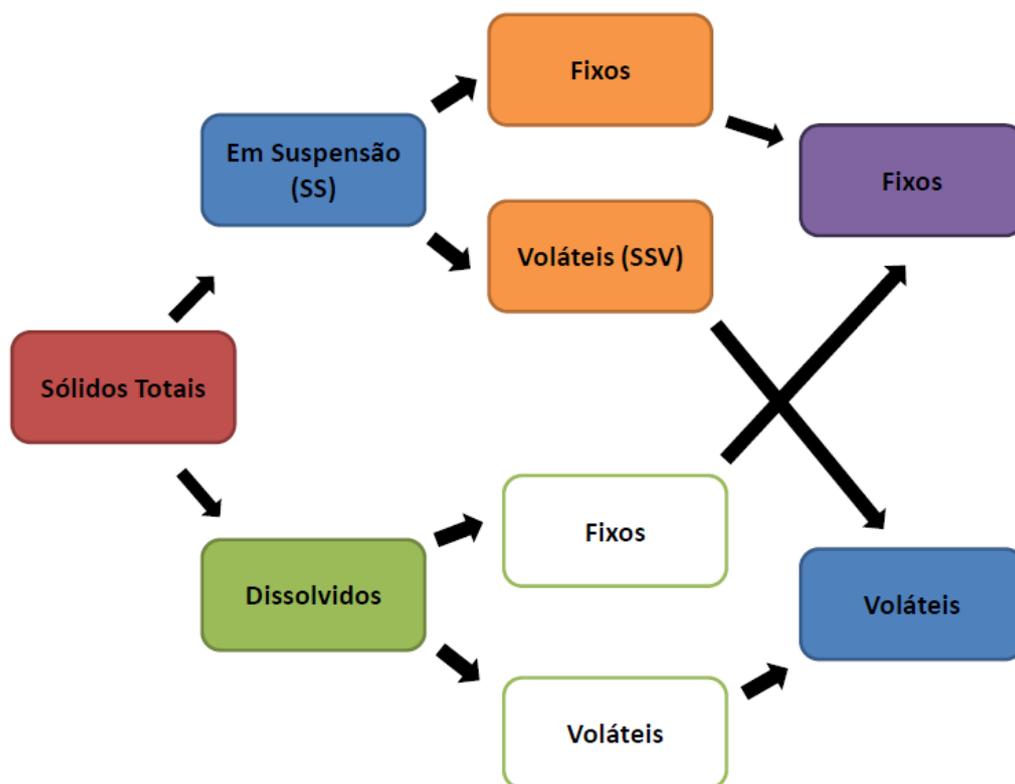


Figura 11: Distribuição de sólidos segundo o tamanho e fração orgânica (ANDREOLI, 2003, adaptado por SUZUKI, 2012).

Na Tabela 8 é possível observar os valores médios de ST, STV e STF dos afluentes e efluentes para cada tratamento testado no experimento, bem como a concentração média de ST e SV presentes em cada tratamento. Através desses dados foi

possível determinar a porcentagem de ST e SV removidos em cada tratamento. Com base nesses dados é possível observar que as maiores quantidades de STA (Sólidos Totais do Afluente) se encontravam nos tratamentos C e D (60 % de resíduos de palmito pupunha + 40 % de resíduos de banana e 40 % de resíduos de palmito pupunha + 60 % de resíduos de banana, respectivamente). Entretanto, após o TRH, os tratamentos com maiores quantidades de resíduos de banana (D, E e F) mostraram maiores concentrações de STE (Sólidos Totais do Efluente).

O mesmo comportamento foi observado para os SVA, sendo que os tratamentos C e D apresentaram os maiores teores, com 13,62 % e 15,12 %, respectivamente. Entretanto, quanto aos SVE, é possível observar que as maiores concentrações foram resultantes dos tratamentos D, E e F, com teores de 5,14 %, 5,17 % e 4,34 %, respectivamente (Tabela 8).

Tabela 8. Médias de análises de ST, STF, STV e % de ST do afluente e efluente das misturas de resíduos das agroindústrias de pupunha e banana

Tratamentos	Afluente					Efluente					Remoção	
	ST	STF	STV	% ST na Amostra	% SV na Amostra	ST	STF	STV	% ST na Amostra	% SV na Amostra	ST (g.L ⁻¹)	SV (g.L ⁻¹)
A	2,32	0,19	2,12	13,83	12,67	1,12	0,18	0,94	3,89	3,25	1,5	1,42
B	2,74	0,28	2,46	12,23	10,98	1,16	0,36	0,79	3,96	2,67	1,25	1,25
C	3,21	0,31	2,90	15,07	13,62	1,53	0,29	1,24	4,92	3,99	1,53	1,45
D	4,44	0,44	4,00	16,77	15,12	1,71	0,23	1,48	5,96	5,14	1,63	1,50
E	3,22	0,44	2,78	12,80	11,04	1,89	0,43	1,46	6,69	5,17	0,92	0,89
F	3,45	0,44	3,01	12,65	11,03	1,45	0,30	1,15	5,48	4,34	1,08	1,01

