

CLAUDINEI DE ALMEIDA

**POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE BIOMASSA
DE SUINOCULTURA COM CULTURAS ENERGÉTICAS**

CASCADEL
PARANÁ – BRASIL
ABRIL – 2016

CLAUDINEI DE ALMEIDA

**POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE BIOMASSA
DE SUINOCULTURA COM CULTURAS ENERGÉTICAS**

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

ORIENTADOR: Prof. Dr. Reinaldo Aparecido Bariccatti.

COORIENTADOR: Prof. Dr. Cleber Antonio Lindino

CASCADEL

PARANÁ – BRASIL

ABRIL – 2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

AI447p Almeida, Claudinei de

Potencial de produção de biogás a partir de biomassa de suinocultura com culturas energéticas / Claudinei de Almeida – 2016.

97 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Reinaldo Aparecido Bariccatti

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura – Cascavel, 2016.

Inclui bibliografias.

1. Biogestor. 2. Biomassa. 3. Agroenergia. 4. Substratos – Dissertações. I. Bariccatti, Reinaldo Aparecido, orient. II. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura. III. Título.

CDD: 338.1

CLAUDINEI DE ALMEIDA

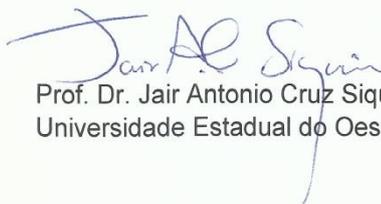
**“POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE BIOMASSA
DE SUINOCULTURA COM CULTURAS ENERGÉTICAS”**

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

Orientador:



Prof. Dr. Reinaldo Aparecido Bariccatti
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel



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



Profa. Dra. Dangelia Maria Fernandes
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/Medianeira

Cascavel, 05 de abril de 2016.

Dedico este, assim como, todas as demais conquistas, a minha família, por ser meu alicerce em todos os planos da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me dado força quando estava cansado, coragem quando estava prestes a desistir, discernimento quando estava para fazer a escolha errada.

Minha esposa Fernanda Salbego Colombari de Almeida, que nos dias difíceis estava sempre ao meu lado, me ajudando e apoiando.

Minha família, meus pais, Arator Carvalho de Almeida “*in memória*” e Maria Cenira de Almeida, por todo apoio nesse período e por toda compreensão em minhas faltas, por toda ajuda, serei eternamente grato.

Meus irmãos Vanderlei, Sernaide e Sirlei, que a todo tempo estavam preocupados, muitas vezes dando merecidos puxões de orelha, sempre me ajudando de uma forma ou outra.

Sr. José Carlos Colombari, Eliani Colombari e Pedro Colombari, que nunca se negaram a ajudar, cedendo sempre sua propriedade para pesquisas e análises.

Meu orientador, Prof. Dr. Reinaldo Aparecido Bariccatti, por sempre estar disponível durante esses meses, sempre me ajudando.

Aos amigos e parceiros de carona Andrei Mondardo, Gláucio Gomes e Solles Rovaris, pelo companheirismo e apoio quando necessário.

A CAPES, pelo apoio financeiro nesse período.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura, pelos muitos ensinamentos transmitidos.

A UTFPr, por disponibilizar o laboratório de Cromatografia Gasosa, para análises do experimento.

A PUC, por disponibilizar biomassa de Sorgo Sacarino para execução dos experimentos.

A todos aqueles que, embora não citados nominalmente, contribuíram direta e indiretamente para a execução deste trabalho.

“Não seja melhor que os outros,
seja melhor para os outros .”

Padre Léo – Canção Nova

LISTA DE SIMBOLOS

ABIPECS	Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína
ADEOP	Associação de Desenvolvimento Econômico do Oeste do Paraná
ARS	Água Residuária de Suinocultura
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BEN	Balanço Energético Nacional
BPIII	Bacia do Paraná 3
CENBIO	Centro Nacional de Referência em Biomassa
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental do Rio Grande do Sul
H₂S	Sulfeto de Hidrogênio
MDL	Mecanismo de desenvolvimento limpo
PCS	Poder Calorífico Superior
PVC	Policloreto de Vinil
RAFA	Reatores anaeróbios de fluxo ascendente
RCE	Reduções Certificadas de Emissões
ST	Sólidos Totais
TRH	Tempo de Retenção Hidráulica
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ilustração do processo de biodigestão anaeróbia.....	07
Figura 2. Composição média dos gases presentes no biogás.....	09
Figura 3. Ilustração da idade dos gases.....	11
Figura 4. Processo do tratamento de dejetos e aproveitamento de coprodutos.....	14
Figura 5. Biodigestor modelo Indiano.....	15
Figura 6. Biodigestor modelo Chinês.....	15
Figura 7. Diagrama de uma usina para geração e purificação de biogás.....	16
Figura 8. Biodigestor modelo Plug Flow (canadense).....	17
Figura 9. Reator UASB-com detalhe de funcionamento interno.....	18
Figura 10. Variação de modelo UASB-Agroenergia.....	19
Figura 11. Produção de suínos no Brasil – 2003.....	22
Figura 12. Bacia do Paraná III	25
Figura 13. Triângulo da Sustentabilidade	29
Figura 14. Maior Usina de Biogás do Mundo	33
Figura 15. Granja São Pedro – Foto Panorâmica.....	36
Figura 16. Bolsas de Silagem de Milho.....	40
Figura 17. Braquiária <i>Ruziziensis</i>	40
Figura 18. Área de Plantio do Sorgo Sacarino.....	41
Figura 19. Cultivar de Sorgo Sacarino.....	41
Figura 20. Ilustração Reator e Gasômetro utilizado no experimento.....	42

Figura 21. Controlador de temperatura.....	43
Figura 22. Manômetro com formato de “U”.....	44
Figura 23. Gasômetros utilizados.....	45
Figura 24. a) Câmara de Combustão; b) Estação de Carga; c) Calorímetro.....	47
Figura 25. Remoção de Sólidos Totais	51
Figura 26. Porcentagem de CH ₄ no Biogás.....	53
Figura 27. Poder Calorífico Superior (PCS).....	55
Figura 28. Produção de Biogás.....	72
Figura 29. Comparação de produção de biogás.....	73
Figura 30. Produção de Biogás L.Kg ⁻¹	77
Figura 31. Produção de Biogás L.Kg ⁻¹ ST.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Comparação do poder energético do biogás com combustíveis	10
Tabela 2. Produção Mundial de Carne Suína (mil ton).....	23
Tabela 3. Produção e manejo de dejetos conforme categoria de suínos.....	24
Tabela 4. Potencial na suinocultura entre municípios da BPIII.....	26
Tabela 5. Plantel de suínos por categoria.....	27
Tabela 6. Potencial energético na suinocultura por categoria.....	28
Tabela 7. Análise de Sólidos Totais.....	46
Tabela 8. Distribuição Planejamento Fatorial 2^3	48
Tabela 9. Combinações de Resíduo dos biodigestores.....	49
Tabela 10: Remoção de Sólidos Totais (ST).....	50
Tabela 11. Eficiência de Remoção de ST, utilizando ARS como substrato	52
Tabela 12. Porcentagem de Metano do Biogás.....	52
Tabela 13. Porcentagem de Metano no Biogás – comparativo com autores.....	54
Tabela 14. Poder Calorífico Superior.....	55
Tabela 15. PCS nas amostras após o tratamento.....	56
Tabela 16. Produção de Biogás nas 07 semanas decorridas.....	70
Tabela 17. Comparação de produção de biogás.....	73
Tabela 18. Produção de Biogás de acordo com a porcentagem de ST.....	74
Tabela 19. Relação da produção de biogás com os sólidos totais consumidos..	76
Tabela 20. Planejamento Fatorial 2^3	79
Tabela 21. Análise do Planejamento Fatorial.....	79

ALMEIDA, Claudinei, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, abril de 2016.
Potencial de Produção de Biogás a Partir de Biomassa de Suinocultura com Culturas Energéticas. Orientador: Prof. Dr. Reinaldo Aparecido Bariccatti.

RESUMO

A utilização de fontes alternativas de energia é impulsionada pelo intuito de minimizar a degradação ambiental de forma a evitar que os recursos naturais se esgotem e diminuir o avanço do aquecimento global causado pelas emissões dos gases de efeito estufa. Muito se tem pesquisado a respeito de novas fontes energéticas, dentre elas podem ser citadas como principais: energia solar, energia eólica, energia hídrica e biomassa. O biogás, proveniente do tratamento biológico, se destaca pelo seu uso crescente por ser uma fonte de energia limpa com um grande retorno social, financeiro e ambiental para humanidade. Para potencializar essa produção de biogás, pesquisadores da área veem realizando diversas combinações, para avaliar qual ou quais as melhores formas de combinar algum tipo de resíduo e obter sucesso no aumento da produção de biogás, conseqüentemente utilização no setor energético. Desta forma, este trabalho apresenta por objetivo análise da taxa de remoção de Sólidos Totais, utilizando a metodologia de APHA, 2012; Análise de Poder Calorífico Superior, utilizando Calorímetro; Análise de Composição do Biogás, por meio de um Cromatógrafo Gasoso e análise da produção de biogás utilizando dejetos suíno, silagem de milho de meio grão, sorgo sacarino e braquiária *Ruziziensis* triturados, seguindo um Planejamento Fatorial 2³, tendo como resultado de maior produção acumulada à combinação de Água Residuária de Suinocultura 90% + Braquiária *Ruziziensis* 10%, com 37,2 litros de biogás em sete semanas. Analisando – se o potencial de produção por quilo de matéria, o maior resultado foi à combinação de ARS (80%) + Silagem Milho (10%) + Braquiária (10%), com 22 L.kg⁻¹. Ao ser analisado o resultado de produção por quilo de Sólidos Totais, o resultado de maior produção é na combinação ARS (90%) + Braquiária (10%), com aproximadamente 561 L.Kg⁻¹ ST.

PALAVRAS-CHAVE: Biodigestor, Biomassa, Co-digestão, Substratos, Agroenergia.

ALMEIDA, Claudinei, State University of West Paraná, April 2016. **Potential in Biogas Production from Biomass Potential From Starting From Swine With Energy Crops**. Adviser: Prof. Dr. Reinaldo Aparecido Bariccatti.

ABSTRACT

The use of alternative energy sources is driven by the aim of minimizing environmental degradation in order to avoid that natural resources are depleted and slow the advance of global warming caused by emissions of greenhouse gases. Much has been researched about new energy sources, among which may be cited as the main: solar energy, wind energy, hydropower and biomass. The biogas from the biological treatment is distinguished by its increasing use to be a source of clean energy with a great social, financial and environmental return to humanity. To enhance this production of biogas, area researchers see performing various combinations, to evaluate or how best to combine any type of waste and succeed in increasing biogas production, consequently use in the energy sector. Thus, this work presents the objective analysis of the Total Solids removal rate, using the APHA methodology, 2012; Analysis of Higher Calorific Value using calorimeter; Analyze Biogas composition, by a Gas Chromatograph and analysis of biogas production using swine manure, silage medium grain corn, sorghum and pasture ground ruziziensis following a Factorial Planning 23, resulting in higher cumulative production to combination of swine wastewater 90% + *Brachiária ruziziensis* 10%, with 37.2 liters of biogas in seven weeks. Analyzing - the potential production per kilogram of matter, the highest result was the combination of ARS (80%) + Silage corn (10%) + *Brachiária* (10%), with 22 L.kg-1. Upon analyzing the result of production per kilogram of total solids, the result of the combination is greater production ARS (90%) + *Brachiaria* (10%), with approximately 561 L.Kg ST-1.

Keywords: Biodigestor – Biomass – Co-Digestion – Substrates – Agro-Energy

SUMÁRIO

RESUMO.....	x
ABSTRATC.....	xi
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJETIVO.....	3
1.1.2 Objetivo Geral.....	3
1.1.3 Objetivos Específicos.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 FONTES DE ENERGIA.....	4
2.1.1 Agroenergia e Biomassa	4
2.2 DIGESTÃO ANAERÓBIA DE BIOMASSA	6
2.3 BIODIGESTORES.....	13
2.3.1 Modelos de Biodigestores.....	14
2.3.1.1 Modelo Indiano.....	14
2.3.1.2 Modelo Chinês.....	15
2.3.1.3 Biodigestores de Alto Rendimento.....	16
2.3.1.4 Modelo <i>Plug Flow</i> (canadense)/Tubular	17
2.3.1.5 Reator tipo UASB.....	18
2.4 GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DA BIOMASSA DE SUINOCULTURA	20
2.4.1 Suinocultura no Brasil.....	22
2.4.2 Suinocultura no Paraná	24
2.5 SUSTENTABILIDADE E MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO..	28
2.6 APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS PARA PRODUÇÃO DE BIOGAS.....	30
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	36
3.1 MATERIAIS.....	36
3.1.1 Local do Experimento.....	36
3.1.2 Análise de Sólidos Totais e Cromatografia.....	38
3.1.3 Análise de Combustão Calorimétrica.....	39
3.1.4 Biomassa Utilizada para Biodigestão	39
3.1.5 Biodigestores Batelada.....	42
3.1.6 Controle de Temperatura e Verificação de Pressão.....	43
3.2 MÉTODOS.....	45

3.2.1 Método para Mediação do Biogás.....	45
3.2.2 Caracterização dos Substratos.....	46
3.2.3 Análise de Combustão Calorimétrica.....	47
3.2.4 Planejamento Fatorial.....	48
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
4.1 ANÁLISE DOS SÓLIDOS TOTAIS.....	50
4.2 COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS.....	52
4.3 ANÁLISE DE COMBUSTÃO CALORIMÉTRICA.....	54
4.4 POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS.....	57
4.5 ANÁLISE DO PLANEJAMENTO FATORIAL.....	78
5 CONCLUSÃO.....	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82

1. INTRODUÇÃO

Desde o início do século XX, o mundo tem sofrido com a exploração de seus recursos naturais, com a poluição da atmosfera e com a degradação do solo e da água. A partir daí, começaram a ser estudadas efetivamente alternativas para mitigar a degradação ambiental e utilização dos recursos naturais, aproveitando as diversas fontes com potencial de energia do planeta, denominadas como fontes alternativas de energia, que ganham um espaço cada vez maior por serem renováveis.

Diversas são as fontes de energias renováveis, no entanto, pode-se citar uma fonte de energia que, devido à facilidade de acesso, está constantemente em evidência, a biomassa. Esta pode ser utilizada na produção de bioetanol, biodiesel e biogás, entre outras. Produtos que, uma vez aproveitados, podem ser utilizados para produção de energia térmica, mecânica e elétrica.

Para transformar a biomassa em energia existem diversas tecnologias, os processos termoquímicos e biológicos são os mais utilizados. Este último processo baseia-se na utilização de microrganismos, para transformar as moléculas presentes na biomassa em compostos mais simples, porém, com alto valor energético, dentre estes processos estão à fermentação e digestão anaeróbia (BRÁS et al., 2008).

Para que estes processos biológicos sejam economicamente viáveis são necessárias matérias primas de baixo valor econômico (substrato), pesquisas de setores econômicos apontam que as culturas de verão são as que estão propiciando um maior retorno financeiro (DIJKSTRA, 1993), conseqüentemente teriam uma maior quantidade de biomassa útil a ser utilizada como substrato, uma vez que, seu produto principal é de ótima qualidade.

A ampla biodiversidade encontrada no Brasil faz com que este possua grande variedade de substratos agroindustriais. Muitas vezes os substratos são vistos como um problema da produção, sendo queimados, dispostos na

agricultura ou em aterros de forma inadequada, o que ocasionam problemas ambientais (ABDALLA et al., 2008; MIMURA et al., 2010).

Para produção de biogás utilizando subprodutos agrícolas, é possível se utilizar culturas de inverno e plantas que são cultivadas neste período para proteção da área de plantio. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento, CONAB (2013), a maior parte das regiões do Estado Paraná são afetadas por estiagens e geadas, ocorridas em fases críticas das culturas de inverno, ocasionando um produto de baixa qualidade que pode ser utilizado para tal fim.

Em decorrência destes fatos, as culturas de inverno apresentam uma característica de baixa qualidade, em relação à safra de verão, que é utilizada na cadeia alimentícia. Sendo assim, a utilização da safra de inverno não intervém na cadeia supracitada.

A busca por alternativas para o uso dos subprodutos agroindustriais impulsionou nos últimos anos a pesquisa sobre a utilização dessas biomassas, proveniente de resíduos de agroindústrias, culturas energéticas, entre outras. Entre estas biomassas, encontramos mais comumente a silagem de milho, de sorgo e braquiária, que podem ser incorporadas ao efluente para otimizar a produção de biogás.

A mistura de dejetos suíno com substratos para produção de biogás é recente no Brasil, no entanto, pesquisas vêm sendo realizadas para a utilização dessas biomassas na produção de biogás, visando assim, formas rentáveis e sustentáveis para o meio ambiente.

Apesar de no panorama nacional serem poucas as pesquisas relacionando a utilização de substratos da agroindústria e agropecuária na produção de biogás, na região oeste do Paraná, existem diversos incentivos para pesquisa e projetos em Agroenergia, podendo ser citado como exemplo a Granja São Pedro, que foi a primeira propriedade na América Latina a injetar energia elétrica, gerada com o biogás, na rede de distribuição.

A hipótese da presente pesquisa foi confirmar o aumento de produção de biogás utilizando dejetos suíno com silagem de milho, sorgo sacarino e braquiária *Ruziziensis*.

1.1 OBJETIVO

1.1.2 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho foi determinar o potencial de produção de biogás à partir de biomassa de suinocultura com culturas energéticas.

1.1.3 Objetivos Específicos

- Caracterizar a biomassa pelo parâmetro físico de Sólidos Totais, antes e após o Tratamento Anaeróbio;
- Analisar a concentração de Metano (CH₄) no Biogás produzido no experimento;
- Determinar o Poder Calorífico Superior (PCS), antes e após o Tratamento Anaeróbio;
- Analisar a Produção de Biogás no Experimento utilizando Planejamento Fatorial 2³, com 3 Pontos Centrais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 FONTES DE ENERGIA

Segundo Balanço Energético Nacional BEN (2010), cerca de 44% da energia utilizada no Brasil, provêm de fontes não renováveis, que além de serem fontes finitas, emitem gás carbônico (CO₂) por meio de sua queima, contribuindo para o problema do século conhecido como aquecimento global.

A importância das alterações climáticas, a crescente preocupação sobre o aumento dos preços dos combustíveis fósseis para transporte, assim como, a segurança energética, faz com que muitos países encarem as fontes de energias renováveis como um elemento fundamental para a estratégia nacional de energia e redução de impactos ao meio ambiente (MOERS et al., 2011).

2.1.1 Agroenergia e Biomassa

A agroenergia é definida como todo material orgânico de origem vegetal e que deriva da reação entre gás carbônico e luz solar, ou seja, pelo processo de fotossíntese, a qual armazena fração de energia solar nas ligações químicas de seus componentes (SOUZA et al., 2004 citado por MOERS et al., 2011). A agroenergia corresponde às fontes de energias biológicas, como os biocombustíveis, entre os quais se destacam o etanol, o biodiesel e a biomassa, que têm como sua principal energia, o biogás, este, obtido da degradação da matéria orgânica por microrganismos (FERNANDES, 2011).