Na Tabela 9 estão contidos os valores médios das cargas orgânicas adicionadas e removidas de sólidos totais e sólidos voláteis para cada tratamento. É possível observar que o tratamento que continha a maior carga orgânica de ST e SV adicionados foi o tratamento D (2,58 e 2,33 g.L⁻¹, respectivamente), que também conteve a maior carga orgânica de ST e SV removidos. O tratamento C foi o que conteve a segunda maior concentração de ST e SV adicionados (2,32 e 2,12 g.L⁻¹, respectivamente) e ST e SV removidos, com 1,53 g.L⁻¹ e 1,45 g.L⁻¹, respectivamente. Após o tratamento C, o tratamento A foi o que mostrou as maiores taxas de ST e SV adicionados (2,13 g.L⁻¹ e 1,95 g.L⁻¹, respectivamente) e ST e SV removidos (1,50 g.L⁻¹ e 1,42 g.L⁻¹, respectivamente).

Ainda na Tabela 9 é possível observar que o comportamento dos ST e SV adicionados e removidos dos tratamentos B, E e F não foi o mesmo de A, C e D, uma vez que, para a carga orgânica de ST adicionados, o tratamento E foi o que obteve a quarta maior concentração (1,97 g.L⁻¹), seguido dos tratamentos F (1,95 g.L⁻¹) e B (1,88 g.L⁻¹). Já, quanto à carga orgânica de SV adicionados, os tratamentos E e F continham a quarta maior concentração (1,70 g.L⁻¹ cada), seguidos pelo tratamentos B (1,69 g.L⁻¹).

Tabela 9. Comportamento dos ST e SV adicionados e removidos, das misturas de resíduos das agroindústrias de pupunha e banana

Tratamento	Carga Orgânica de ST		Eficiência de Remoção (%)	Carga orgânica de SV		Eficiência de Remoção (%)
	Adicionados (g.L ⁻¹)	Removidos (g.L ⁻¹)		Adicionados (g.L ⁻¹)	Removidos (g.L ⁻¹)	
A	2,13	1,50	70,42	1,95	1,42	72,82
B	1,88	1,25	66,49	1,69	1,25	73,96
C	2,32	1,53	65,95	2,12	1,45	69,05
D	2,58	1,63	63,18	2,33	1,50	64,38
E	1,97	0,92	46,70	1,70	0,89	52,35
F	1,95	1,08	55,38	1,70	1,01	59,41

A quarta maior carga orgânica de ST e SV removidos foi do tratamento B (1,25 e 1,25 g.L⁻¹), seguido pelo tratamento F, com carga orgânica de ST e SV removidos de 1,08 e 1,01 g.L⁻¹, respectivamente. O tratamento E foi o que mostrou os menores valores de carga orgânica de ST e SV removidos, com 0,92 g.L⁻¹ e 0,89 g.L⁻¹, respectivamente (Tabela 9).

Ainda na Tabela 9, é possível observar nos tratamentos A, B, C e D que, quanto maior a concentração de resíduos de banana, maior a eficiência de remoção de carga orgânica de ST, ou seja, o tratamento A mostrou eficiência de remoção de ST de 70,42 %, seguido pelos tratamentos B (66,49 %), C (65,95 %), D (63,18 %). A quinta maior eficiência de remoção foi observada no tratamento F (55,38 %), seguido pelo tratamento E (46,70 %).

Quanto à remoção de SV, o tratamento que mostrou a maior eficiência foi expressa pelo tratamento B, com 73,96 % de eficiência de remoção. A segunda maior eficiência de remoção de SV foi atingida pelo tratamento A (72,82 %), seguido dos tratamentos C (69,05 %), D (64,38 %) e F (59,41 %), sendo que o tratamento que obteve a menor eficiência de remoção de SV foi o tratamento E, com eficiência de remoção de 52,35 %.

Em seu experimento, Netto (2006) caracterizou cascas de palmito, encontrando teores de sólidos em torno de 76,24 %, o que condiz com a elevada remoção de sólidos obtida nos tratamentos com maiores concentrações de resíduos de palmito (A, B e C).

Nallathambi Gunaseelan (2004) encontrou teores de SV em cascas de banana variando entre 86,9 a 94,3 %. Ao estudar a biometanação de resíduos de banana, Bardiya (1996) constatou teores de 10,68 % de ST e 86,65 % de SV. Após o TRH de 40 dias, observou degradação de até 30 % dos ST e 34 % dos SV.

Kalia (2000) caracterizou resíduos de banana, identificando em sua composição 83 % de carga orgânica e teores de sólidos totais em torno de 16 %. Ao inseri-los em biodigestores do tipo batelada, de pequena escala, obteve redução dos sólidos orgânicos em torno de 45-50 %. Porém, alerta para a inibição dos sólidos totais, que resultaram na perda de 50-65 % da eficiência do processo de biometanação.

O TRH contribuiu para uma taxa maior de degradação da carga orgânica, uma vez que grande parte dos estudos sobre biometanação de resíduos de banana são compostos por curtos TRH, normalmente entre 20 a 45 dias. A inibição dos sólidos totais nos resíduos de banana contribuiu para que a redução da carga orgânica dos tratamentos com maiores concentrações desse resíduo fosse menor do que a redução da carga orgânica dos tratamentos com maiores concentrações de resíduo de palmito. Porém, se comparados os resultados dos autores acima citados com os resultados obtidos na remoção de sólidos voláteis do experimento, o TRH de 74 dias foi muito mais eficiente do que os TRH mais curtos.

Segundo Leme (2010), para um eficiente tratamento de dejetos, o tratamento anaeróbio deve reduzir a carga orgânica entre 60 % e 90 %. Sendo assim, é possível afirmar que os tratamentos A, B, C e D tiveram uma remoção de carga orgânica satisfatória. Porém, ao observar a Tabela 9, é possível afirmar que os tratamentos E e F não chegaram a reduzir a carga orgânica necessária para que se considerem eficientes, com remoção de ST de 46,70 % e 55,38 % e SV de 52,35 % e 59,41 %, respectivamente. A eficiência de remoção de carga orgânica se mostrou melhor nos tratamentos A e B, com remoção de 70,42 % e 66,49 % de ST e 72,82 % e 73,96 % de SV, respectivamente.

Segundo Suzuki (2012), o rendimento do processo de biometanação pode ser avaliado obtendo-se os dados de produção de biogás e sólidos presentes no processo, sendo que através destes é possível realizar comparações entre a produção total e específica de biogás e CH₄ por litros de reator; e entre o rendimento total de biogás sobre ST e SV adicionados e removidos, além do rendimento de CH₄ sobre sólidos totais e voláteis removidos.

4.3. Produção e rendimento de biogás

4.4.1. Rendimento de produção de biogás e metano (CH₄)

Os resultados de rendimento de biogás e metano para a quantidade de ST e SV adicionados e removidos, bem como as respectivas reduções e porcentagens encontram-se na Tabela 10, sendo que para cada tratamento foram obtidos valores de rendimentos.

4.4.2. Rendimento de biogás e metano sobre Sólidos Totais Adicionados (STA)

Como pode ser observado na Tabela 10, foram encontrados valores de 0,34 a 1,09 L biogás.g⁻¹ STA, sendo que o tratamento que resultou em um maior rendimento de biogás por STA foi o tratamento F, seguido pelos tratamentos B, D, A, C e E, com rendimentos de 1,09 L biogás.g⁻¹ STA, 0,86 L biogás.g⁻¹ STA, 0,86 L biogás.g⁻¹ STA, 0,68 L biogás.g⁻¹ STA, 0,43 L biogás.g⁻¹ STA e 0,34 L biogás.g⁻¹ STA, respectivamente.

O rendimento de biogás sobre STA obtido no tratamento F (1,09 L biogás.g⁻¹ STA) foi o maior, sendo que este ficou bem acima dos rendimentos obtidos por Bardiya (1996) e Kalia *et al.* (2000) em trabalhos com produção de biogás a partir de

resíduos de banana, sendo que os maiores rendimentos encontrados por esses autores foram de 0,231 L biogás.g⁻¹ STA e 0,271 L biogás.g⁻¹ STA, respectivamente. O rendimento de biogás dos tratamentos A, B, C, D e E também foi superior aos encontrados pelos autores (Tabela 10).

Tabela 10. Rendimento de biogás das misturas de resíduos das agroindústrias de pupunha e banana

Tratamento	Rendimento do biogás				Rendimento de CH ₄			
	STA (L biogás g STA ⁻¹)	SVA (L biogás. g SVA ⁻¹)	STR (L biogás. g STA ⁻¹)	SVR (L biogás. g SVA ⁻¹)	STA (L CH ₄ . g STA ⁻¹)	SVA (L CH ₄ . g SVA ⁻¹)	STR (L CH ₄ . g SVA ⁻¹)	SVR (L CH ₄ . g SVA ⁻¹)
A	0,68	0,75	1,07	1,14	51,33	56,04	83,68	89,48
B	0,86	0,96	1,32	1,34	58,45	64,37	94,58	97,32
C	0,43	0,47	0,72	0,78	22,03	24,38	39,07	42,44
D	0,86	0,95	1,52	1,66	65,57	72,70	117,37	128,50
E	0,34	0,39	0,78	0,76	17,11	19,84	39,43	38,33
F	1,09	1,26	2,85	3,29	35,12	49,23	120,90	134,51

*STA: sólidos totais adicionados; SVA: sólidos voláteis adicionados; STR: sólidos totais removidos; SVR: Sólidos voláteis removidos.