Biomassa trata-se de um conjunto de hidrocarbonetos os quais possuem átomos de oxigênio na sua composição química, diferentemente dos combustíveis fósseis. A presença desse elemento químico faz com que a

biomassa requeira menos oxigênio do ar, sendo menos poluente, mas, conseqüentemente sua quantidade de energia a ser liberada é reduzida, diminui assim o seu poder calorífico superior (NOGUEIRA e RENDEIRO, 2008).

Para Bley Junior (2009), a biomassa trata-se de uma fonte de energia renovável e limpa, que pode ser utilizada de forma a preservar o meio ambiente e que contribui positivamente para a economia. Dentre as biomassas, a biomassa sólida tem como fonte os produtos e resíduos da agricultura, incluindo substâncias vegetais e animais, os resíduos das florestas e a fração biodegradável dos resíduos industriais e urbanos.

Quanto à biomassa líquida existem uma série de bicomustíveis com potencial de utilização, todos com origem nas chamadas "culturas energéticas". São exemplos: o biodiesel obtido a partir de óleo de soja; girassol; o etanol que é produzido a partir da fermentação de hidratos de carbono, tais como, açúcar, amido e celulose; além do metanol que é gerado pela síntese do gás natural (CUORE, 2008). Atualmente, vislumbram-se novas alternativas energéticas para produção de biodiesel como o *Crambe abyssinica Hochst* e a *Jatropha curcas Linn.*, por se tratar de fontes alternativas não utilizáveis na alimentação animal, porém, com grande potencial bioenergético (DIB, 2010).

Outra cultura que também tem um grande potencial energético é o milho em forma de silagem, essa cultura pode ser utilizada para produção de biogás. Segundo Prochnow et al. (2009), quanto mais homogeneizada, melhor para as bactérias, pois, os microrganismos necessitam quebrar às moléculas para fermentação. Fatores quanto o volume do substrato, a utilização de aditivos e principalmente o tempo em que a biomassa se encontra sob estas condições, deverão influenciar nas propriedades da qualidade de silagem obtida e, conseqüentemente, na produção de biogás.

De acordo com Souza et al. (2005), a homogeneização do substrato no biodigestor é outro fator importante, porque mantém um contato total e permanente das bactérias com o substrato. Podem formar no interior da mistura microbolhas de gases, principalmente CO₂, que aprisionam grande

número de bactérias, impedindo a atuação das mesmas no processo de biodegradação.

A biomassa é encontrada nos efluentes agropecuários provenientes da agroindústria e do meio urbano e também nos aterros de resíduos sólidos urbanos, resultado da degradação biológica anaeróbia da matéria orgânica e constituídos por uma mistura de metano e gás carbônico que podem ser submetidos à combustão para a geração de energia (BLEY JR, 2010).

As fontes de energias renováveis são caracterizadas por não possuírem um limite de tempo para a sua utilização. São fontes limpas de energia, conhecidas como energias verdes, por não poluírem a atmosfera com gases de efeito estufa. A única exceção é a biomassa que origina dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio (RODRIGUES, 2004). Tendo como principal vantagem à utilização local, as fontes alternativas diminuí a dependência energética de fontes fósseis, no entanto, o custo para instalação ainda é elevado (CARAPETO, 1998).

2.2 DIGESTÃO ANAERÓBIA DE BIOMASSA

Para transformar a biomassa em energia, existem diversas tecnologias, sendo os processos termoquímicos e biológicos os mais utilizados. Este último baseia-se na utilização de microrganismos para transformar as moléculas presentes na biomassa em compostos mais simples, porém, com alto valor energético, dentre estes processos destaca – se à fermentação e digestão anaeróbia (BRÁS et al., 2008).

O processo de biodigestão anaeróbia consiste na quebra das estruturas orgânicas pelas bactérias, que não necessitam de oxigênio e formam compostos simples, como o metano, dióxido de carbono, água e outros (ALMEIDA, 2012), conforme pode ser observado na Figura 1.

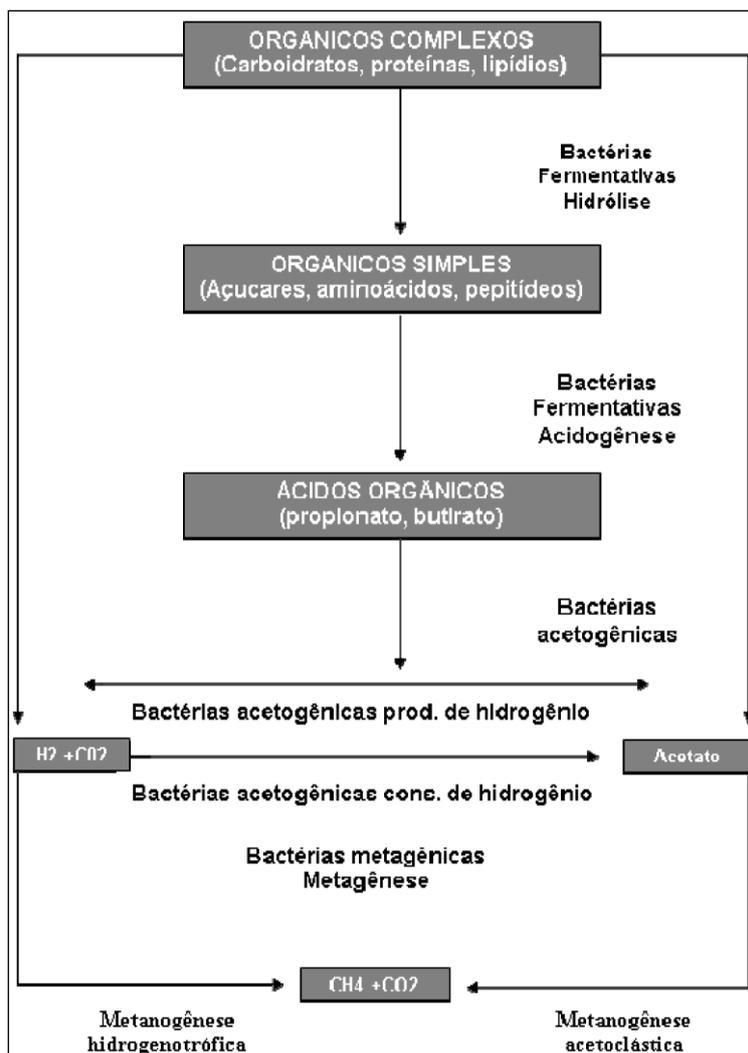


Figura 1. Ilustração do Processo de Digestão Anaeróbia (Fonte: Adaptado de CHERNICHARO, 1997).

Para que os microrganismos possam sobreviver, eles retiram da biomassa parte das substâncias necessárias deste processo, surgem gases e calor, que por sua vez, são lançados para atmosfera. Esse gás é popularmente conhecido como biogás, fonte de energia limpa, barata e abundante (BARRERA, 2003).

O biogás foi descoberto no século XVIII por Alessandro Volta e começou ser produzido em larga escala em biodigestores espalhados pela China e Índia com a intenção de atender as necessidades energéticas na zona rural (SIQUEIRA, 2010).

O biogás é composto por grande parcela de gás metano (CH_4), que quando lançado na atmosfera apresenta potencial de poluição 21 vezes superior ao dióxido de carbono (CO_2), no que se refere ao efeito estufa (COELHO, 2006), conseqüentemente a queima do metano é uma atividade favorável a redução do efeito estufa.

Atualmente o biogás vem sendo utilizado para gerar energia, por meio de conjuntos motor gerador, no entanto, existem alguns níveis de CH_4 e H_2S , em sua composição, que fazem com que melhore o rendimento do motor. Quando o biogás utilizado tem uma porcentagem de CH_4 maior que 60%, o motor funciona com maior rendimento. A quantidade de H_2S presente no biogás causa desgaste e corrosão do motor e quanto menor sua concentração, maior será a durabilidade do motor (MARCHAIM, 1992 apud SUZUKI et al., 2011).

Para Seixas et al. (1980), uma vez que, as especificações e a qualidade de vida dos microrganismos são atendidas, o biogás gerado deverá compor uma mistura de gases, com cerca de 60 ou 65% do volume total consistindo em metano. O restante é constituído em 35 ou 40%, principalmente em gás carbônico, e quantidades menores de outros gases. Esta composição pode variar de acordo com o tipo e quantidade de biomassa empregada, com os fatores climáticos, com as dimensões do biodigestor, entre outros.

A composição do biogás pode conter de 50 a 80% de gás metano (CH_4), 20 a 50% de gás carbônico (CO_2) e pequenas porcentagens de gases traços como: sulfeto de hidrogênio (H_2S), nitrogênio (N_2) e hidrogênio (H_2) (FILHO, 1981; AXAOPOULUS e PANAGAKIS, 2003; MARTINS e ASSIS, 2007). Outros autores citam valores semelhantes na composição do biogás, Kunz (2008) encontrou as seguintes porcentagens no biogás: 50 a 70% de CH_4 , 20 a 40% de CO_2 , 0,4 a 0,6% de H_2S . A composição média de elementos presentes no biogás pode ser observada na Figura 2.

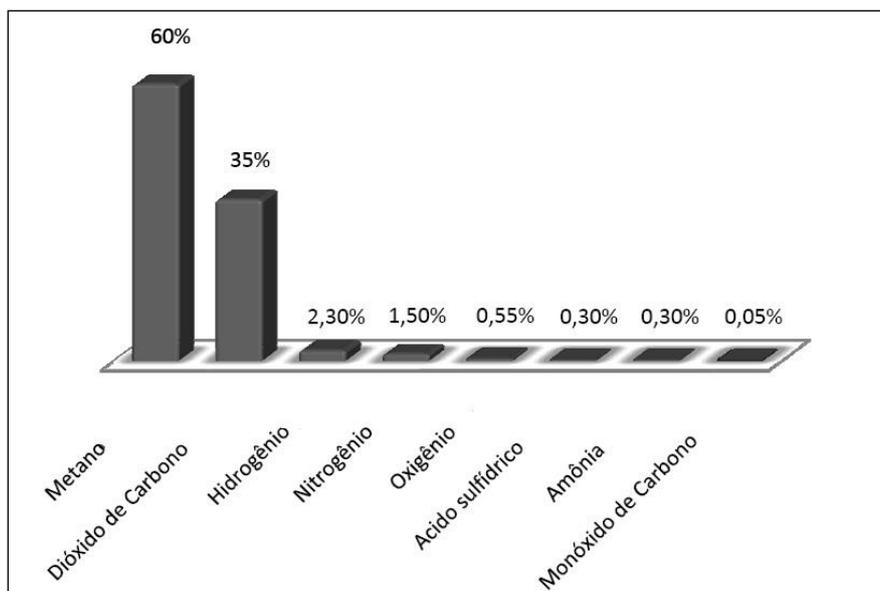


Figura 2: Composição média dos gases presentes no Biogás. Fonte: Adaptado de CASTANÓN, 2002.

O metano é o principal responsável pelo Poder Calorífico no biogás, segundo CCE (2000) apud CREMONEZ (2015), o metano possui poder calorífico de $9,9 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$, sendo que, o biogás contendo uma porcentagem de 50 a 80% de metano, tem o poder calorífico entre $4,95$ e $7,9 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$.

Segundo Oliveira (1993) citado por Souza et al. (2005) 1 m^3 de dejetos suíno produz aproximadamente 50 litros de biogás, ou seja, cerca de $0,051 \text{ m}^3$ de biogás por kg de dejetos. Na mesma linha de pesquisa, Lucas Jr. (1998), encontrou o valor de 70 litros ou $0,07 \text{ m}^3$ de biogás para cada quilo de dejetos. Quando realizado a biodigestão com substratos combinados ao dejetos suíno, a tendência é potencializar a produção de biogás. Para Almeida (2012) 1 m^3 de dejetos suíno combinado com silagem de milho tem potencial para produzir aproximadamente $0,96 \text{ m}^3$ de biogás.

O poder energético do biogás pode ser comparado com outras fontes de energia, principalmente no que se refere ao aquecimento. A Tabela 1 mostra a comparação do biogás com outras fontes energéticas.

Tabela 1. Comparação do poder energético do biogás com outros combustíveis

Combustíveis	1 m³ de Biogás
Gasolina	0,613 Litros
Querosene	0,579 Litros
Óleo Diesel	0,553 Litros
Gás de Cozinha (GLP)	0,454 Litros
Lenha	1,536 kg
Álcool Hidratado	0,790 Litros
Eletricidade	1,428 kw

Fonte: BARRERA, 2003.

No início do ano de 2000, começaram a dissimular uma grande quantidade de pesquisas a respeito do gás metano e hidrogênio, e estes são as duas principais substâncias de pesquisas na área de energias renováveis, pois, sendo o biogás considerado o elemento com maior potencial energético, e isso se comprova pela sua eficácia na questão biocombustível (HEFNER, 2007).

Hefner (2007), em sua pesquisa chamada “A Idade dos Gases”, afirma que, no século IX a humanidade viveu a era da energia oriunda da lenha, que perdurou até meados do século XX. Na Figura 3 a curva verde representa os combustíveis de origem no petróleo e que tiveram seu auge no final do século passado e que tendem a ter aplicações mais nobres. A curva azul representa a curva do metano que teve seu início neste século e que deve ser um combustível que fará a transição para o hidrogênio.

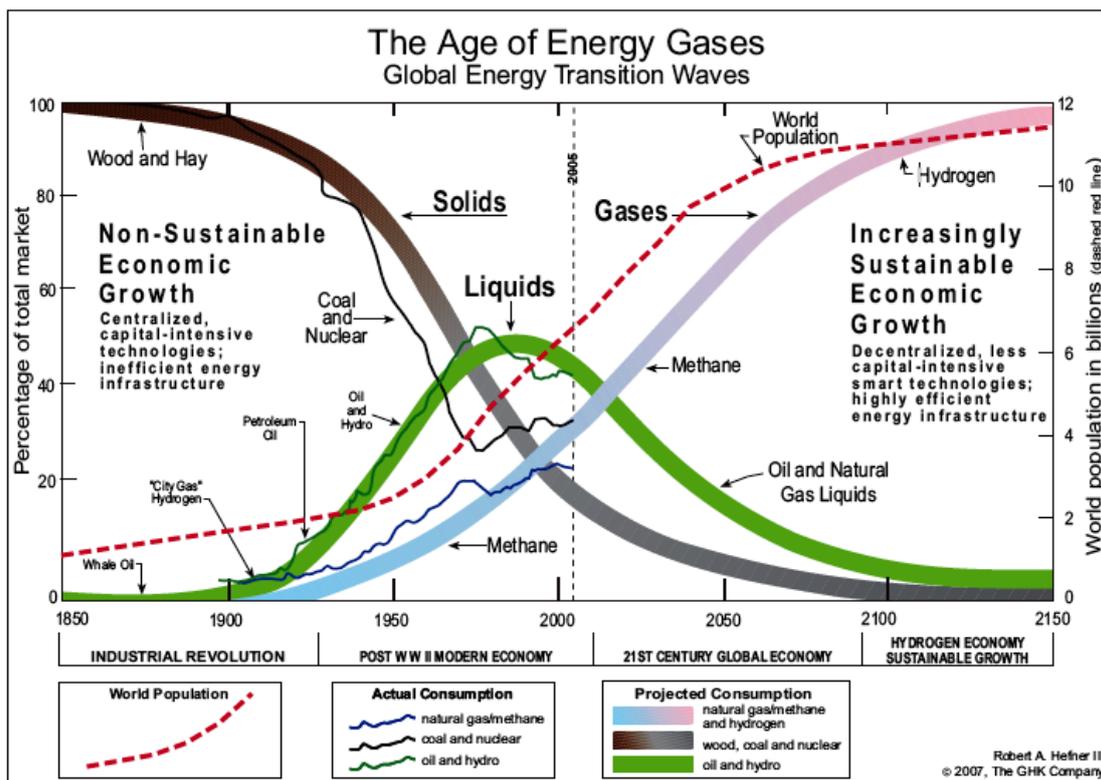


Figura 3. Ilustração da idade dos Gases. Fonte: The GHK Company, Robert A. Hefner III, 2007.

No Brasil, se intensificou o interesse pelo biogás entre as décadas de 70 e 80, principalmente por parte dos suinocultores. Algumas empresas e programas governamentais induziram e subsidiaram a implantação de muitos biodigestores nas propriedades rurais, com o foco principal na geração de energia (KUNZ, 2010).

Segundo o mesmo autor, os programas governamentais tinham como objetivo a redução de dependência das pequenas propriedades rurais em adquirir adubos químicos e também a energia térmica e elétrica para usos como: iluminação, cozimento, aquecimento, bem como, a redução da poluição oriunda de dejetos dos animais além do aumento de renda pelos produtores.

Diversos resíduos de origem animal e vegetal são aproveitados para produção de biogás, fazendo com que, essa energia renovável possa ser utilizada para vários fins.

Inicialmente o biogás era utilizado como fonte de energia térmica, sendo aproveitado de maneira rústica em fogões e fornos. Conforme o desenvolvimento das pesquisas sobre o assunto, novas técnicas de purificação e aproveitamento surgiram, tais como, aproveitamento para geração de energia, aquecimento em caldeiras e aviários, combustível veicular, entre outros. Logo, o biogás passou de um simples coproduto do tratamento de resíduos orgânicos, para uma “*commodity*”, sendo negociado na bolsa de valores em forma de créditos de Carbono, por meio do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

Quando o biogás é utilizado em geradores de energia, conhecido como conjunto moto gerador, não é necessário que o gás metano esteja totalmente puro, no entanto, para que se possa fazer o aproveitamento do biogás como combustível veicular, é necessário que, primeiramente passe por um processo de purificação para se obter o metano em condições adequadas para ser armazenado e transferido para veículos. O objetivo da purificação do biogás é o de remover alguns gases não combustíveis, que além de ocuparem espaço, como gás carbônico (CO_2), também podem ser altamente corrosivos, como o sulfeto de hidrogênio (H_2S), sendo que, é responsável pela oxidação de motores e peças metálicas que fazem parte do conjunto moto gerador nas propriedades, por isso a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) recomenda a purificação do biogás, devido a esse efeito corrosivo (SIMONETTI, 2007).

Atualmente estão disponíveis no mercado alguns equipamentos com alta tecnologia para remoção do H_2S , no entanto, nas primeiras plantas de biogás para geração de energia, eram utilizados malhas de aço, pois, estas absorviam o H_2S , fazendo com que não atingisse o conjunto motor gerador. No caso do CO_2 , recomenda-se o arrasto por água em alta pressão (LUCAS JR; SOUZA, C; LOPES, J.S.; 2009).

O processo de formação do biogás é chamado de biodigestão, mas para que o biogás possa ser utilizado em outros fins, este processo deve ocorrer de maneira controlada por equipamentos denominados biodigestores (LOPES et al. 2002).