Apesar de todos os tratamentos terem resultado em bons rendimentos de biogás sobre ST, apenas os tratamentos A, B, D e F são ideais para a produção de biogás, já que os outros tratamentos mostraram produções de volumes diários muito pequenos.

Como o objetivo do experimento era a produção de biogás a partir das diferentes misturas, o tratamento F é o que se destaca dos demais, quanto ao rendimento de biogás de 1,09 L biogás.g⁻¹ STA.

Porém, apesar de o tratamento F ter mostrado o melhor rendimento de biogás por STA, foi o tratamento D que resultou no maior rendimento de CH₄ por STA (65,57 L CH₄.g⁻¹ STA). O segundo melhor rendimento de CH₄ foi obtido no tratamento B, com rendimento de 58,45 L CH₄.g⁻¹ STA, seguido do tratamento A, que mostrou rendimento de 51,33 L CH₄.g⁻¹ STA. Os tratamentos C, E e F mostraram menores rendimentos de metano por STA, com valores de 22,03 L CH₄.g⁻¹ STA, 17,11 L CH₄.g⁻¹ STA e 35,12 L CH₄.g⁻¹ STA, respectivamente (Tabela 10). O tratamento A foi o que resultou na melhor qualidade de biogás, quando se trata da mistura de matérias primas, por ter obtido maiores concentrações de CH₄, porém sua produção não foi estável ao longo dos 74 dias de retenção hidráulica.

4.4.3. Rendimento de biogás e metano sobre sólidos totais removidos (STR)

O tratamento F se destacou quanto ao rendimento de biogás sobre STR, com rendimento de 2,85 L biogás.g⁻¹. O segundo maior rendimento de biogás por STR foi obtido no tratamento D (1,52 L biogás.g⁻¹ STR), seguido dos tratamentos B, A, E e C, que resultaram em rendimentos de 1,32 L biogás.g⁻¹ STR, 1,07 L biogás.g⁻¹ STR, 0,78 L biogás.g⁻¹ STR e 0,72, respectivamente (Tabela 10).

Assim como ocorreu com o rendimento de biogás por STR, o tratamento que mostrou o melhor rendimento de metano por STR foi o tratamento F, seguido dos tratamentos D, B, A, E e C, com rendimentos de 120,90 L CH₄.g⁻¹ STR, 117,37 L CH₄.g⁻¹ STR, 94,58 L CH₄.g⁻¹ STR, 83,68 L CH₄.g⁻¹ STR, 39,43 L CH₄.g⁻¹ STR e 39,07 L CH₄.g⁻¹ STR, respectivamente (Tabela 10).

4.4.4. Rendimento de biogás e metano sobre sólidos voláteis adicionados (SVA)

Na Tabela 12 é possível observar que o tratamento F foi o que mostrou maior rendimento de biogás por SVA (1,26 L biogás.g⁻¹ SVA), seguido dos tratamentos B, D,

A, C e E, com rendimentos de 0,96 L biogás.g⁻¹ SVA, 0,95 L biogás.g⁻¹ SVA, 0,75 L biogás.g⁻¹ SVA, 0,47 L biogás.g⁻¹ SVA e 0,39 L biogás.g⁻¹ SVA, respectivamente.

Diferentemente do que ocorreu com o rendimento de biogás por SVA, o tratamento que resultou no maior rendimento de metano por SVA foi o tratamento D, com rendimento de 72,70 L CH₄.g⁻¹ SVA, seguido pelos tratamentos B, A, F, C e E. Os respectivos valores de rendimento de metano por SVA podem ser observados na Tabela 12.

4.4.5. Rendimento de biogás e metano sobre sólidos voláteis removidos (SVR)

Semelhante ao que ocorreu com o rendimento de biogás sobre sólidos voláteis adicionados, é possível observar na Tabela 12 que o tratamento que se destacou foi o F, para o rendimento de biogás por SVR com rendimento de 3,29 L biogás.g⁻¹ SVR. O segundo tratamento com melhor rendimento de biogás foi o D, seguido por B, A, C e E, com rendimentos de 1,66 L biogás.g⁻¹ SVR, 1,34 L biogás.g⁻¹ SVR, 1,14 L biogás.g⁻¹ SVR, 0,78 L biogás.g⁻¹ SVR e 0,76 L biogás.g⁻¹ SVR, respectivamente.