2.3 BIODIGESTORES

O biodigestor é o reator biológico onde acontecem, sob condições controladas, os processos de fermentação e produção do biogás. Quanto maior o nível de controle e tecnologia utilizada, maior será a probabilidade de aumento da eficiência do sistema (BLEY JR., 2010).

Os tipos de biodigestores devem ser conhecidos e analisados antes da escolha, visando atender as necessidades de cada propriedade. Estes equipamentos caracterizam-se pela simplicidade na construção e operação. A sua alimentação deve ser periódica, muitas vezes pela diferença de gravidade, por isso, há necessidade de que o dejetos tenha uma consistência mais líquida, facilitando a mobilidade do mesmo pela tubulação da granja até o biodigestor (HENN, 2005).

Cada biodigestor é adequado aos diferentes tipos de resíduos obtidos no meio rural, podendo ser operados com cargas contínuas, quando se alimenta o biodigestor diariamente, ou em batelada, quando os dejetos são colocados no biodigestor e deixados por um determinado período (LUCAS JR., 2006).

Segundo o mesmo autor, antes de inseridos no biodigestor, os dejetos podem ser diluídos em uma quantidade de água, o que dependerá do tipo de dejetos, para que as bactérias possam fazer uma eficiente degradação. Depois de colocados no interior do biodigestor, os dejetos sofrerão ação das bactérias anaeróbicas, fazendo com que seja produzido o biogás. Além do biogás, existirá uma parte sólida e/ou líquida restante do material, a qual deverá ser retirada para ser aproveitada como biofertilizante na adubação de culturas agrícolas. Podem ser observadas na Figura 4 as etapas para produção dos produtos da biodigestão.

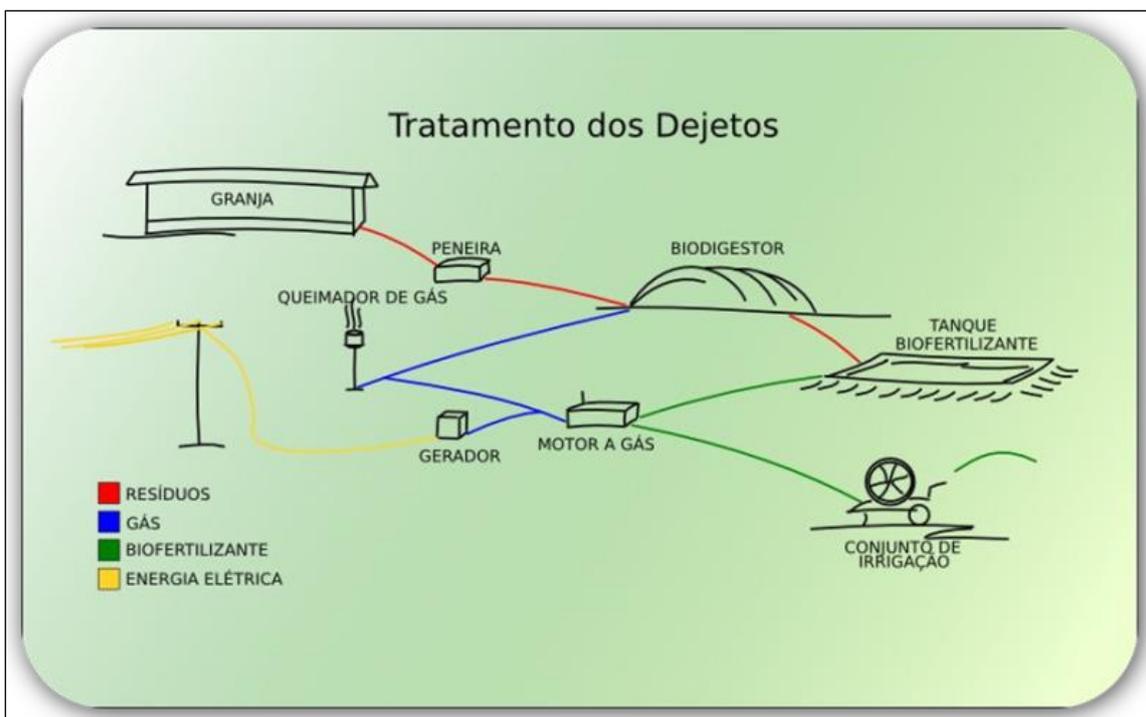


Figura 4. Processo do tratamento de dejetos e aproveitamento de coprodutos. Fonte: Agro Brasil, 2011.

2.3.1 Modelos de Biodigestores

2.3.1.1 Modelo Indiano

O modelo indiano possui uma campânula, podendo ser de metal ou Policloreto de Vinil (PVC), como gasômetro. O tanque de fermentação é dividido em duas câmaras por meio de uma parede central, a função dessa parede divisória é fazer com que o material circule por todo interior da câmara de fermentação. Nesse biodigestor a fermentação é mais rápida, pois, aproveita a temperatura do solo que é pouco variável, favorecendo a ação das bactérias. Como ele fica no solo, é necessário ter um cuidado especial com infiltrações no lençol freático (HENN, 2005). O modelo de biodigestor indiano pode ser visualizado na Figura 5.

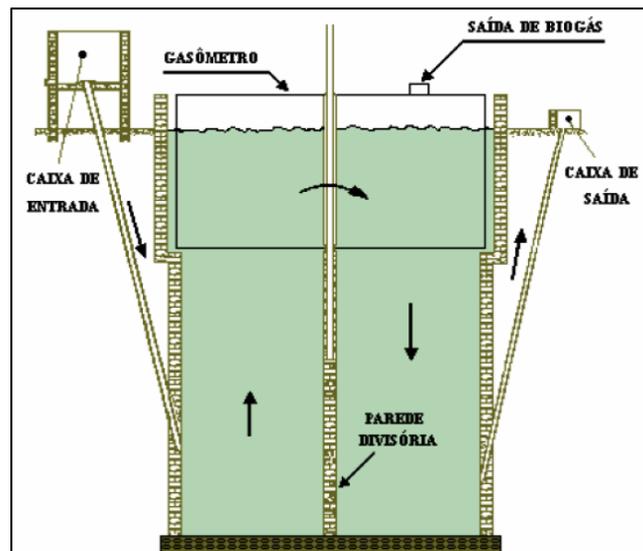


Figura 5. Biodigestor modelo Indiano. Fonte: PECORA, 2006.

2.3.1.2 Modelo Chinês

O modelo chinês é formado por uma câmara cilíndrica em alvenaria para fermentação, o teto é impermeável e também serve para armazenar o biogás. O princípio de funcionamento é como da prensa hidráulica, sendo assim, caso houver o aumento de pressão no interior, pelo aumento de biogás, ocorrerá o deslocamento do fluido da câmara de fermentação para caixa de saída, e em sentido contrário se houver descompressão (SGANZERLA, 1993). O biodigestor modelo chinês pode ser visualizado na Figura 6.

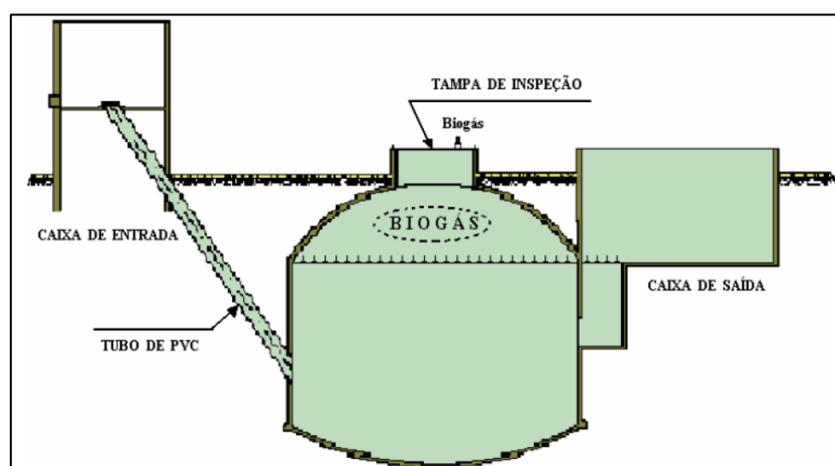


Figura 6. Biodigestor modelo chinês. Fonte: PECORA, 2006.

2.3.1.3 Biodigestores de Alto Rendimento

A tecnologia avançada é a principal diferença no modelo de biodigestor de alto rendimento, tendo como base, o controle minucioso do processo de produção de biogás com o controle de temperatura, agitação, etc. Os lugares onde mais são encontrados esses modelos são: Alemanha, Áustria, Dinamarca e por toda região da Europa. Muito utilizado para geração de biogás, para co-processamento de resíduos animais e vegetais (KUNZ, 2010). A Figura 7 ilustra como é o funcionamento em uma estação completa de tratamento com biodigestores de alto rendimento.

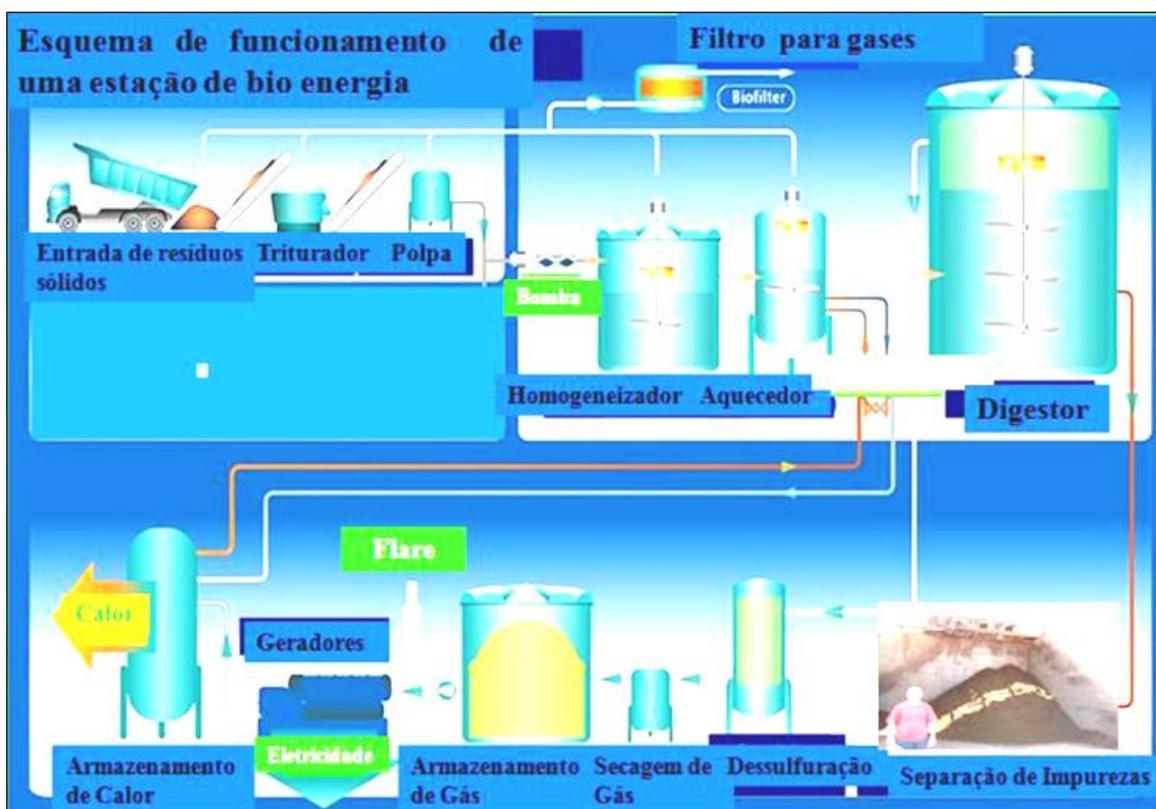


Figura 7. Diagrama de uma usina para geração e purificação de biogás. Fonte: KUNZ, 2010.

2.3.1.5 Reator tipo UASB

Os biodigestores conhecidos como reatores UASB, *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*, conhecidos como RAFA, Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente, apresentam um alto desempenho na produção de biogás e tem característica de fluxo ascendente dos efluentes. No entanto, estes reatores são limitados se comparado aos outros biodigestores, pois não toleram altas concentrações de sólidos quando alimentados, devendo assim, haver certa separação sólido – líquido prévia (PEREIRA, 2003), a Figura 9 ilustra o funcionamento do reator UASB.

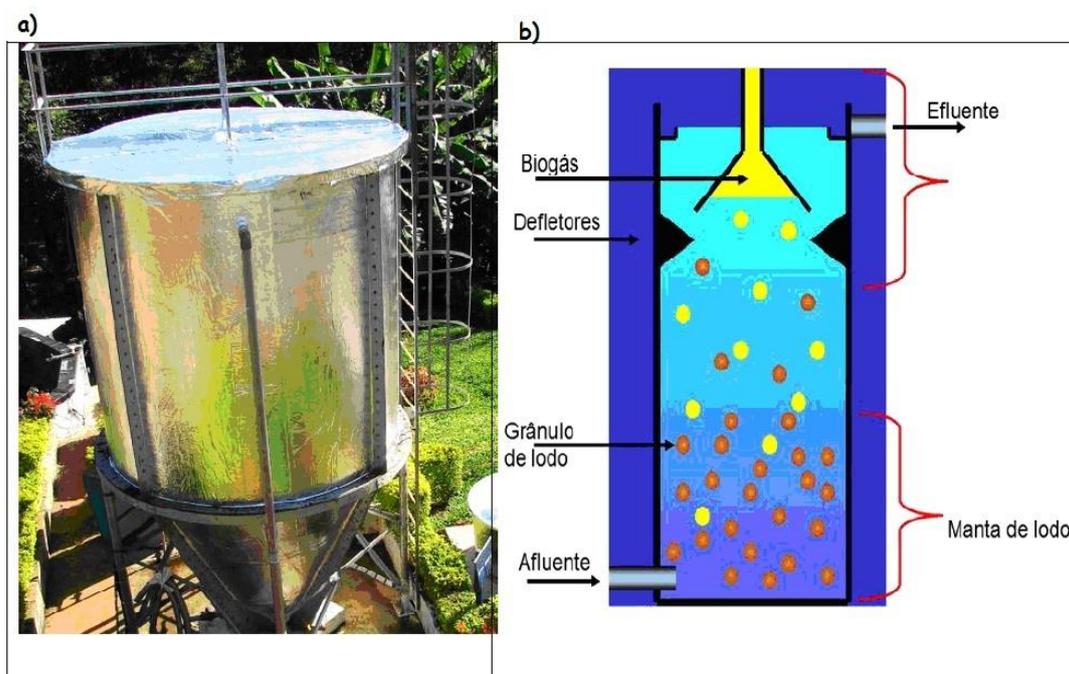


Figura 9. Reator UASB (a); detalhes de seu funcionamento interno (b). Fonte: LUCAS JR; SOUZA, C; LOPES, J.S.; 2009

A empresa Biokohler®, de Marechal Cândido Rondon no Paraná, desenvolvem variações deste reator UASB para tratamento de dejetos bovino e suíno, esse modelo está sendo utilizado no Condomínio de AgroEnergia, na bacia do rio Ajuricaba, em Marechal Cândido Rondon, Estado do Paraná.

O modelo pode ser considerado economicamente viável, por ser construído no próprio município de Marechal Cândido Rondon, e também porque pode ser implantado de acordo com as necessidades para cada propriedade (BLEY JR, 2010). A variação de modelo utilizado no Projeto Condomínio de AgroEnergia Ajuricaba, no Município de Marechal Cândido Rondon – PR pode ser observado na Figura 10.

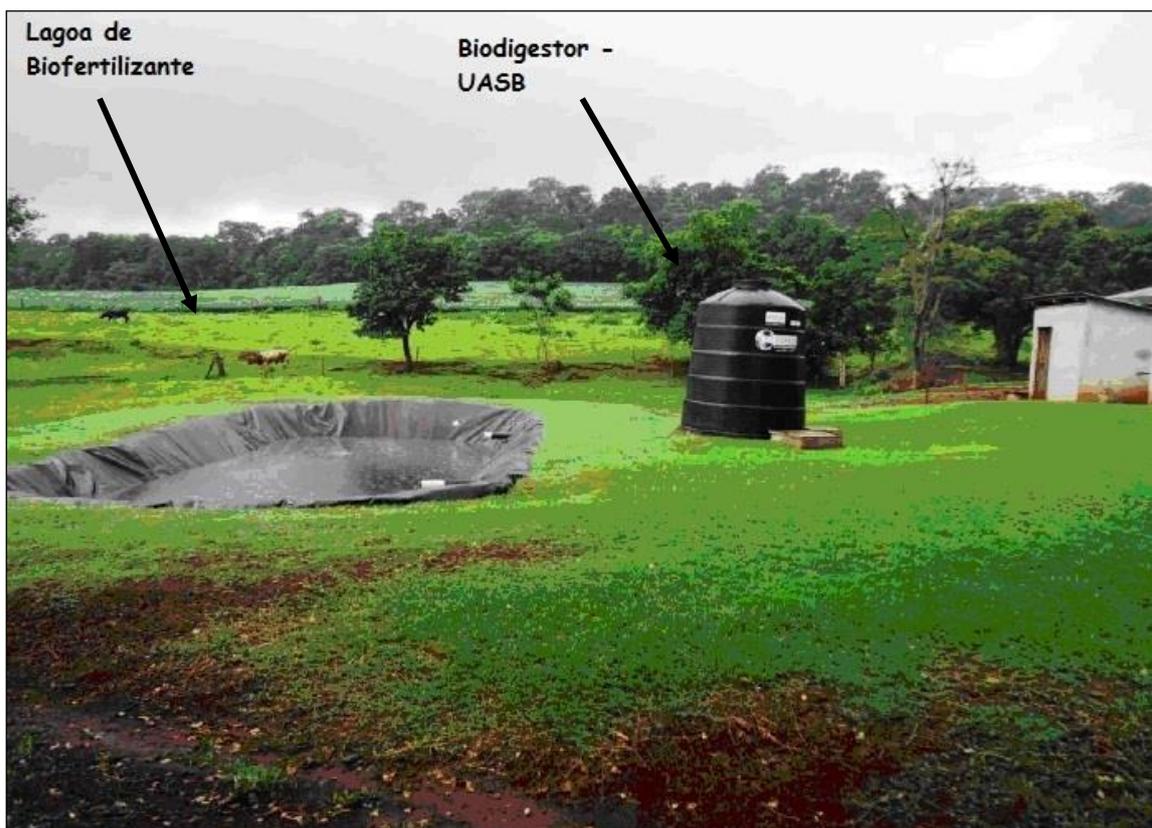


Figura 10. Variação de modelo UASB – Agroenergia de Marechal Cândido Rondon – PR.
Fonte: BOKOHLER® - Biodigestores, 2011.

Existem vários modelos de biodigestores, com tecnologias diferentes, na qual fazer a escolha do modelo é decisão do usuário, no entanto, é necessário que se tenha conhecimento dos limites de cada tecnologia, no que diz respeito a geração de biogás. O biodigestor canadense, por exemplo, tem sua maior vantagem no quesito baixo custo, contudo, não se pode esperar que

esse biodigestor opere com a mesma eficiência de biodigestores de mistura completa e com controle de temperatura, como é o caso biodigestor de alto rendimento (KUNZ, 2010).

De acordo com CENBIO (2001), citado por Salomon (2007), de uma perspectiva sustentável, a geração de energia elétrica por meio da utilização do biogás apresenta as seguintes vantagens:

- Geração de empregos;
- Geração distribuída (GD);
- Colaboração para a viabilidade econômica do saneamento básico;
- Possibilidade eventual de venda de eletricidade à rede ou Compensação de Energia Elétrica;
- Possibilidade de uso de processos de cogeração, ou seja, a geração de eletricidade tem como subproduto calor a ser usado no tratamento do esgoto;
- Redução das emissões de metano para a atmosfera;
- Redução do consumo de combustíveis fósseis;
- Redução na geração de odor para as vizinhanças, de chorume e de contaminação do lençol freático.

Como principais desvantagens, podem ser destacados a formação de sulfeto de hidrogênio, H_2S , e o custo para o investimento ser elevado, devido às tecnologias a serem empregadas para tal utilização.

2.4 GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DA BIOMASSA DE SUINOCULTURA

A suinocultura tem como objetivo produzir alimentos de boa qualidade para o consumidor e esta atividade gera aproximadamente 2,5 milhões de empregos nos estados da região sul, em São Paulo e Minas Gerais (TRAMONTINI, 2000).

O potencial da suinocultura, apesar de ser menor que o total da bovinocultura, é mais acessível por possuir sistemas de criação de confinamento dos animais. Portanto, o aproveitamento desse potencial depende de pequenas intervenções nas edificações de produção e instalação de conjuntos biodigestores. Outro ponto positivo da suinocultura na produção de biogás é o potencial energético, que permite maior viabilidade ao processo (MARIANE, 2010).

Grande parte do plantel de suínos no Brasil está nas mãos de pequenos produtores rurais que não possuem condições econômicas suficientes para investimentos da disposição adequada dos dejetos, uma vez que as tecnologias de saneamento com biodigestores são relativamente caras (BLEY JR, 2010) e não apresentam retorno para o investimento. Tais tecnologias só se viabilizam com o aproveitamento dos produtos da biodigestão: o biogás e o biofertilizante.

Pesquisas têm demonstrado que, os custos para implantação de granjas para criação de suínos são relativamente altos se considerada a situação financeira da maioria dos produtores no Brasil. No entanto, a utilização de equipamentos e técnicas adequadas e a consideração dos dois subprodutos da digestão: o biofertilizante e o biogás tornam os investimentos viáveis economicamente, alguns com retorno em alguns meses (LIRA, J. C. U.; DOMINGUES, E. G.; MARRA, E. G., 2008).

Ainda segundo os autores acima citados, a combustão útil do biogás pode tornar a propriedade auto-suficiente em geração de energia para seus processos de criação de maneira limpa e energeticamente eficiente.

Além disso, o alcance de uma melhor qualidade de vida para o pequeno e médio produtor e alternativas que buscam a sustentabilidade nos processos produtivos, possibilitando dinâmica de produção capaz de comportar toda a família, resulta na queda do êxodo rural, diminuindo a busca de sucesso em outras formas de trabalho fora da propriedade (GOMES, 2004; GONÇALVES JR et al., 2009).

2.4.1 Suinocultura no Brasil

Segundo Dalla Costa (2005), suinocultura é intensiva em pequenas áreas, na maioria das propriedades familiares rurais na região sul do Brasil, devido uma das atividades que melhor se identifica com as características da pequena propriedade. A concentração de maior produtividade suinícola no País pode ser observado na Figura 11.

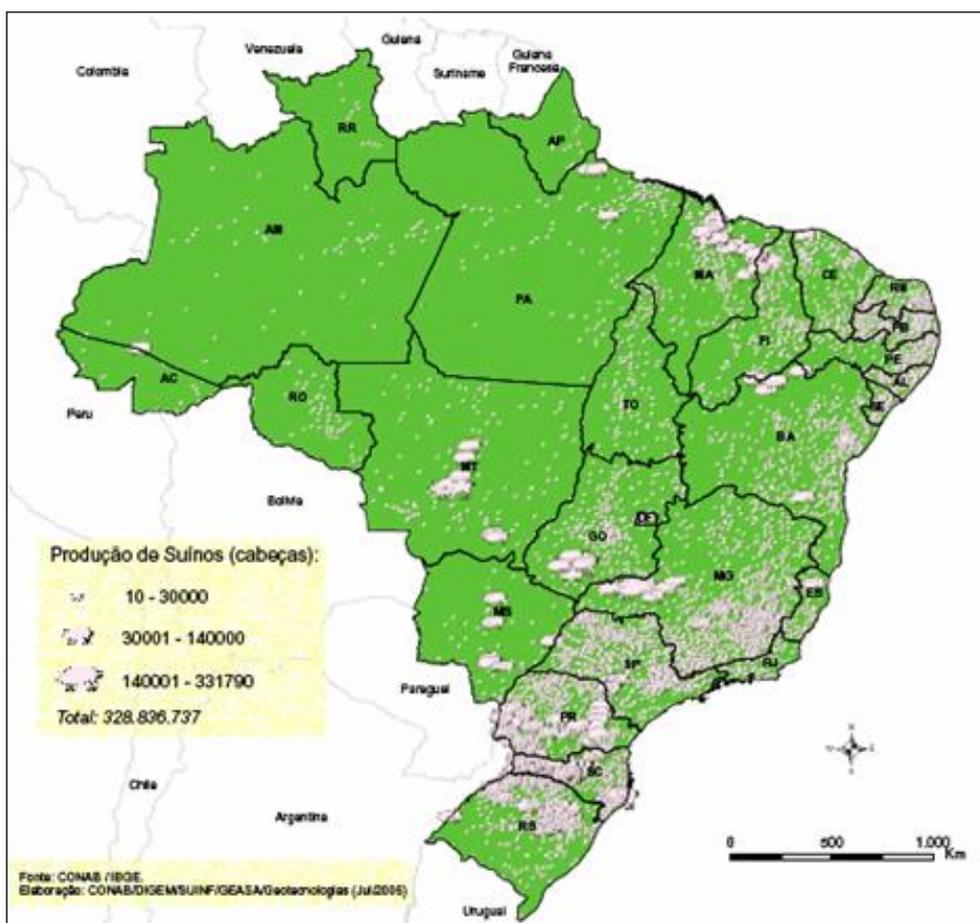


Figura 11. Produção de suínos no Brasil – 2003. Fonte: CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento – IBGE 2003.

O Brasil é o 4º maior produtor mundial de carne suína no mundo, sendo mais de 3 milhões de toneladas em 2011, conforme mostrado na Tabela 2, o que o torna como um dos países promissores no crescimento da produção agropecuária, acrescido à sua grande extensão de terras, recursos hídricos,

meios de transporte e suficiência no abastecimento de grãos (milho e soja) (ABIPECS, 2012).

Tabela 2. Produção Mundial de Carne Suína (mil ton).

PAIS	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
China	42.386	43.410	45.553	46.505	42.878	46.205	48.905	50.000	49.500
U. Européia	21.712	21.753	21.676	21.791	22.858	22.596	22.159	22.250	22.530
EUA	9.056	9.313	9.392	9.559	9.962	10.559	10.442	10.052	10.278
Brasil	2.560	2.600	2.710	2.830	2.990	3.015	3.130	3.170	3.227
Rússia	1.710	1.725	1.735	1.805	1.910	2.060	2.205	2.270	1.965
Vietnã	1.257	1.409	1.602	1.713	1.832	1.850	1.850	1.870	1.960
Canadá	1.730	1.780	1.765	1.748	1.746	1.786	1.789	1.750	1.753
Japão	1.260	1.272	1.245	1.247	1.250	1.249	1.310	1.280	1.255
Filipinas	1.145	1.145	1.175	1.215	1.250	1.225	1.240	1.255	1.260
México	1.035	1.064	1.103	1.109	1.152	1.161	1.162	1.161	1.170
Coréia do Sul	1.149	1.100	1.036	1.000	1.043	1.056	1.062	1.097	835
Outros	5.329	5.265	5.336	5.504	5.714	5.240	5.219	5.352	5.394
TOTAL	90.329	91.835	94.328	95.026	94.585	98.042	100.473	101.507	101.127

Fonte: USDA/Abipecs, 2012.

De acordo com dados da Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de carne suína (ABIPECS, 2012), cerca de 31 milhões de suínos foram abatidos no ano de 2011 só no Brasil, dados esses satisfatórios quanto a grande produção encontrada.

No entanto, segundo órgãos de controle ambiental, a suinocultura é considerada uma atividade causadora de degradação ambiental, sendo vista como poluidor em potencial (OLIVEIRA, 1993), principalmente pela geração de grande volume de dejetos e o elevado consumo de água, tanto para ingestão animal, quanto para limpeza das baias (FEPAM, 2010).

A forma de tratamento dos animais interfere diretamente na produção de dejetos, como a alimentação e manejo. A água residuária resultante da limpeza das granjas é uma das grandes responsáveis pela produção de biogás, afinal, no momento da limpeza, a água é misturada com o esterco, dando

consequentemente características ao dejetos, tais como esterco juntamente com urina, dejetos líquidos, que por sua vez é canalizada ao biodigestor (JELINEK, 1977 apud OLIVEIRA, 1993). A Tabela 3 mostra os dados numéricos da produção de dejetos suínos.

Tabela 3. Produção e manejo de dejetos conforme categoria de suínos

Categoria	Esterco (kg.dia ⁻¹)	Esterco e urina (kg.dia ⁻¹)	Dejetos líquidos (litros.dia ⁻¹)	Estrutura de estocagem (m ³ .animal ⁻¹ .mês ⁻¹)	
				Esterco e Urina	Dejetos líq.
Suínos terminação (25- 100kg)	2,3	4,90	7,00	0,16	0,25
Porcas gestação	3,60	11,00	16,00	0,34	0,48
Porcas Lactação e leitões	6,4	18,00	27,00	0,52	0,81
Cachaço	3,00	6,00	9,00	0,18	0,28
Leitões na Creche	0,35	0,95	1,40	0,04	0,05
Média	2,35	5,80	8,60	0,17	0,27

Fonte: Adaptado OLIVEIRA (1993).

Segundo Dreger (2010), um suíno produz em média de 8 a 18 litros dia⁻¹ de dejetos, o que poderia ser convertido em energia para as mais diversas finalidades. Essa escolha contribuiria também para reduzir os impactos ambientais. Cinco mil animais poderiam gerar cerca de 466.000 kWh ano⁻¹ de energia, o que equivale ao consumo de quase 400 pessoas ano⁻¹ (DREGER, 2010).

2.4.2 Suinocultura no Paraná

A maior produção de suínos no Brasil se encontra na região sul, sendo que o rebanho produzido é de aproximadamente 48,34% do total de suínos do país (IBGE, 2012). Segundo a Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína, ABIPECS (2012) o Paraná passou a ocupar a terceira posição no número de matrizes alojadas no Brasil. A primeira colocação é ocupada pelo estado de Santa Catarina e a segunda colocação pelo Rio Grande do Sul (ABIPECS, 2012).

De acordo com Marques (2010), na região oeste paranaense, os municípios pertencentes à Bacia do Paraná III (BPIII), tem um somatório de aproximadamente 1.521.942 milhões de suínos, esse valor equivale a aproximadamente a 617.142 m³ de biogás por dia, com potencial de produção energética de 765.256 kWh dia⁻¹. A Bacia do Paraná III pode ser visualizada na Figura 12.

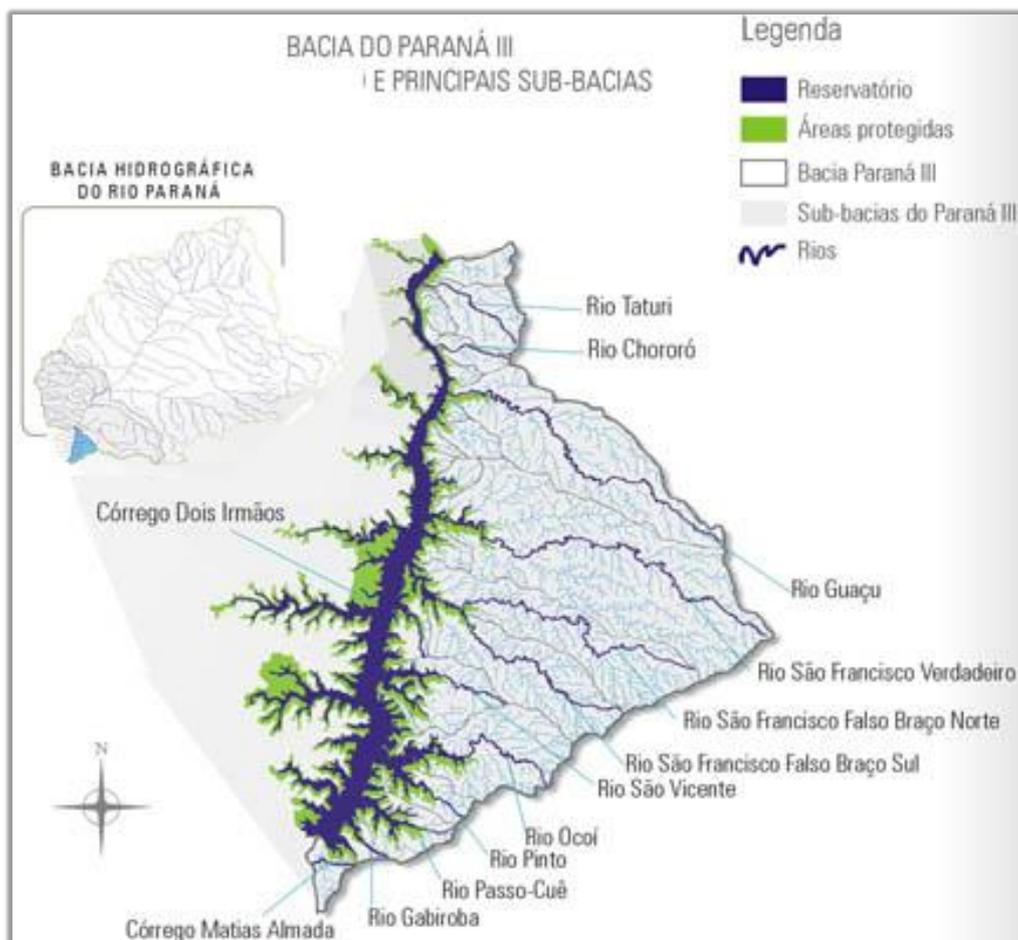


Figura 12. Bacia do Paraná III. Fonte: Cultivando Água Boa, 2012.

A região oeste do Paraná tem o maior rebanho de suínos do Estado, sendo matrizes, creches e terminação. Nos últimos anos o número de animais aumentou, devido ao maior valor da carne suína no Brasil e no mundo. O plantel de suínos foi calculado de maneira segregada, ou seja, matrizes e reprodutores, maternidade, creche e terminação, e o resultado apresentado é a soma destes potenciais (ADEOP, 2010). O potencial da suinocultura nos municípios da BPIII pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4. Potencial da suinocultura nos municípios da BP III

Municípios	Plantel instalado Cooperativas e Empresas	Emissão de metano $m^3 CH_4 dia^{-1}$	Produção de Biogás $m^3 dia^{-1}$	Potencial de Produção de Energia $kWh dia^{-1}$
Cascavel	60.169	13.816,06	23.026,77	28.553,20
Céu Azul	15.123	3.548,94	5.914,90	7.334,48
Diamante do Oeste	500	149,72	249,54	309,43
Entre Rios do Oeste	108.351	25.277,15	42.128,59	52.239,45
Foz do Iguaçu	-	-	-	-
Guairá	-	-	-	-
Itaipulândia	57.215	11.915,30	19.858,83	24.624,94
Marechal C.Rondon	165.704	37.472,33	62.453,88	77.442,82
Maripá	49.809	14.151,82	23.586,37	29.247,10
Matelândia	20.377	4.889,00	8.148,33	10.103,93
Medianeira	52.350	12.553,64	20.922,73	25.944,19
Mercedes	9.996	1.930,46	3.217,44	3.989,63
Missal	37.166	10.934,34	18.223,89	22.597,63
Nova Santa Rosa	103.368	25.358,48	42.264,13	52.407,53
Ouro Verde do Oeste	33.581	8.153,27	13.588,79	16.850,10
Pato Bragado	27.460	7.873,44	13.122,40	16.271,78
Quatro Pontes	28.953	7.573,34	12.622,24	15.651,58
Ramilândia	4.130	1.236,73	2.061,21	2.555,90
Santa Helena	59.091	15.819,93	26.366,56	32.694,53
Santa Tereza do Oeste	3.166	429,01	820,01	1.016,81
Sta Terezinha de Itaipu	540	161,70	269,50	334,19
São José das Palmeiras	12.008	3.425,88	5.709,81	7.080,16
São Miguel do Iguaçu	52.453	11.317,90	18.863,17	23.390,34
São Pedro do Iguaçu	41.566	8.810,93	14.684,88	18.209,25
Terra Roxa	2.090	625,85	1.043,08	1.293,42
Toledo	569.348	140.829,46	234.715,77	291.047,55
Vera Cruz do Oeste	7.428	1.967,43	3.279,04	4.066,01
Total	1.521.942	370.285	617.142	765.256

Fonte: Agência de Desenvolvimento Econômico do Oeste do Paraná (ADEOP, 2010)

Na Tabela 5, o total de suínos está distribuído por categoria entre os municípios da BPIII.

Tabela 5. Plantel de suínos por categoria

Municípios	Matrizes e Reprodutores	Maternidade	Creche	Terminação	Total
Cascavel	4.396	6.380	12.758	36.635	60.169
Céu Azul	1.154	1.506	3.013	9.450	15.123
Diamante do Oeste	-	-	-	500	500
Entre Rios do Oeste	8.822	22.155	22.155	66.296	108.351
Foz do Iguaçu	-	-	-	-	-
Guairá	-	-	-	-	-
Itaipulândia	6.362	16.577	16.577	26.600	57.215
Marechal C. Rondon	14.606	18.606	37.587	94.905	165.704
Maripá	859	1.168	2.336	45.446	49.809
Matelândia	1.500	1.876	3.750	13.251	20.377
Medianeira	4.071	5.353	9.106	33.820	52.350
Mercedes	1.253	1.635	3.268	3.840	9.996
Missal	265	305	610	35.986	37.166
Nova Santa Rosa	5.299	8.414	16.828	72.827	103.368
Ouro Verde do Oeste	3.872	3.164	6.328	20.217	33.581
Pato Bragado	398	535	1.071	25.456	27.460
Quatro Pontes	1.279	1.684	3.369	22.621	28.953
Ramilândia	0	0	0	4.130	4.130
Santa Helena	2.210	2.883	5.766	48.232	59.091
Santa Tereza do Oeste	513	698	1.395	560	3.166
Sta Terezinha de Itaipu	-	-	-	540	540
São José das Palmeiras	210	263	525	11.010	12.008
São Miguel do Iguaçu	5.404	6.783	13.566	26.700	52.453
São Pedro do Iguaçu	2.893	5.388	10.774	22.511	41.566
Terra Roxa	0	0	0	2.090	2.090
Toledo	26.871	47.207	85.416	409.854	569.348
Vera Cruz do Oeste	289	393	786	5.960	7.428
Total	92.526	132.995	256.984	1.039,437	1.521.942

Fonte: Agência de Desenvolvimento Econômico do Oeste do Paraná (ADEOP, 2010)

O período que se encontra maior potencial energético na suinocultura é a fase de terminação, pois, nessa fase o suíno já está adulto, podendo produzir mais dejetos, essa etapa representa 84% da produção de biogás, sendo que, o valor total de suínos nessa fase é menor que 70% do plantel total de suínos na bacia. Os dados podem ser observados na Tabela 6.