Quanto ao rendimento de metano por SVR, assim como o rendimento de biogás por SVR, o tratamento F mostrou o melhor desempenho, seguido pelos tratamentos D, B, A, C e E, com rendimentos de metano por SVR variando entre 134,51 L CH₄.g⁻¹ SVR e 38,33 L CH₄.g⁻¹ SVR. Os valores de rendimento de metano por SVR podem ser observados na Tabela 12.

4.4.6. Rendimento específico de biogás

Os melhores valores encontrados para a produção total de biogás por sólidos adicionados foram expressos pelos tratamentos A, D e F, atingindo 0,01 m³ de biogás.d⁻¹ em suas respectivas produções totais. Os tratamentos B, C e E não demonstraram nenhuma produção de biogás por sólidos adicionados.

Quanto à produção específica de biogás, o tratamento que se destacou foi o tratamento D, com produção de 2,21 m³ biogás.m³ reator.d⁻¹. Os tratamentos F, A, B, C e E atingiram produções de 2,13 m³ biogás.m³ reator.d⁻¹, 1,96 m³ biogás.m³ reator.d⁻¹, 1,63 m³ biogás.m³ reator.d⁻¹, 0,99 m³ biogás.m³ reator.d⁻¹ e 0,67 m³ biogás.m³ reator.d⁻¹, respectivamente.

Quanto aos parâmetros de redução da carga orgânica, Suzuki (2012) testou o potencial de produção de biogás a partir das biomassas de cama de frango e manipueira e obteve um rendimento específico de biogás de até $0,39 \text{ L d}^{-1}$. Bouallagui *et al.* (2005) obtiveram rendimento de $0,45 \text{ L biogás.g}^{-1} \text{ SV}$, com remoção de 76% de SV, ao alimentarem um biodigestor tubular contínuo com restos de frutas e vegetais, de carga orgânica em SV de $2,8 \text{ g L}^{-1} \text{ reator.d}^{-1}$.

Deivanai & Kasturi Bai (1995) analisaram os parâmetros de redução de carga orgânica de resíduos de banana e fibra de coco, obtendo maiores reduções de carga orgânica e produção final de biogás a partir dos resíduos de banana, com rendimento de biogás de $9,22 \text{ L.kg}^{-1} \text{ ST}$, com teor médio de metano de 72%.

O experimento realizado empregando-se resíduos das agroindústrias da pupunha e da banana é de caráter inédito, não havendo possibilidade de comparação com outros que utilizem a biomassa da palmeira pupunha. Sendo assim, para nível de comparação, a Tabela 11 mostra diversos tipos de substratos e seus respectivos valores de ST e produção de biogás.

Tabela 11: Substratos para produção de biogás e seus respectivos rendimentos

Substrato	MS (%)/ MSO na MS (%)	Rendimento de biogás (g.L^{-1})
	86	0,2 - 0,5
Palha de cereais	89 - 94	0
	86	0,4 - 1
Palha de Milho	72	-
	25 - 50	0,55 - 0,62
Palha de arroz	70 - 95	-
	-	0,2 - 0,75
Lodo de esgoto doméstico	-	17
	-	0,3
Lodo de esgoto	-	20
	6 - 11	0,1 - 0,8
Esterco líquido de gado	68 - 85	-
	25 - 3	0,6 - 0,8
Excremento fresco de gado	80	-
	10 - 29	
Excremento de frango	67 - 77	0,3 - 0,8
		0,4 0,6
Excremento de cavalo	28 - 25	-

*Tabela adaptada de DOUBLEIN. & STEINHAUSER (2011).

5. CONCLUSÕES

É possível concluir que os tratamentos que apresentaram maior produção média de biogás foram os tratamentos D e A (40% de resíduos de palmito + 60% de resíduos de banana e 100% de resíduos de palmito, respectivamente), com produções de 1,73 e 1,30 L de biogás, respectivamente.

Os tratamentos A e B, constituídos pelas maiores concentrações de resíduos de pupunha mostraram as maiores eficiências de remoção da carga orgânica, atingindo remoções de 70,42 % e 66,49 % de ST e 72,82 % e 73,96 % de SV, respectivamente.

Os tratamentos que apresentaram as melhores qualidades do biogás, com maiores concentrações de metano foram os tratamentos A, D, B e F, com concentrações médias de metano de 74,76 %, 73,37 %, 69,51 % e 60,25 %.

O sistema operado apenas com resíduos de palmito pupunha são mais indicados tanto para a produção em volume de biogás, quanto para sua qualidade e remoção de carga do efluente, representando uma excelente alternativa às agroindústrias do palmito pupunha, uma vez que além de reduzir a carga orgânica dos resíduos eficientemente, reduzindo seu potencial de poluição ambiental, pode vir a representar reduções significativas nos custos de produção.