Tabela 6. Potencial energético na suinocultura por categoria

Categoria	Plantel instalado	Emissão de m³ CH₄ dia⁻¹	Produção de Biogás m³ dia⁻¹	Potencial de Energia kWh dia⁻¹
Matrizes e Reprodutores	92.526	37.623	62.705	77.754
Maternidade	132.995	2.596	4.326	5.364
Creche	256.984	18.808	31.347	38.870
Terminação	1.039.437	311.259	518.765	643.268
Total	1.521.942	370.285	617.142	765.256

Fonte: Agência de Desenvolvimento Econômico do Oeste do Paraná (ADEOP, 2010)

2.5 SUSTENTABILIDADE E MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO

Sustentabilidade pode ser melhor definida como “Qualidade Sustentável”, ou seja, capacidade de suportar condições impostas por alguém ou por algo. Ser sustentável é a capacidade de manter um sistema equilibrado sem esgotar as fontes naturais, mantendo um ciclo harmônico, suprimindo a necessidade presente sem comprometer as futuras gerações. A sustentabilidade está baseada em três pontos: atividade economicamente viável, socialmente justa e ecologicamente correta. O “Triângulo da Sustentabilidade”, conhecido também como *Triple Bottom Line*, faz a inter-relação entre os três principais pontos para uma sociedade totalmente sustentável, ligando o fator econômico, o ambiental e o social (BLEY JR, 2010). O triângulo de sustentabilidade pode ser observado na Figura 13.

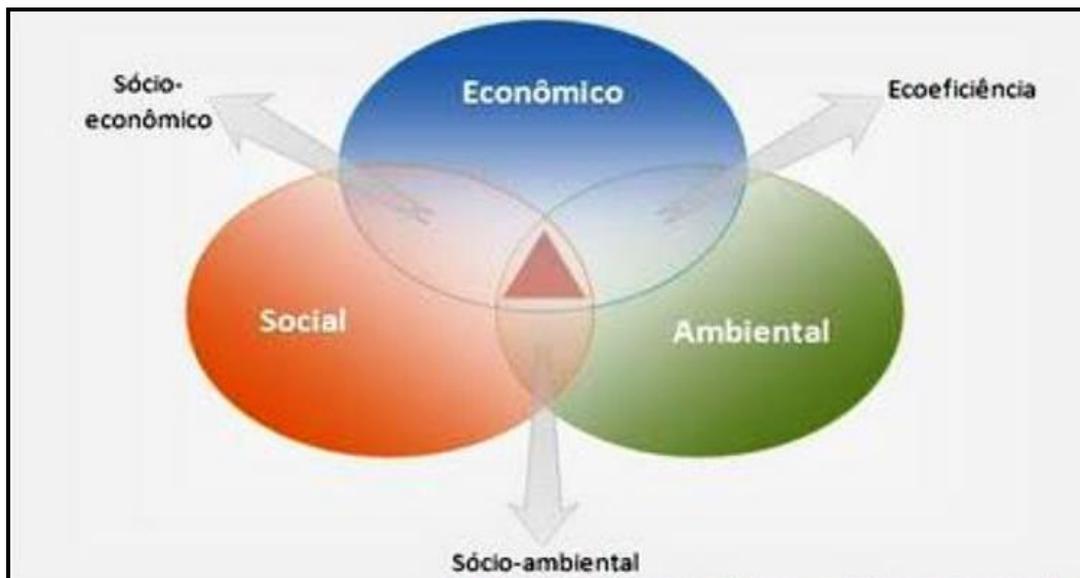


Figura 13. Triângulo da Sustentabilidade. Fonte: Webradioagua, 2011.

Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), é o mecanismo pelo qual o Protocolo de Kyoto possibilita a participação de países em desenvolvimento por meio da implementação de projetos de redução ou remoção de gases causadores do efeito estufa. O objetivo do Protocolo de Kyoto, por intermédio de mecanismos de flexibilização, é estabelecer meios economicamente atrativos para a promoção do desenvolvimento sustentável, de forma a viabilizar o custeio de projetos e retorno financeiro aos investidores em países em desenvolvimento (VILLARREAL, 2009).

Segundo Ribeiro (2005), para se conseguir autenticidade no MDL devem seguir algumas normas, são elas:

- Existência de uma entidade responsável por sua implantação - É obrigatório que essa entidade seja localizada em um país em desenvolvimento;
- Existência de uma entidade financiadora do projeto de MDL, também, localizada no país em desenvolvimento;
- Emissão de crédito de carbono como resultado do projeto de MDL, na modalidade Reduções Certificadas de Emissões – RCE.

Os países em desenvolvimento que sancionaram o Protocolo de Kyoto podem se beneficiar dos projetos de MDL, para promoverem o desenvolvimento sustentável. Em contra partida, esses países recebem Reduções Certificadas de Emissões (RCE's) por terem investido nesses projetos (SOUZA, 2007).

Segundo Villarreal (2009), com esse início do mercado de carbono, bem como a comercialização em bolsa de valores, os títulos representativos dos créditos de carbono assumiram a condição de *commodity*. Suarez (2000), ao analisar os fluxos financeiros internacionais, relacionados à comercialização dos créditos de carbono, revela que se abre um novo canal para adoção de tecnologias “limpas” e uma nova “*commodity*”, cuja mercadoria são as toneladas de carbono, uma vez que pode ser negociada e que já é um grande salto em fluxo de dólares nos países desenvolvidos para os países em desenvolvimento (SUAREZ, 2000).

No Brasil tem-se o exemplo da AGCERT® soluções ambientais, empresa canadense, atuante em toda América latina, líder em projetos de MDL, única que assume todo o processo de gerenciamento do projeto, a comercialização dos créditos de carbono, com seu foco na suinocultura e bovinocultura. A empresa faz toda mediação com indústrias e governos europeus e asiáticos, atuando na bolsa de valores de Londres (SIMONETTI, 2007). No entanto, esta empresa decretou “Autofalência” no ano de 2012, os motivos são desconhecidos (JUSBRAZIL, 2012).

2.6 APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

A aplicação do processo fermentativo de digestão anaeróbia para a produção das energias renováveis tem aumentado nos últimos anos. A digestão anaeróbia pode ser aplicada para conversão de substratos, resíduos biodegradáveis, biomassa, resíduos de colheitas, estrume e culturas energéticas em produção de energia renovável, biogás (FREDRIKSSON et al., 2006).

O biogás rico em metano é fonte de carbono neutro da energia renovável e, é uma economia competitiva alternativa na produção de energia, tanto na sua eficiência energética quanto no impacto ambiental (GERIN et al., 2008)

Em alguns países da União Europeia, como a Itália, a Áustria e a Alemanha, o fornecimento de substrato é muitas vezes por culturas específicas de energia, como os cereais e o milho (EurObserv'ER, 2007). A área agricultável total na União Europeia é de até 100 milhões de hectares, e quase 20% desta terra pode estar disponível, não para fins de colheita de alimentos, mas, para produção de energia durante as próximas décadas (AMON et al., 2007). Para os agricultores, as culturas energéticas podem ser uma opção interessante para o uso de terras mais retiradas, porque o não-uso de produtos agrícolas, muitas vezes trata-se de um descanso para terra (HANEGRAAF et al., 1998).

Sistemas de produção de biogás com base em culturas energéticas precisam ser analisados a partir de uma perspectiva global, considerando funções ecológicas em paisagens agrícolas e naturais, bem como, suas implicações no mais amplo meio de subsistência (BRAUN, R.,WEILAND, P.,WELLINGER, A., 2008).

Diversas são as técnicas para aperfeiçoar a produção de biogás por meio das culturas energéticas, sendo a ensilagem o método preferencial para manter o conteúdo energético das culturas, garantindo um satisfatório valor de nutrientes para biodigestão anaeróbia, no entanto, esse armazenamento deve ser realizado em um modo adequado (VERVAEREN et al., 2010).

Para obter um melhor resultado na biodigestão anaeróbia de culturas em forma de silagem, alguns pesquisadores utilizam aditivos biológicos no momento da ensilagem, para que o processo de hidrólise seja acelerado durante a fermentação para obter um melhor resultado na fase metanogênica. De acordo com Vervaeren (2010), um estudo realizado utilizando cultura energética, silagem de milho, obteve um ganho de 22,5%, sendo injetados aditivos biológicos no momento da ensilagem.

Em sua pesquisa, Pacetti, T.; Lombardi, L.; Federici, G., (2015), utilizaram indicadores para analisar a produção de biogás utilizando culturas de milho, trigo e sorgo sacarino, sendo que, a cultura com um maior potencial para produção de biogás foi a cultura de sorgo, seguida pelo de milho, e com resultado não satisfatório a cultura de trigo. Isso devido ao clima não favorável, por sua exigência hídrica. O sorgo sacarino tem seu potencial energético elevado porque sua estrutura tem maior capacidade de armazenamento de água.

Não é possível determinar que, uma cultura com potencial energético seja superior à outra cultura, pois, cada País tem sua limitação quanto ao clima e período de estiagem, estes são fatores determinantes para desenvolvimento da planta e futura produção de biomassa/biogás.

Claramente, culturas energéticas apropriadas para o cultivo em um País pode ser menos adequado em outro País. Segundo Tike (2007), a área de terra cultivável na Finlândia é de 2,3 Mha dos quais cerca de 27%, (650.000 ha), são pastagens. O Ministério da Agricultura e Florestas propôs que 500.000 ha de terras cultiváveis, correspondente a 22% de toda a terra arável na Finlândia, poderiam ser destinados a produção de culturas energéticas (VAINIO-MATTILA et al., 2005).

O cultivo de pastagens também é um bom uso ambiental de terras cultiváveis. Gramíneas tem capacidade de impedir e resgatar os nutrientes lixiviados, e terras cultiváveis é comum ficarem cobertas por gramíneas nos meses de outono e inverno (HYYTIÄINEN, T., HEDMAN-PARTANEN, R., HILTUNEN S., 1999). No Brasil, diversos agricultores utilizam o consórcio de culturas, principalmente nas safras de milho durante o inverno, uma das plantas com maior atratividade no consórcio é a Braquiária.

Segundo Pereira et al., (2005), a Braquiária, ocupa cerca de 80% de toda área de pasto cultivadas no País, pois, tem uma maior capacidade de armazenamento de água e proteção do solo. Este consorcio é viável, desde que, as duas espécies sejam implantadas simultaneamente, pois, desta maneira, o cultivo e crescimento, permitiria a produção do milho, sem

comprometer o desenvolvimento da Braquiária *Ruziziensis* (RICHART, et al., 2010).

A pecuária no Brasil é baseada na produção de pasto, deste modo, o melhoramento de forrageiras tem papel relevante para o setor econômico do País. Embora a Braquiária *Ruziziensis* não seja a espécie mais plantada dentro do gênero, é a única dentre as agricultadas no Brasil, que é diploide e exclusivamente sexual (Valle; Savidan, 1996 apud Souza Sobrinho, 2005) o que permite a geração de variabilidade e viabiliza a seleção (SOUZA SOBRINHO et al., 2009).

Pela difícil disponibilidade hídrica, a Europa necessita explorar outros potenciais energéticos, como as culturas energéticas, biomassa de vegetais e dejetos de animais, fazendo com que usinas de biogás sejam responsáveis pela geração de energia elétrica, principalmente nas regiões da Alemanha e Áustria (WEILAND, 2000). Pode-se observar na Figura 14 a maior usina de biogás do mundo, com 140 MW de potência, instalada na Finlândia.



Figura 14. Maior usina de biogás do mundo. Fonte: Globo.com 2014.

Entre as culturas energéticas, o sorgo sacarino se destaca pelo seu crescimento rápido, sua biomassa e capacidade de armazenar açúcar (MOLAVERDI et al., 2013). Sua resistência à salinidade e estiagens está entre as características distintivas da planta (ALMODARES e HADI, 2009), tem

situações em que requer menos fertilizante do que o milho, para alcançar rendimentos de crescimento elevados (SHOEMAKER et al., 2010).

A haste da planta é rica em açúcares solúveis, ou seja, sacarose, frutose e, assim como, os hidratos de carbono insolúveis, isto é, celulose e hemiceluloses, todos das quais podem ser utilizados como matérias primas para produção de etanol e biogás (WHITFIELD, M.B., CHINN, M.S., VEAL, M.W., 2012; MOLAVERDI et al, 2013).

Organosolv podem ser utilizados como um método de pré-tratamento, para melhorar a digestibilidade da parte de celulose. O sorgo sacarino tem grande potencial para produção de etanol e biogás, no pré-tratamento, os talos podem ser utilizados, pois, contem apreciáveis quantidades de açúcares, não devendo ser desperdiçados (ANTONOPOULOU e LYBERATOS, 2012).

A adição de ácido ao pré-tratamento *organosolv* pode melhorar a hidrólise e a produção de etanol, mas, não há rendimento na produção de biogás (OSTOVAREH, KARIMI, ZAMANI, 2015).

Dentre os tipos de sorgo para produção de biogás, o Bicolor é particularmente o mais adequado, pois, é uma planta de rápido crescimento (GENG, et al., 1989), proporcionando uma produção de biomassa similar ao do milho (AMADUCCI, MONTI, VENTURI, 2004). Em comparação a outras culturas, por exemplo, milho, exhibe maior resistência à seca (Farré, Faci, 2006; Zegada-Lizarazu, Zatta, Monti. 2012), e uma forma de adaptação ampla, para diferentes ambientes e condições do solo (ZEGADA-LIZARAZU, MONTI, 2012). Além disso, tem o potencial para produções elevadas de amido, açúcar e celulose (ROONEY, et al., 2007).

Para utilização de sorgo ou milho na produção de biogás, podem ser feitos da forma em que a palha fique conservada em forma de silagem, podendo ser utilizada diretamente na produção, e o grão pode ser processado em pequenas dimensões para facilitar a biodigestão (ROBERTSON, et al., 2006).

O cultivo de sorgo é muito semelhante à cultura do milho, em termos de gestão de terra, sementeiras, fertilização e proteção fitossanitária pode ser utilizado o mesmo sistema de mecanização (MEKI, et al., 2013). Sorgo

necessita de temperaturas mais elevadas do que o milho, para formação de sua biomassa (SCHUSTER, 2011).

Sabendo a quantidade de biomassa disponível no sorgo sacarino, e também sua composição química, é possível calcular o seu potencial teórico de biogás (THEURETZBACHER, F. et al., 2013). A proteína bruta e o teor de gordura são multiplicados pelo potencial de biogás, de acordo com (A.G.E., 2006). À medida que a composição de celulose, hemicelulose, açúcar e amido são conhecidas, seu potencial de produção de biogás pode ser calculado (BUSWELL A. M., 1952; BOYLE W.C., 1977).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Local do Experimento

A maior parte da pesquisa foi desenvolvida em uma propriedade rural, em São Miguel do Iguçu, extremo oeste do Paraná. Município que tem sua economia baseada no Agronegócio, comércio e serviços. Nos meses mais frios, as temperaturas médias ficam entre 12 e 15 °C e nos meses mais quentes entre 25 e 35 °C (SÃO MIGUEL DO IGUAÇU, 2014)

A parte experimental deste estudo, bem como, análise quantitativa de produção de biogás foi realizado na Fazenda e Granja São Pedro, de propriedade do Sr. José Carlos Colombari, e está localizada nas coordenadas geográficas 25°29'53" S e 54°13'29" O, com aproximadamente 250 m de altitude. A Granja São Pedro pode ser observada na Figura 15.



Figura 15. Granja São Pedro, imagem aérea. Fonte: Banco de Imagens da propriedade, 2011.

Esta propriedade tem histórico positivo no que diz respeito a energias renováveis, por ser uma das Unidades de Demonstração do Parque

Tecnológico de Itaipu (PTI). A Granja São Pedro possui dois biodigestores para o tratamento de dejetos suínos, e utiliza o biogás produzido para geração de energia elétrica, além de utilizar o efluente dos biodigestores como biofertilizante em áreas de pastagem.

Atualmente a fazenda possui uma área total de 250 ha, e trabalha com quatro atividades, grãos (soja e milho), suinocultura em fase de terminação, pecuária de corte e produção de energia elétrica. A atividade de grãos é cultivada com sistema de plantio direto e agricultura de precisão o que garante melhor produtividade. A cultura de milho safrinha produzida é destinada ao consumo da propriedade pela suinocultura. Atualmente a suinocultura é principal atividade da propriedade, que conta com um rebanho de 5 mil suínos alojados.

A produção de energia elétrica é consequência do plano ambiental da suinocultura. Com a implantação de um biodigestor foi possível produzir energia elétrica utilizando o biogás gerado.

A propriedade localiza-se a 2 km da divisa do Parque Nacional, por isso é intensa a fiscalização por parte do órgão ambiental, sendo que até 2005, a propriedade possuía um grande problema com os dejetos suínos. O tratamento era feito em lagoas a céu aberto, gerando moscas, mau cheiro e poluição. Por meio do protocolo de Kyoto de 1992, muitas empresas estrangeiras vieram ao país, para desenvolver tecnologias limpas, a fim de compensar suas emissões de gases nocivos ao planeta. Em parceria com a empresa Agcert® foi instalado um biodigestor de fluxo tubular, modelo *plug flow* ou canadense, com capacidade para 1000m³, para a coleta e queima do gás metano (CH₄), na propriedade, gerando assim os créditos de carbono.

Inicialmente, o gás metano não tinha nenhum tipo de destinação, por isso era incinerado. No ano de 2006 a empresa adquiriu um gerador movido a gás, este dava utilidade ao biogás, e supria as necessidades energéticas da fazenda. O grande passo veio quando a Itaipu Binacional fez o primeiro contato com a fazenda, oferecendo parceria, no interesse de desenvolver projetos que utilizassem o biogás. A ideia era produzir energia de forma distribuída, como nas pequenas centrais hidrelétricas (PCH) sendo a energia transmitida

diretamente na rede de varejo, o que significa economia com grandes redes de transmissão.

Até o ano de 2009, era utilizado um motor com 50 kva de potência e um biodigestor com capacidade para 1300 m³ de dejetos, no ano de 2010 o projeto foi ampliado para gerar até 100 kva e a Financiadora de Estudos e Projetos, FINEP, em parceria com o Parque Tecnológico de Itaipu, PTI e a Granja São Pedro, adquiriram um conjunto motor gerador, onde foi instalado outro biodigestor de fluxo tubular, modelo *plug flow* ou canadense, com capacidade para 600m³. Atualmente a Fazenda e Granja São Pedro comercializa energia elétrica com a concessionária em forma de compensação de crédito de energia, como estabelece a Resolução 482/2012 ANEEL.

3.1.2 Análises de Sólidos Totais e Cromatografia

Para executar o experimento, foram realizadas as seguintes combinações:

- ARS 2L
- ARS 1.8L + 200mL Sil. de Milho
- ARS 1.8L + 200mL Sorgo Sac.
- ARS 1.8L + 200mL Braquiária
- ARS 1.6L + 200 mL Sil. de Milho + 200mL Sorgo Sac.
- ARS 1.6 + 200mL Sil. Milho + 200ml Braquiária
- ARS 1.6 + 200mL Sorgo Sac. + 200mL Braquiária
- ARS 1.4L + 200mL Sil. Milho + 200mL Sorgo Sac. + 200mL Braquiária
- ARS 1.7 + 100ml Sil. Milho + 100ml Sorgo Sac.+ 100ml Braquiária

Essas combinações foram submetidas à análise de Sólidos Totais (ST), sendo realizadas no material anterior e posterior ao tratamento anaeróbio, tornando possível o estudo, a comparação e a avaliação da eficiência de remoção dos ST no experimento. Essa análise foi realizada no laboratório de Química, pertencente à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, UNIOESTE – campus Toledo/PR.

Para conhecer a qualidade do biogás produzido pelas combinações, optou-se em realizar a análise de qualidade do biogás, (CH₄), que foi realizada no laboratório de Cromatografia gasosa, pertencente à Universidade

Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR. O cromatógrafo utilizado é da marca PerkinElmer modelo Clarus 680.

3.1.3 Análise de Combustão Calorimétrica

Para determinação do poder calorífico superior das amostras antes e após a biodigestão foi utilizado um calorímetro de bomba, modelo E2K da Digital Data Systems com precisão de temperatura de 0,000006 °C, que segue as normas ISO, ASTM, BS e DIN.

3.1.4 Biomassas utilizadas para Biodigestão

Para biodigestão anaeróbia, foi utilizada água residuária de suinocultura (ARS), combinadas com os substratos de Silagem de Milho, Braquiária *Ruziziensis* e Sogo Sacarino, nas proporções de 5% e 10%. Esses substratos foram triturados, utilizando o implemento agrícola Forrageira Nogueira® n 09.

Segundo Prochnow et al. (2009), quanto mais homogeneizada, melhor para as bactérias, uma vez que, os microrganismos necessitam quebrar às moléculas para fermentação. Fatores quanto o volume dos pedaços de substrato, a utilização de aditivos e principalmente o tempo em que a biomassa se encontra sob estas condições, deverão influenciar nas propriedades da silagem obtida e produção de biogás.

A silagem de milho é da safra de inverno, cortada no mês de julho de 2014, onde ficou armazenado em bolsas de 50m de comprimento x 2m de largura, na Fazenda Granja São Pedro. A coleta para utilização no experimento foi realizada no dia 02 de abril de 2015, as bolsas de silagem de milho podem ser visualizadas na Figura 16.



Figura 16. Bolsas de silagem de milho. Fonte: Banco de Imagens da propriedade, 2015.

A braquiária *Ruziziensis* foi plantada no início do mês de janeiro de 2015, plantada em consórcio com o milho, tem por finalidade a cobertura vegetal, como proteção do solo e retenção de água. Foi cortada no dia 02 de abril de 2015, sendo triturada no mesmo dia do corte, a braquiária *Ruziziensis* pode ser visualizada na Figura 17.



Figura 17. Braquiária *Ruziziensis*. Fonte: Autor.

O sorgo sacarino foi plantado no mês de novembro de 2014, na área da Fazenda experimental da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC), no campus de Toledo, conforme pode ser visualizado na Figura 18, sendo cortado para o experimento no dia 02 de abril de 2015, e triturado no mesmo dia.

O sorgo sacarino utilizado para o experimento foi desenvolvido pela empresa CERES®, inicialmente o sorgo era utilizado com exclusividade para produção de etanol por seu teor de açúcar, podendo alcançar em torno de 3 m de altura, no entanto, a empresa começou a desenvolver o sorgo sacarino alta biomassa, com caule mais grosso e uma altura que varia de 4 à 6 m, o sorgo sacarino pode ser observado na Figura 19.



Figura 18. Área de plantio Sorgo Sacarino. Fonte: Google Earth, 2015.



Figura 19. Cultivar de Sorgo Sacarino. Fonte: EMBRAPA, 2015.

3.1.5 Biodigestores batelada

Para condução do processo de biodigestão anaeróbia, foram construídos 22 reatores e 22 gasômetros, em basicamente Policloreto de Vinila (PVC), em escala laboratorial, o reator possui as medidas de 10 cm de diâmetro e 32 cm de altura, com um volume de aproximadamente 2,5 litros. Para evitar possíveis vazamentos por causa da fermentação do material no reator, foram determinados 2 litros como volume útil, cerca de 80% do volume total do reator.

Pelo pouco volume e por serem em escala laboratorial, os biodigestores em formato batelada são de fácil operação, pois, é abastecido apenas uma vez onde permanece em biodigestão anaeróbia até o período que seja adequado (DEGANUTTI et al. 2002).

Os biodigestores em batelada são ligados aos gasômetros, por meio de um tubo de silicone, conforme pode ser observado na Figura 20.

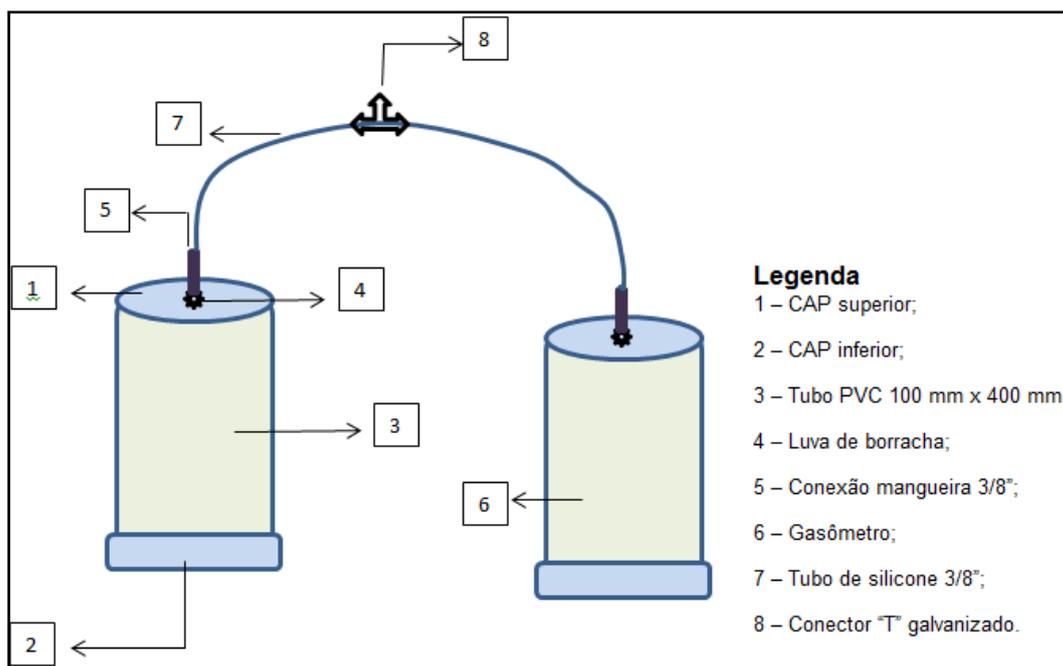


Figura 20. Ilustração reator e gasômetro. Fonte: Autor.

Para construção dos gasômetros, foram utilizados tubos de PVC, com medidas de 100 mm de diâmetro e 400 mm de comprimento. Para armazenamento do biogás advindo dos reatores, esses tubos de 100 mm foram encaixados sob tubos de 150 mm de diâmetro e 400 mm de

comprimento, tendo como forma de vedação um selo d'água e hipoclorito de sódio (água sanitária), para evitar proliferação do mosquito *Aedes aegypti*, pelo fato de que a água está parada.

Foram utilizados tubos de silicone de 3/8" para conectar os reatores aos seus respectivos gasômetros, após a medição do biogás, este gás era incinerado por meio de uma conexão "T" galvanizada instalada no tubo de silicone entre o reator e o gasômetro. A conexão em forma de "T" é para incinerar o biogás presente no gasômetro e no interior do reator e é galvanizada para não sofrer oxidação pela ação do Sulfeto de Hidrogênio, presente no biogás.

3.1.6 Controle de Temperatura e verificação de Pressão

Para que o resultado da produção de biogás não sofresse alteração em decorrência das condições ambientes, os reatores foram acondicionados em banho maria, dentro de uma caixa d'água de 500 litros. Esta, possui sistema de controle de temperatura, por meio de um sensor e controlador de temperatura, da marca INOVA[®], modelo INV – 1713, e duas resistências para água de 1000 W cada uma, mantendo uma temperatura constante de 35°C ($\pm 1^\circ\text{C}$) segundo metodologia citada por Cremonez (2015). Pelo fato das resistências serem pontuais, foi utilizado duas bombas de aquário de 3 m³.h⁻¹ para homogeneização da água, a caixa d'água com os reatores pode ser observada na Figura 21.



Figura 21. Controlador de temperatura: Fonte: Autor.

A pressão foi medida por meio de um manômetro em forma de 'U', conforme a Figura 22, utilizado para pequenas pressões.

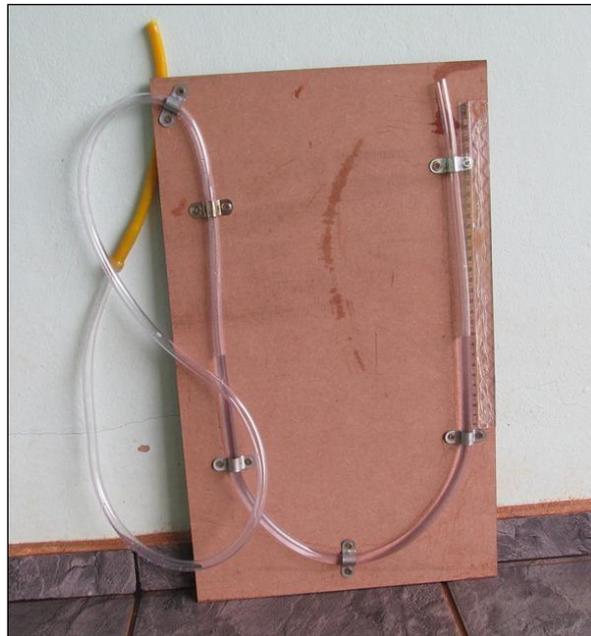


Figura 22. Manômetro em forma de 'U'. Fonte: Autor.

A medição é realizada em duas etapas, sendo elas:

1→Conecta-se uma das pontas do manômetro na saída de gás do gasômetro, mesma saída utilizada para incineração;

2→Em seguida, utilizando a régua fixada ao lado do manômetro, analisa-se o deslocamento da coluna de água presente no interior do manômetro. A pressão do gás é obtido pela Equação 1.

$$\Delta p = p_2 - p_1 \qquad \text{Equação 1}$$

Sendo que,

Δp : Diferença de pressão (mm de H₂O);

P_2 : Pressão na saída do manômetro (mm de H₂O);

P_1 : Pressão advinda do biodigestor (mm de H₂O).

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Método para Medição do Biogás

A produção de biogás foi definida analisando – se o deslocamento vertical dos gasômetros, multiplicando pela área da seção transversal dos gasômetros, ou seja, 0,0079 m². Logo após cada leitura, o biogás produzido foi incinerado, por meio da válvula de descarga (conexão “T”). O gasômetro pode ser observado na Figura 23.

As medições foram conferidas diariamente, seguindo um procedimento padrão para todos os reatores, conforme metodologia empregada por COSTA (2005); ALMEIDA (2012); CREMONEZ (2015).



Figura 23. Gasômetros utilizados. Fonte: Autor.

Conforme descrito por Caetano (1985) e Aquino et al. (2007), para chegar ao valor real de biogás produzido, deve ser realizado a correção para 1 atm, Condições Normais de Temperatura e Pressão (CNTP), conforme descrita em Equação 2.

$$V_0 P_0 / T_0 = V_1 P_1 / T_1$$

Equação 2

Sendo que:

V_o = volume de biogás corrigido, m^3 ;

P_o = pressão corrigida do biogás, 10322,72 mm de H_2O ;

T_o = temperatura corrigida do biogás, 293,15 °K;

V_1 = volume do gás no gasômetro;

P_1 = pressão do biogás no instante da leitura, mm de H_2O ;

T_1 = temperatura do biogás, em °K, no instante da leitura.

3.2.2 Caracterização dos substratos

A caracterização dos substratos foi realizada com o material utilizado no experimento, bem como suas combinações de entrada e saída de cada biodigestor, conforme visualizada na Tabela 07. Para verificar o efeito do tratamento utilizou-se a taxa de remoção de Sólidos Totais.

Tabela 07. Análise de Sólidos Totais

N*	Amostra
Ordem	
1	Água Residuária de Suinocultura (80%) + Sil. Milho (10%) + Sorgo Sac. (10%)
2	Água Residuária de Suinocultura (90%) + Braquiária (10%)
3	Água Residuária de Suinocultura (85%) + Sil. Milho (5%) + Sorgo Sac. (5%) + Braquiária (5%)
4	Água Residuária de Suinocultura (80%) + Sorgo Sac. (10%) + Braquiária (10%)
5	Água Residuária de Suinocultura (80%) + Sil. Milho (10%) + Braquiária (10%)
6	Água Residuária de Suinocultura (90%) + Sorgo Sac. (10%)
7	A Água Residuária de Suinocultura RS (90%) + Sil. Milho (10%)
8	Água Residuária de Suinocultura (70%) + Sil. Milho (10%) + Sorgo Sac. (10%) + Braquiária (10%)
9	Água Residuária de Suinocultura (100%)
10	Sorgo Sacarino (100%)
11	Braquiária (100%)
12	Silagem de Milho (100%)

Para análise de Sólidos Totais, foi utilizada a metodologia descrita em APHA (2012), no entanto, após a realização do procedimento operacional padrão, para as amostras antes e após o tratamento, observou-se que houve discrepância dos resultados. Sendo assim, com base nas análises das amostras separadas, foi utilizada uma Equação matemática, para calcular os

valores anteriores ao tratamento. A Equação matemática pode ser visualizada na Equação 3.

$$QST = ((ARS * ST) + (Braq.* ST) + (Sil.Mil.* ST) + (S.* ST))$$

Equação 3

Onde,

ARS: Porcentagem de água residuária de suinocultura na amostra;

ST: Quantidade de sólidos totais na amostra;

Braq.: Porcentagem de braquiária na amostra;

Sil. Mil.: Quantidade de milho na amostra;

S: Quantidade de sorgo sacarino na amostra.

3.2.3 Análise de Combustão Calorimétrica

Para realizar a análise do PCS, foi adaptado a metodologia utilizada por ANTONELLI (2015), adotando procedimento operacional padrão seguinte: Foram separadas parcelas entre 0,3 e 0,5 gramas das amostras em um cadinho de combustão e colocado na bomba calorimétrica (Figura 24, (a)), na mesma amostra foi inserido um fio de ignição, identificado como fio de queima, sem seguida foi colocada em uma estação de carga (b), para pressurização de aproximadamente 3000 kPa ou 29,6 atm, após a pressurização a mesma foi inserida no calorímetro E2K, (c).



a)



b)



c)

Figura 24. a) Bomba de Combustão; b) Estação de Carga; c) Calorímetro

3.2.4 Planejamento Fatorial

Os substratos foram combinados com a ARS em parcelas de 5 e 10% do volume útil do reator, e combinados entre si, para que tenha-se uma análise de sua interação. Por se tratar de volume e os substratos apresentarem diferentes densidades, esses foram submetidos ao método de dessimetria, onde obtiveram os seguintes resultados:

- Braquiária *Ruziziensis* – 200 ml = 92 gramas;
- Sorgo Sacarino – 200 ml = 120 gramas;
- Silagem de milho – 200 ml = 90 gramas;
- ARS – 200 ml = 220 gramas.

Foi utilizado Planejamento Fatorial 2^3 , em duplicata e 3 pontos centrais (PC). A combinação pode ser visualizada na Tabela 8.

Tabela 8. Distribuição Planejamento Fatorial 2^3

Combinação	Substrato	Bio 1	Bio 2	Bio 3	Bio 4	Bio 5	Bio 6	Bio 7	Bio 8	PC
A	Milho	0%	10%	0%	0%	10%	10%	0%	10%	5%
B	Sorgo	0%	0%	10%	0%	10%	0%	10%	10%	5%
C	Braquiária	0%	0%	0%	10%	0%	10%	10%	10%	5%
X	ARS	100%	90%	90%	90%	80%	80%	80%	70%	85%
TOTAL		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Para alimentação dos biodigestores, foram realizadas combinações, podendo ser observado na Tabela 9.

Tabela 9. Combinações dos substratos nos biodigestores

Biodigestor	Substratos
1	ARS 2L
2	ARS 1.8L + 200mL Sil. de Milho
3	ARS 1.8L + 200mL Sorgo Sac.
4	ARS 1.8L + 200mL Braquiária
5	ARS 1.6L + 200 mL Sil. de Milho + 200mL Sorgo Sac.
6	ARS 1.6 + 200mL Sil. Milho + 200ml Braquiária
7	ARS 1.6 + 200mL Sorgo Sac. + 200mL Braquiária
8	ARS 1.4L + 200mL Sil. Milho + 200mL Sorgo Sac. + 200mL Braquiária
9	ARS 2L
10	ARS 1.8L + 200mL Sil. Milho
11	ARS 1.8L + 200mL Sorgo Sac.
12	ARS 1.8L + 200mL Braquiária
13	ARS 1.6L + 200mL Sil. Milho + 200mL Sorgo Sac.
14	ARS 1.6 + 200mL Sil. Milho + 200mL Braquiária
15	ARS 1.6 + 200mL Sorgo Sac. + 200mL Braquiária
16	ARS 1.4L + 200mL Sil. Milho + 200mL Sorgo Sac. + 200mL Braquiária
17	ARS 1.7 + 100ml Sil. Milho + 100ml Sorgo Sac.+ 100ml Braquiária
18	ARS 1.7 + 100ml Sil. Milho + 100ml Sorgo Sac.+ 100ml Braquiária
19	ARS 1.7 + 100ml Sil. Milho + 100ml Sorgo Sac.+ 100ml Braquiária

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DOS SÓLIDOS TOTAIS

De acordo com a caracterização dos substratos, houve diferença nos resultados de ST antes do tratamento, no entanto, por meio da Equação 3, os valores foram reajustados na Tabela 10, a variação dos valores ocorre devido o material utilizado ser composto de diferentes granulometrias, fazendo com que a homogeneização se torne incompleta. Os resultados da análise de Sólidos Totais podem ser visualizados na Tabela 10.