Os resíduos com elevados teores de lignina, celulose e hemicelulose, no caso da banana, possivelmente necessitem da adição enzimas e coadjuvantes para facilitar sua biodigestão, afim de aumentar a produção e o rendimento de biogás e metano, além de potencializar a redução de sua carga orgânica.

Estudos evidenciando o potencial poluidor dos resíduos de banana e, principalmente, do palmito pupunha ainda são incipientes, o que torna necessário o aprimoramento de técnicas de pré tratamento e tratamento com a finalidade explorar o potencial energético e nutricional desses resíduos que, além de fornecerem o biogás, poderão retornar ao campo como biofertilizante.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIRES, A. M. A. **Biodigestão anaeróbia da cama de aviários de corte com ou sem separação das frações sólida e líquida**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Fac. de C. A. e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 134 p. 2009.

AIRES, A.M.; LUCAR JÚNIOR, J. PRAES, M.F.M; NASCIMENTO, J.; CARDOSO, P. **Quantificação e caracterização de biogás gerado na biodigestão anaeróbia de cama de frangos de corte com ou sem separação de frações sólida e líquida**. III Symposium on Agricultural and Agroindustrial Waste Management. São Pedro, Brasil. 2013.

ALVES, E. J. (Org.) **A cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais**. 2.ed. Brasília: Embrapa-SPI. Cruz das Almas: *Embrapa; CNPMF*, 585 p. 1999.

APHA-AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION **Standard methods for the examination of wather wastewater**. 18 ed. Washington, 1992.

AUGUSTO, K.V.Z. **Caracterização quantitativa e qualitativa dos resíduos em sistemas de produção de ovos: compostagem e biodigestão anaeróbia**. Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Zootecnia. Jaboticabal, 2007. 131p.

AZEVEDO, L.L.T. **A viabilidade econômica de biodigestores em suinoculturas comerciais**. Disponível em: <
<http://bell.unochapeco.edu.br/revistas/index.php/rce/article/viewFile/1641/912>>
Acesso em 24 de Janeiro de 2014.

AZEVEDO, F. G. **Estudo das condições ambientais para produção de Biogás a partir de glicerol co-produto do Biodiesel**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Pernambuco – Campus de Recife – PE – Área de Concentração Engenharia Química, Recife, PE, 2010.

BARDIYA, N.; SOMAYAJI, D.; KHANNA. **Biomethanation of banana peel and pineapple waste**. Bioresource Technology. v. 58. n. 1. p. 73-76. 1996.

BARRERA, P., **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural**. 2ªed. Ícone. São Paulo, 1993.

BERTÉ, V.S. **Avaliação da influência das atividades pecuárias nos recursos hídricos da região do Alto Rio Uruguai**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental da Universidade de Passo Fundo/RS, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental. Passo Fundo, 2009. 68p.

BOVI, M.L.A. **Palmito pupunha informações básicas para o cultivo**. Campinas – IAC. Boletim Técnico 173. 1998. 50 p.

CEPEA. **Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada**. Disponível em :< <http://www.cepea.esalq.usp.br/>> Acesso em: 27 Agosto de 2012.

CHANDLER, J.A.; JEWELL, W.J.; GOSSET, J.M.; VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; **Predicting methane fermentation biodegradability**. Biotechnology and Bioenergy. P 93-107, 1980.

COMASTRI FILHO, J.A., **Biogás – Independência Energética do Pantanal Matogrossense**. EMBRAPA, Circular Técnica nº9. Corumbá, MS, 1981. 53 p.

CORTEZ, C.L. **Estudo potencial de utilização da biomassa resultante da poda de árvores urbanas para a geração de energia: Estudo de caso – AES Eletropaulo**. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências. São Paulo, 2011. 246p.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. **Biomassa Para Energia**. Campinas: UNICAMP, 2008.

DEVANAI, K.; BAI KASTURI, R. **Batch biomethanation of banana trash and coir pit**. Short Communication. Bioresource Technology. 52 (1995). 93-94.

FAO. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em: 29 set. 2011, 11:42.

FEIDEN, A. **Gestão da Biomassa Residual: Bases Conceituais**. Notas de Aula: Curso de Capacitação em Geração de Energia Elétrica com Biogás - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Marechal Cândido Rondon, 2010.

FERNANDES, D.M. **Biomassa e biogás da suinocultura**. Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura, para obtenção do título de Mestre em Energia na Agricultura. 2012.

FERNANDES, D.M.; SUZUKI, A.B.P.; VIEIRA, A.C.; ARAÚJO, I.R.C.; COSTANZI, R.N. **Biomassa como fonte alternativa de energia**. Revista da madeira. ed. 129. Novembro 2011.