Tabela 10.: Remoção de Sólidos Totais (ST)

N* Ordem	Amostra	Sólidos Totais (%)		Remoção (%)
		Antes do tratamento	Após o tratamento	
1	ARS (80%) + Sil. Milho (10%) + Sorgo Sac. (10%)	12,03	2,20	81,7
2	ARS (100%)	2,66	1,90	28,6
3	ARS (85%) + Sil. Milho (5%) + Sorgo Sac. (5%) + Braquiária (5%)	9,27	1,93	79,2
4	ARS (80%) + Sorgo Sac. (10%) + Braquiária (10%)	11,22	6,96	38
5	ARS (80%) + Sil. Milho (10%) + Braquiária (10%)	11,18	1,30	88,4
6	ARS (90%) + Sorgo Sac. (10%)	7,36	3,95	46,3
7	ARS (90%) + Sil. Milho (10%)	7,32	1,81	75,3
8	ARS (70%) + Sil. Milho (10%) + Sorgo Sac. (10%) + Braquiária (10%)	15,88	3,63	77,2
9	ARS (90%) + Braquiária (10%)	6,51	3,31	49,1
10	Sorgo Sacarino (100%)	32,84	-	-
11	Braquiária (100%)	54,48	-	-
12	Silagem de Milho (100%)	45,20	-	-

As análises de Sorgo sacarino, braquiária e silagem de milho após o tratamento e remoção de sólidos totais, não puderam ser realizadas. Pelo fato de que, após o tratamento elas já estavam combinadas á ARS.

Nas sete semanas decorrentes, a média de remoção de ST das amostras foi de 62,64%, sendo que, a amostra contendo ARS (80%) + Sil. Milho (10%) + Braquiária (10%) teve sua remoção de ST em 88,4%, sendo a maior entre todos os tratamentos, e o tratamento com ARS 100% teve a menor taxa de remoção, em torno de 28%, esse valor se dá pelo fato de que a amostra de ARS foi retirada do biodigestor, após um TRH de 30 dias, ou seja, grande parte dos ST já haviam sido digeridos.

Baseando-se no valor médio, 62,64%, cinco tratamentos ficaram com as taxas de remoção acima do valor médio, e quatro valores ficaram a baixo do valor médio. Essa diferença é entendida pela alta concentração de sólidos totais nas amostras, pois, segundo Oregon (2002), a porcentagem de sólidos totais indicada para reatores de mistura completa ou bancada, é de 2 a 10%, pois, dentro dessa faixa de valor facilita à degradação do resíduo e evita a formação de um corpo de fundo que dificulta a difusão do biogás. O resultado da remoção pode ser visualizado na Figura 25.

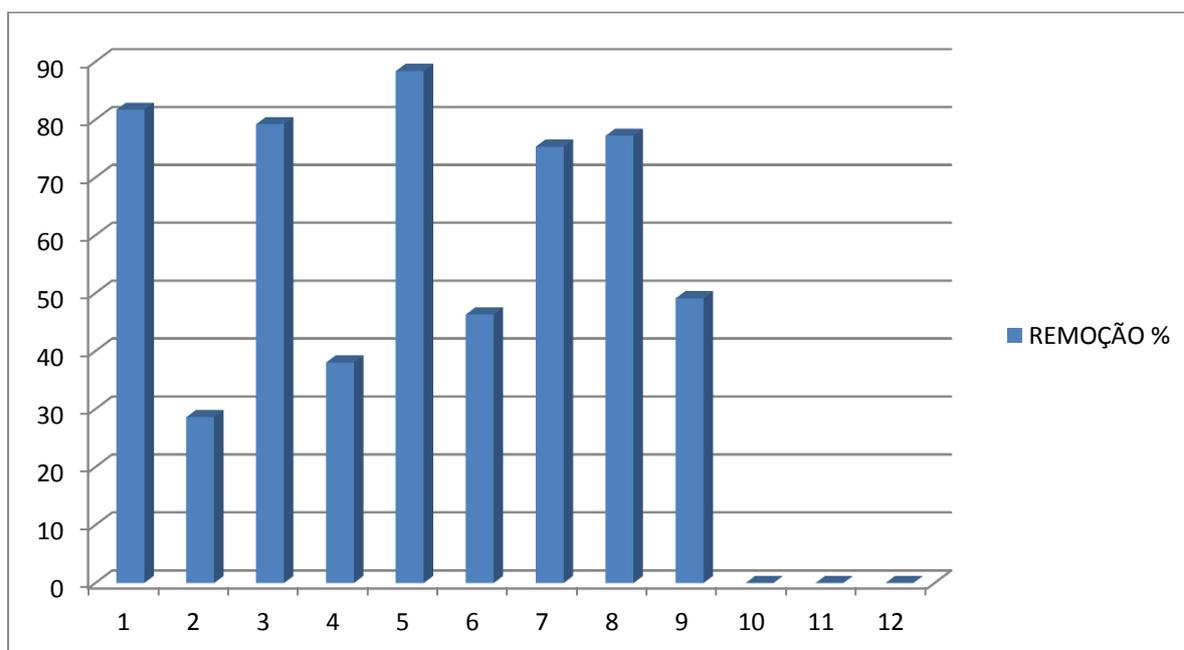


Figura 25. Remoção de Sólidos Totais

Observa-se por meio da Tabela 11, que o valor médio de remoção de ST, está de acordo com valores encontrados por Cremonez (2015); Astals et al. (2013) E Siqueira (2012), operando com reatores de mesmo efluente de suinocultura, semelhança de matéria.

Tabela 11. Eficiência de Remoção de ST, em trabalhos utilizando ARS como substrato.

AUTOR (ano)	RESÍDUO UTILIZADO	REMOÇÃO ST (%)
Cremonez (2015)	ARS	74,50
Astals et al. (2013)	Suíno/Glicerol	48,30
Siqueira (2012)	ARS/Glicerol	59,13

4.2 COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS

A análise do biogás produzido foi realizada no final do experimento, obtendo os seguintes valores (Tabela 12).

Tabela 12. Porcentagem de metano do biogás.

N* ORDEM	AMOSTRA	CH ₄ (%)
01	ARS 2L	66,30
02	ARS 1.8L + 200mL Sil. de Milho	65,51
03	ARS 1.8L + 200mL Sorgo Sac.	63,46
04	ARS 1.8L + 200mL Braquiária	68,03
05	ARS 1.6L + 200 mL Sil. de Milho + 200mL Sorgo Sac.	65,71
06	ARS 1.6 + 200mL Sil. Milho + 200ml Braquiária	61,07
07	ARS 1.6 + 200mL Sorgo Sac. + 200mL Braquiária	52,43
08	ARS 1.4L + 200mL Sil. Milho + 200mL Sorgo Sac. + 200mL Braquiária	48,30
09	ARS 1.7 + 100ml Sil. Milho + 100ml Sorgo Sac.+ 100ml Braquiária	48,0

A composição média de Metano no biogás foi de aproximadamente 60%, tendo como valor superior de 68,03% na combinação ARS 1.8L + 200mL Braquiária. E o menor valor em 48%, na combinação ARS 1.7 + 100ml Sil.

Milho + 100ml Sorgo Sac.+ 100ml Braquiária. As porcentagens podem ser mais bem visualizadas na Figura 26.

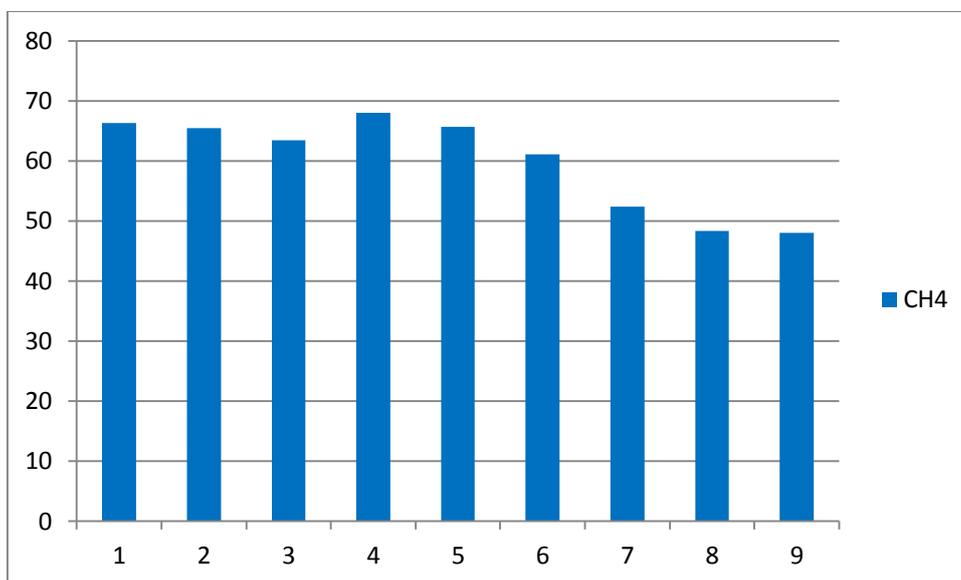


Figura 26. Porcentagem de Gás Metano no Biogás

Como pode ser observado nos resultados, quanto maior a adição de sólidos totais maior é a dificuldade de homogeneização da matéria, conseqüentemente menor é a produção de metano no biogás. Para Souza et al. (2005), a homogeneização do substrato no biodigestor é um fator de muita importância, pois, faz com que haja um contato permanente das bactérias com o substrato.

Tendo conhecida a porcentagem de CH_4 no biogás, podem ser estimados os valores de gás carbônico e sulfeto de hidrogênio, de acordo com Kunz (2008), o biogás contendo 50 a 70% de CH_4 , pode conter de 20 a 40% de CO_2 e 04 a 06% H_2S . No entanto, estes valores não podem ser comprovados.

A Tabela 13 faz um comparativo com a porcentagem de CH_4 no biogás do presente trabalho com outros autores.

Tabela 13. Porcentagem de Metano no Biogás – comparativo com outros autores.

AUTOR (ANO)	RESÍDUO UTILIZADO	CH ₄
Kunz (2008)	Dejeto suíno	50 a 70%
Martins e Assis (2007)	Dejeto suíno	50 a 80%
Axaopoulus e Panagakis (2006)	Dejeto suíno	50 a 80%
Seixas (1980)	Dejeto suíno	60 ou 65%

O biogás está sendo empregado em diversas modalidades no setor energético, podendo citar a geração de energia elétrica como principal finalidade, seguindo da queima em caldeiras, uso doméstico e ultimamente como combustível veicular, sendo purificado em estações de filtragem, transformando-o em Biometano, com teor de CH₄ em torno de 95 a 99%.

O biogás produzido com as combinações utilizadas no presente experimento, se tomado às devidas precauções de purificação, pode ser utilizado em todas as modalidades, no entanto, deve ter o cuidado para que o substrato utilizado nas combinações sejam apenas resíduos, e que a produção de biogás com substratos não interfira na cadeia alimentícia.

4.3 ANÁLISE DE COMBUSTÃO CALORIMÉTRICA

A análise de combustão calorimétrica foi necessária para saber se o material, após digerido, teria utilidade energética para outros fins.

A braquiária, o Sorgo Sacarino e a Silagem de Milho não puderam ser analisados após o tratamento, pois, os mesmos já estavam combinados à ARS.

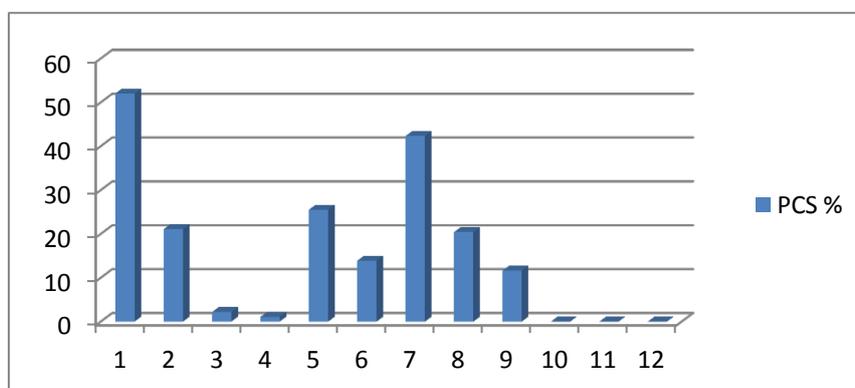
O poder calorífico pode ser observado na Tabela 14.

Tabela 14. Poder Calorífico Superior

N* Ordem	Amostra	Poder Calorífico Superior (MJ.Kg ⁻¹)		Redução PCS (%)
		Antes do	Após o	
		Tratamento	Tratamento	
1	ARS (80%) + Sil. Milho (10%) + Sorgo Sac. (10%)	13,726	6,499	52,0
2	ARS (100%)	9,915	7,824	21,09
3	ARS (85%) + Sil. Milho (5%) + Sorgo Sac. (5%) + Braquiária (5%)	10,819	10,581	2,2
4	ARS (80%) + Sorgo Sac. (10%) + Braquiária (10%)	13,888	13,738	1,08
5	ARS (80%) + Sil. Milho (10%) + Braquiária (10%)	14,869	11,075	25,52
6	ARS (90%) + Sorgo Sac. (10%)	10,891	9,377	13,90
7	ARS (90%) + Sil. Milho (10%)	15,017	8,659	42,34
8	ARS (70%) + Sil. Milho (10%) + Sorgo Sac. (10%) + Braquiária (10%)	14,931	11,881	20,43
9	ARS (90%) + Braquiária (10%)	9,157	8,093	11,62
10	Sorgo Sacarino (100%)	13,998	-	-
11	Braquiária (100%)	16,598	-	-
12	Silagem de Milho (100%)	15,629	-	-

O tratamento que houve maior consumo de energia foi a ARS (80%) + Sil. Milho (10%) + Sorgo Sac. (10%), obtendo 52% de redução do seu potencial energético. A menor perda de energia foi no tratamento contendo ARS (80%) + Sorgo Sac. (10%) + Braquiária (10%), obtendo redução de 1,08% do seu poder energético.

A média de consumo de energia é de 21,15%, tendo 4 tratamentos com valores a cima da média e cinco valores a baixo da média. Os resultados podem ser melhor visualizados na Figura 27.

**Figura 27. Poder Calorífico Superior (PCS)**

O período selecionado para análise de produção foi de sete semanas, pois, a produção de biogás estabilizou, no entanto, por meio da análise de poder calorífico restante nas amostras, pode ser observado que existe um grande potencial energético, que pode ser consumido em diversas formas. A Poder Calorífico Superior contido nas amostras após o tratamento foi mensurado e listado, podendo ser observado na Tabela 15.

Tabela 15. PCS nas amostras após o tratamento

N* Ordem	Amostra	Poder Calorífico Superior (MJ.Kg ⁻¹)		PCS Consumido (MJ.Kg ⁻¹)
		Antes do Trat.	Após o Trat.	
1	ARS (80%) + Sil. Milho (10%) + Sorgo Sac. (10%)	13,726	6,499	7.227
2	ARS (100%)	9,915	7,824	2.090
3	ARS (85%) + Sil. Milho (5%) + Sorgo Sac. (5%) + Braquiária (5%)	10,819	10,581	0.238
4	ARS (80%) + Sorgo Sac. (10%) + Braquiária (10%)	13,888	13,738	0.150
5	ARS (80%) + Sil. Milho (10%) + Braquiária (10%)	14,869	11,075	3.800
6	ARS (90%) + Sorgo Sac. (10%)	10,891	9,377	1.510
7	ARS (90%) + Sil. Milho (10%)	15,017	8,659	6.350
8	ARS (70%) + Sil. Milho (10%) + Sorgo Sac. (10%) + Braquiária (10%)	14,931	11,881	3.050
9	ARS (90%) + Braquiária (10%)	9,157	8,093	1.064
10	Sorgo Sacarino (100%)	13,998	-	-
11	Braquiária (100%)	16,598	-	-
12	Silagem de Milho (100%)	15,629	-	-

Segundo Quirino et al. (2005), cada espécie de madeira possui um PCS distinto, em uma média geral, o valor do PCS da madeira gira em torno de 4,3 Mcal/kg, que corresponde á 18 MJ/Kg⁻¹ do PCS.

A média do PCS após o tratamento é de 9,74 MJ/Kg⁻¹, representando 23 Mcal/Kg ou aproximadamente 50% do PCS da madeira, tornando viável a sua utilização em forma de briquetes.

Sendo assim, o resíduo após o tratamento pode ser utilizado para energia térmica, podendo ser briquetado para utilização em caldeiras. Fazendo com que o resíduo tenha um valor agregado, podendo ter uma utilização energética mesmo após o tratamento.

Outra utilização para o resíduo após o tratamento é a utilização em gaseificadores, para produção de gás de síntese, pois, o mesmo tem PCS próximo ao indicado para utilização em gaseificadores, segundo Haryanto et al. (2009), o valor médio de maior eficiência para produção de gás de síntese, é de 4 a 6 MJ.m⁻³.

4.4 POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Seguindo as combinações da Tabela 9, criou-se uma bateria com 20 experimentos, que teve suas análises de produção de biogás iniciada no dia 08 de abril de 2015, onde permaneceu em análise até o dia 26 de maio de 2015, totalizando sete semanas. Podendo ser observado sua produção de biogás na Tabela 16.

Tabela 16. Produção de Biogás nas 07 semanas decorridas

PERÍODO	BIODIGESTORES (deslocamento vertical em m)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1* Semana 08/4 à 14/04	0,33	1,52	1,43	1,40	0,52	0,12	0,38	0,69	0,43	1,42
2* Semana 15/04 à 21/04	0,26	1,64	1,41	1,78	0,07	1,37	0,05	0,32	0,39	0,55
3* Semana 22/04 à 28/04	0,23	1,25	0,34	0,92	0,02	1,51	0,12	0,22	0,26	0,27
4* Semana 29/04 à 05/05	0,29	0,67	0,37	0,87	0,12	1,24	0,16	0,14	0,22	0,15
5* Semana 06/05 à 12/05	0,31	0,47	0,39	0,31	0,19	0,19	0,24	0,12	0,32	0,06
6* Semana 13/05 à 19/05	0,34	0,09	0,42	0,08	0,31	0,29	0,22	0,16	0,41	0,09
7* Semana 20/05 à 26/05	0,28	0,18	0,40	0,07	0,16	0,31	0,16	0,09	0,26	0,02
Total deslocamento da régua m	2,04	5,82	4,76	5,43	1,39	5,03	1,33	1,74	2,29	2,56
Total de Produção de Biogás m³	0,0161	0,0459	0,0376	0,0428	0,0109	0,0372	0,0092	0,0137	0,0180	0,0202
Total de Produção de Biogás Litros	16,116	45,978	37,604	42,897	10,981	39,737	10,507	13,746	18,091	20,224

Continuação Tabela 16.