FORESTI, E. *et al.* Fundamentos do tratamento anaeróbio. In: CAMPOS, J.R. (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro. ABES, 1999. Cap. 2, p. 29-52.

FRANCO, G.V.E. **Nutrição**. 6ª Ed. São Paulo. Livraria Atheneu, 1982.

GALINKLIN, M.; BLEY JUNIOR, C.; LIBÂNIO, J.C.; OLIVEIRA, M.M. **Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas socioeconômicas e ambientais**. Foz do Iguaçu/ Brasília: Itaipu Binacional, Organização das Nações Unidas para Agricultura e alimentação. TechnoPolitik Editora, 2009. 140p.

IBRAHIM, M.M.; DUFRESNE, A.; EL-ZAWAWY, W.K.; AGBLEVOR, F.A. **Banana fibers and microfibrils lignocellulosic reinforcements in polymer composites**. Carbohydrate Polymers. 81 (2010) 811 – 819.

IPCC. Disponível em:

<http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml>

Acesso em: 23 de Dezembro de 2013 às 14:35.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 4 ed. Rio de Janeiro: ABES, 932 p. 1995.

KALIA, V.C.; SONAKYA, V.; RAIZADA, N. **Anaerobic digestion of banana stem waste**. Bioresouce Technology. v. 73. p. 191 – 193. 2000.

LEITE, V.D.; SOUZA, J.T.de; PRASAD, S.; LOPES, W.S.; ATHAYDE JÚNIOR, G.B.; DANTAS, A.M.M. **Tratamento de resíduos sólidos de centrais de abastecimentos e feiras livres em reator anaeróbio de batelada**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.7. n.2. p. 318-322. 2003.

LEME, E. J. A. **Manual prático de tratamento de águas residuárias**. Ed. UFSCar, São Carlos, 2010, 595 p.

LUCAS JR., J. & SANTOS, T.M.B. **Aproveitamento de resíduos da indústria avícola para produção de biogás**. Simpósio sobre resíduos da produção avícola. p. 27-43. Concórdia/SC. 2000.

MORENG,R.E.; AVENS, J. S. **Ciência e produção de aves: aquecimento, criação, alojamento, equipamentos e produção de aves**. São Paulo: Roca, 1990. p. 143-178.

NALLATHAMBI GUNASSELAN, V. **Biochemical methane potential of fruits and vegetable solid waste feedstocks**. Biomass and Bioenergy. v. 26. p. 389 – 399. 2004.

NETTO, G.B.F.; OLIVEIRA, A.G. de P.; COUTINHO, H.W.M.; NOGUEIRA, M.F.M; RENDEIRO, G. **Caracterização energética de biomassas amazônicas**. 6º Congresso Internacional sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural. Campinas-SP, 2006.

OLIVEIRA, P.A.V. **Produção e manejo de dejetos de suínos**. Disponível em:

<http://www.cnpsa.embrapa.br/pnma/pdf_doc/8-PauloArmando_Producao.pdf>.

Acesso em: 14 Jan. de 2014 às 11:14.

OLIVEIRA, L.S.; PEREIRA, L.G.R.; AZEVEDO, J.A.G.; PEDREIRA, M. dos S.; LOURDES, D.R.S.; BOMFIM, M.A.D.; BARREIROS, D.C.; BRITO, R.L.L. de. **Caracterização nutricional de silagens do coproduto da pupunha**. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal. v.11. n. 2. p. 426-439. 2010.

OQUENDO, C.L.A.; BOURRILON, A.R. **Experiencias com ganado estabulado utilizando pejibaye (Bactris gasipaes) y frutas tropicales**. Disponível em: <http://www.corfoga.org/images/public/documentos/pdf/experiencias_con_ganado_estabulado_utilizando_pejibaye.pdf> Acesso em 24 de Janeiro de 2014.

OSTROVZKI, C.M. **Biodigestão de resíduos celulósicos**. Primeiro Encontro de Técnicos em Biodigestão. EMBRAPA, Minas Gerais. 1981.

PEREIRA, M. F. **Construção Rural**. São Paulo : Nobel , 1986. Reimpresso em 2011.

PUPO, H.F.; FERREIRA, M.Z.; MENEGALLE, V.L.C.; LEÃO, A.L. **Caracterização química dos resíduos de palmeira pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth) para produção de painéis**. VIII Mostra Científica em Ciências Agrárias. Faculdade. Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP. Botucatu, 2012.

RANZANI, M.R.T. de C.; STURON, G.L.; BICUDO, M.H. **Avaliação química e biológica da casca da banana madura**. Archivos Latinoamericanos de Nutricion. V. 46. N. 4, 1996.

RODRIGUES, J.P. **Efeito da adição de óleo e lipase sobre a biodigestão anaeróbia em dejetos de suínos**. Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre do Programa de Pós Graduação em Zootecnia. 2012. 66 p.

SANDERSON, K. **Avaliação da eficiência de glicerina bruta, proveniente da produção de biodiesel, na obtenção de biogás em codigestão com dejetos suínos**. Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura, para obtenção do título de Mestre. Cascavel, 2013. 61 p.

SBRT, **Serviço Brasileiro de Respostas Técnica**, USP-Inovação, Disponível em: <http://www.respostatecnica.org.br>, Acesso em: 15 Mai. 2012.

SCHMIDT, P.; ROSSI JUNIOR, P.; TOLEDO, L.M.; NUSSIO, L.G.; ALBUQUERQUE, D.S.; MEDURI, B. **Perdas fermentativas e composição bromatológica da entrecasca do palmito pupunha ensilada com aditivos químicos**. Revista Brasileira de Zootecnia. V. 39, n. 2. Viçosa. 2010.

SERRA, M.P.R.M. **Biodigestão anaeróbia: uma alternativa para o reaproveitamento de resíduos agropecuários**. Relatório de estágio curricular profissionalizante para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo, Campus experimental de Registro, Universidade Estadual Paulista. Registro, 2009.

SGANZERLA, E. **Biodigestor: Uma solução**. Porto Alegre. Agropecuária, 1983. 88p.
SILVA, F.A. de M.; SILVA, R.B. da; VIDAL, T.C.M.; PAVARINI, R. **Viabilidade da compostagem para o aproveitamento de resíduos das agroindústrias do palmito e da banana no Vale do Ribeira-SP**. In: SILVA, R.B. da; MING L.M. Relatos de pesquisas e outra experiências vividas no Vale do Ribeira. Jaboticabal, 2010. 313 p.

SILVA, F.A. de M.; VIDAL, T.C.M.; SILVA, R.B. da. **Compostagem de resíduos das agroindústrias da banana e pupunha no Vale do Ribeira-SP**. In: Congresso Brasileiro de Resíduos Orgânicos. Vitória, Brasil. 2009.

SILVA, M.S. **Biodigestão anaeróbia no saneamento rural**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 71p (Textos acadêmicos).

SILVA, E. P. **Fontes Renováveis de Energia: Geração de Energia Para Um Desenvolvimento Sustentável**. São Paulo: Campinas, 1996.

SOUZA, O.; FEDERIZZI, M.; COELHO, B.; WAGNER, T. M.; WISBECK, E. **Biodegradação de resíduos lignocelulósicos gerados na bananicultura e sua valorização para a produção de biogás.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. V. 14, n. 4, p. 438-443, 2009.

SUZUKI, A.B.P. **Geração de biogás utilizando cama de aviário e manipueira.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura para obtenção do título de Mestre em Energia na Agricultura, Câmpus Cascavel, Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, 2012.

SWEETEN, J.M.; REDDELL, D.L. **Biological conversion and fuel utilization: Anaerobic digestion for methane production.** Biomass Energy: A monography. Texas. A&M University Press, Colledge Station, p. 76-112, 1985.

TOMAZELA, A.B.G. Gestão de águas residuárias em propriedades rurais. In: SPADOTTO, C.A.; RIBEIRO, W.C. **Gestão de resíduos na agricultura e agroindústria.** Botucatu: FEPAF, 2006. Cap. 10, p. 233-261.

URPÍ, J.M.; ECHEVERRÍA, J.G. **Palmito de Pejibaye Su (*Bactris gasipaes* Kunth) cultivo e industrialización.** 1 ed. San Jose. C. R. Editorial de La Universidad de La Costa Rica. 1999. 200p.

VAN VELSEN, A.F.M. & LETTINGA, G. **Effects of feed composition on digester performance.** Anaerobic Digestion. London, Applied Science Publishers, P.113-130, 1980.

VEGA, F.V.A.; BOVI, M.L.A.; BERTON, R.S.; GODOY JÚNIOR, G.; CEMBRANELLI, M.A.R. **Aplicação de biossólido na implantação da cultura da pupunheira.** Horticultura Brasileira, Brasília, v.22, n.1, p. 131-135, jan-mar 2004.

VITOR, T. R. **Biomassa Residual Como Fonte Alternativa de Energia Elétrica.** 2010. 41 f. Relatório de Estágio Supervisionado (Graduação em Engenharia Ambiental) - Faculdade União das Américas. Foz do Iguaçu, 2010.

ZILOTTI, H. A.R. **Potencial de produção de biogás em uma estação de tratamento de esgoto de Cascavel para geração de energia elétrica.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Energia na Agricultura, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, para a obtenção do Título de Mestre em Energia na Agricultura. Cascavel, 2012. 52p.