Tabela 16. Produção de Biogás nas 07 semanas decorridas

PERÍODO	BIODIGESTORES (deslocamento vertical em m)									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1* Semana 08/4 à 14/04	1,52	1,13	0,97	1,38	1,12	0,14	0,84	0,28	0,56	1,63
2* Semana 15/04 à 21/04	0,96	0,94	0,28	1,40	0,55	0,04	1,02	0,34	0,60	1,78
3* Semana 22/04 à 28/04	0,60	0,40	0,50	1,10	0,41	0,03	1,08	0,38	0,65	1,29
4* Semana 29/04 à 05/05	0,28	0,37	0,17	1,20	0,26	0,09	1,02	0,41	0,63	0,91
5* Semana 06/05 à 12/05	0,04	0,44	0,60	0,69	0,60	0,05	0,48	0,39	0,58	0,62
6* Semana 13/05 à 19/05	0,07	0,38	0,40	0,22	0,10	0,04	0,10	0,26	0,59	0,24
7* Semana 20/05 à 26/05	0,10	0,33	0,42	0,21	0,08	0,08	0,12	0,34	0,48	0,20
Total deslocamento da régua m	3,57	3,99	3,34	6,2	3,12	0,47	4,66	2,4	4,09	6,67
Total Acumulado de Biogás produzido m³	0,0282	0,0315	0,0263	0,048	0,0246	0,0037	0,0368	0,0189	0,0323	0,0526
Total Acumulado de Biogás em Litros	28,203	31,521	26,386	48,98	24,648	3,713	36,814	18,96	32,311	52,693

Como pode ser observado na Tabela 16, a produção de Biogás foi maior no Biodigestor 20, com a combinação de ARS 1.7 ml + 100ml Sil. Milho + 100ml Sorgo Sac.+ 100ml Braquiária, chegando a produzir aproximadamente 52 litros ou 0,0526 m³ de biogás em sete semanas.

A menor produção foi no Biodigestor 16, com a combinação de ARS 1.4L + 200mL Sil. Milho + 200mL Sorgo Sac. + 200mL Braquiária, produzindo 3,7 litros de biogás.

A produção de biogás foi satisfatória, pois, segundo Oliveira (1993) citado por Souza et al. (2004), 1 m³ de dejetos suíno produz aproximadamente 50 litros de biogás, ou seja, cerca de 0,051 m³ de biogás por kg de dejetos. Na mesma linha de pesquisa, Lucas Júnior. (1998), encontrou o valor de 70 litros ou 0,07 m³ de biogás para cada quilo de dejetos.

Quando realizado a biodigestão com coprodutos combinados ao dejetos suíno, a tendência é potencializar a produção de biogás, segundo Almeida (2012), 1 m³ de dejetos suíno combinado com silagem de milho tem potencial para produzir aproximadamente 0,96 m³ de biogás. A produção de biogás no experimento pode ser melhor visualizada na Figura 28.

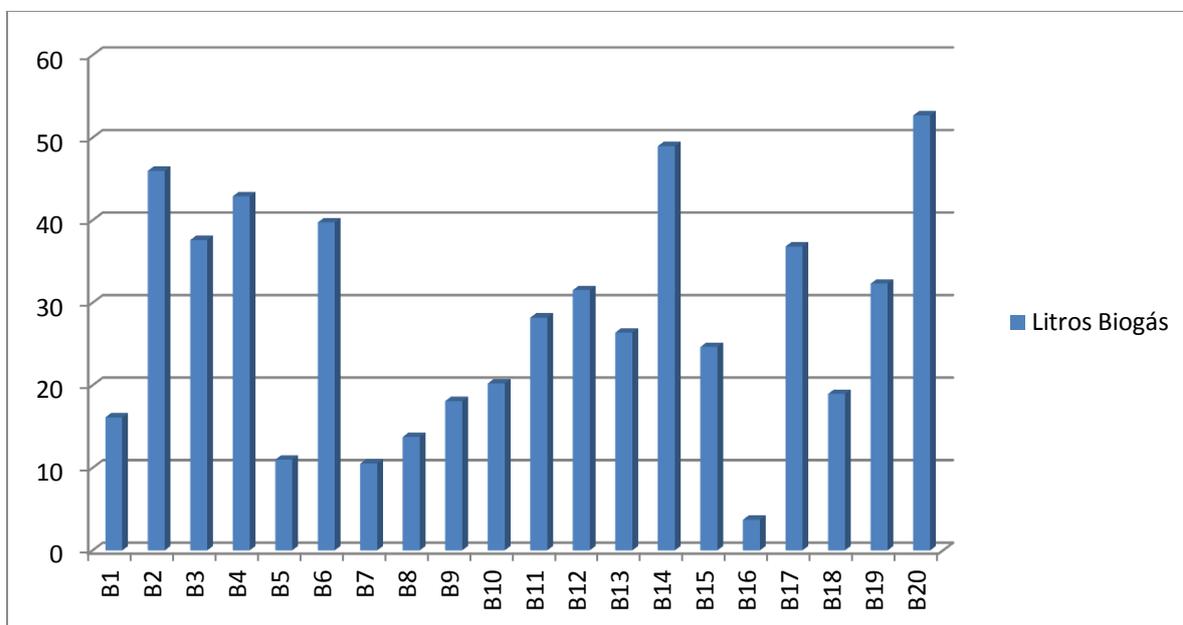


Figura 28. Produção de Biogás

Se comparado com o biodigestor somente de ARS, todas as combinações obtiveram resultado superior na produção de biogás, tendo seus resultados expostos na Tabela 17.

Tabela 17. Comparação de produção de biogás

TIPO DE RESÍDUO	PRODUÇÃO DE BIOGÁS (L)
ARS 100%	17,1
ARS 90% + Sil. Milho 10%	33,1
ARS 90% + Sorgo Sacarino 10%	32,9
ARS 90% + Braquiária 10%	37,2

Os resultados podem ser visualizados na Figura 29

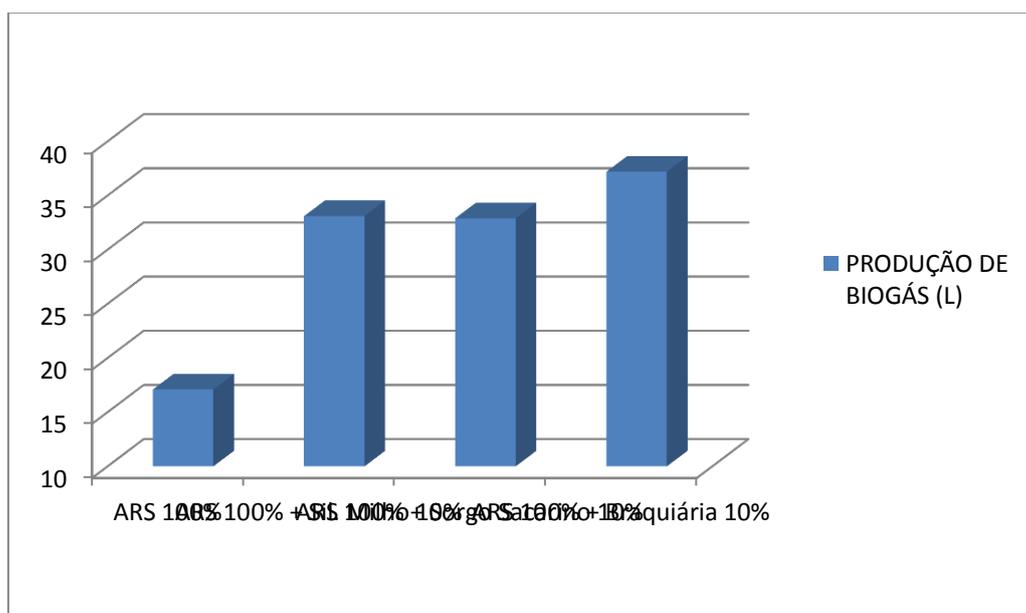


Figura 29. Comparação de produção de biogás

Na Figura 31 percebe-se que a braquiária obteve maior produção de biogás, se comparado com o milho e o sorgo, pois, segundo Pereira et al., (2005) a braquiária, ocupa cerca de 80% de toda área de pasto cultivadas no País, pois, tem uma maior capacidade de armazenamento de água e proteção do solo.

A outra opção de plantio da braquiária é em consórcio com o milho, no entanto, esse consórcio é viável, desde que, as duas espécies sejam

implantadas simultaneamente, pois, desta maneira, o cultivo e crescimento, permitiria a produção do milho, sem comprometer o desenvolvimento da Braquiária *Ruziziensis* (RICHART, et al., 2010).

Em sua pesquisa, Pacetti et al. (2015), utilizaram indicadores para analisar a produção de biogás utilizando culturas de milho, trigo e sorgo sacarino, sendo que, a cultura com um maior potencial para produção de biogás foi a cultura de sorgo, seguida pela de milho, e com resultado não satisfatório a cultura de trigo. Isso devido ao clima não favorável, por sua exigência hídrica. O sorgo sacarino tem seu potencial energético elevado porque sua estrutura tem maior capacidade de armazenamento de água.

O aumento de produção é proporcional ao aumento de sólidos totais inseridos nos biodigestores, no entanto, existe um limite de sólidos totais, para que as bactérias possam consumir essa matéria orgânica com maior facilidade, ultrapassando esse limite, a produção de biogás tende a diminuir, como ocorreu em alguns casos onde houve excesso de sólidos totais. A porcentagem de sólidos totais indicada para reatores de mistura completa ou bancada, é de 2 a 10%, pois, essa faixa de valor facilita a degradação do resíduo e evita o entupimento nos tubos de entrada e saída dos reatores (OREGON, 2002).

Quando são realizadas análises das combinações com dois tipos de substratos e ARS, os valores sofrem uma pequena mudança na produção e analisando os tratamentos com suas variáveis, pode ser observado que, a produção de biogás, bem como, sua composição, varia de acordo com a quantidade de sólidos totais, podendo ser observado na Tabela 18.

Tabela 18. Produção de Biogás de acordo com a porcentagem de ST

AMOSTRA	ST %	PRODUÇÃO DE BIOGÁS (L)	CH ₄ (%)
ARS	2,66	216,5	66,3
ARS + 1 variável	7,06	435,5	65,6
ARS + 2 variáveis	11,48	340,16	59,7
ARS (70%) + 3 variáveis	15,88	110,5	48,3
ARS (85%) + 3 variáveis	9,27	514	48,0

As amostras com teor de ST de 2,66%, 7,06% e 9,27% obtiveram uma produção de biogás superior, com produção de 216,5 L, 435,5 L e 514 L de Biogás, respectivamente.

As amostras com teor de ST de 11,48% e 15,88% obtiveram uma produção de 340,16 L e 110,5 L de biogás.

Analisando a porcentagem de CH₄ no biogás, os resultados variam de acordo com a quantidade de variáveis no tratamento, tendo como maior fração de metano no biogás, o tratamento com apenas ARS, com o valor de 66,3%.

O tratamento com ARS + 1 variável, obteve a proporção de 65,6% de metano. As amostras com mais de 2 variáveis, apresentaram proporções menores que 60% de metano.

A produção acumulada de biogás tem uma variação devido às diferenças morfológicas dos resíduos, pois, mesmo sendo homogeneizada antes do experimento, pode conter variações de matéria nas amostras, tais como: maior quantidade de grãos em uma, maior quantidade de talos em outra, sendo assim, a degradação e fermentação das amostras podem ser diferenciadas, pois de acordo com Prochnow et al. (2009), fatores quanto o volume dos pedaços de substrato, a utilização de aditivos e principalmente o tempo em que a biomassa se encontra sob estas condições, deveram influenciar nas propriedades dos substratos e produção de biogás.

Utilizando a quantidade de sólidos totais consumido durante o período de tratamento e a produção de biogás no mesmo período, tem-se a seguinte relação visualizada na Tabela 19.

Tabela 19. Relação da produção de biogás com os sólidos totais consumidos.

Nº Ordem	Amostra	ST consumido (%)	ST consumido (gr)	Produção de Biogás (L)	Produção de biogás por kg de matéria (L.Kg ⁻¹)	Produção de Biogás por kg de ST (L. Kg ST ⁻¹)
1	ARS (80%) + Sil. Milho (10%) + Sorgo Sac. (10%)	9,8	193,06	18,68	9,5	96,75
2	ARS (100%)	0,76	16,72	17,1	7,7	1022,7
3	ARS (85%) + Sil. Milho (5%) + Sorgo Sac. (5%) + Braquiária (5%)	7,34	148,34	40,6	20,1	273,7
4	ARS (80%) + Sorgo Sac. (10%) + Braquiária (10%)	4,26	84	17,57	8,92	209,16
5	ARS (80%) + Sil. Milho (10%) + Braquiária (10%)	9,88	191,87	44,35	22,84	231,15
6	ARS (90%) + Sorgo Sac. (10%)	3,41	71,6	32,9	15,6	459,5
7	ARS (90%) + Sil. Milho (10%)	5,51	114,1	33,1	16	290,1
8	ARS (70%) + Sil. Milho (10%) + Sorgo Sac. (10%) + Braquiária (10%)	12,25	225,65	8,72	4,7	38,65
9	ARS (90%) + Braquiária (10%)	3,2	66,3	37,2	17,95	561,09

A média de produção de biogás é de $13,7 \text{ L.kg}^{-1}$, quando a produção é analisada em L.Kg^{-1} , verifica-se que a combinação de ARS (80%) + Sil. Milho (10%) + Braquiária (10%) teve a maior produção, aproximadamente 22 litros de biogás por quilograma de substrato, e a menor produção foi com a combinação de ARS (70%) + Sil. Milho (10%) + Sorgo Sac. (10%) + Braquiária (10%), aproximadamente 4.7 litros de biogás por quilograma de substrato, reafirmando que o excesso de ST diminui a produção de biogás.

Os resultados de produção de L.Kg^{-1} , podem ser visualizados na Figura 30.

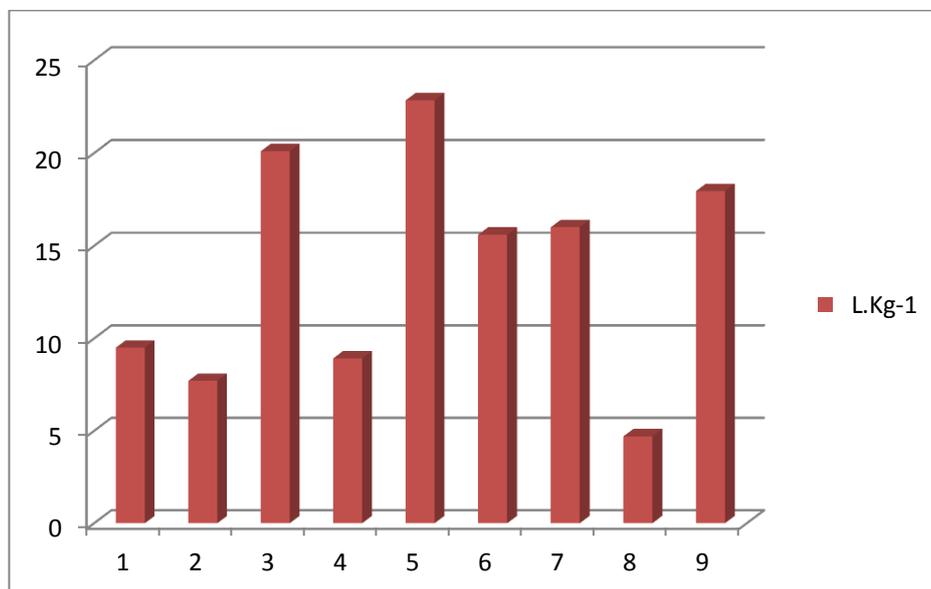


Figura 30. Produção de Biogás L.Kg^{-1}

Quando analisado a produção de biogás por sólidos totais, a média de produção é de $353,6 \text{ L.Kg}^{-1} \text{ ST}$, tendo o resultado de maior produção a ARS 100%, aproximadamente $1 \text{ m}^3 \text{ L.Kg}^{-1} \text{ ST}$, e a menor produção com a combinação 70%) + Sil. Milho (10%) + Sorgo Sac. (10%) + Braquiária (10%), aproximadamente $38 \text{ L.Kg}^{-1} \text{ ST}$. O resultado de $\text{L.Kg}^{-1} \text{ ST}$ pode ser observado na Figura 31.

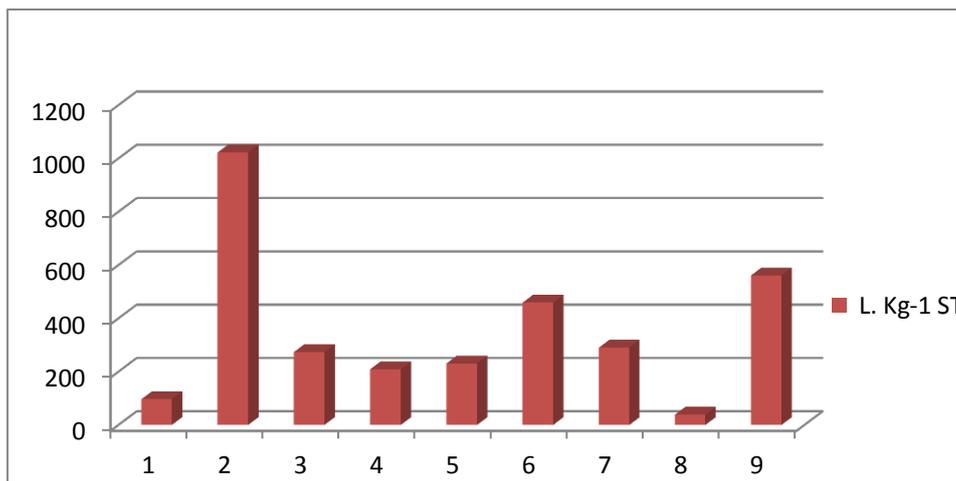


Figura 31. Produção de Biogás L.kg⁻¹ ST

O alto potencial de produção de ARS 100% por L.Kg⁻¹ ST, pode ser admitido por ter sido coletado após o primeiro tratamento no biodigestor, com aproximadamente 30 dias de TRH, ou seja, já estão na fase de produção de biogás.

Dos substratos utilizados na biodigestão, o único que estava em forma de silagem foi o milho, estimasse que se utilizassem todos os substratos em forma de silagem, a produção de biogás aumentaria consideravelmente, pois, de acordo com Vervaeren (2010), a ensilagem o método preferencial para manter o conteúdo energético das culturas, garantindo um bom valor de nutrientes para biodigestão anaeróbia.

Segundo Robertson et al. (2006), para utilização de sorgo ou milho na produção de biogás, podem ser feitos da forma em que a palha fique conservada em forma de silagem, podendo ser utilizada diretamente na produção, e o grão pode ser processado em pequenas dimensões para facilitar a biodigestão.

4.5 ANÁLISE DO PLANEJAMENTO FATORIAL

O Planejamento Fatorial foi utilizado para relacionar a produção de biogás por meio da interação dos substratos, podendo ser analisados a produção de biogás com todas as variações do experimento. Sendo admitido para os substratos as seguintes letras: A: Silagem de Milho; B: Sorgo Sacarino;

C: Braquiária *Ruziziensis*; R: Total litros de biogás acumulado. Podendo ser observado na Tabela 20.

Tabela 20. Planejamento Fatorial 2³

<i>Tratamentos</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>A:B</i>	<i>A:C</i>	<i>B:C</i>	<i>A:B:C</i>	<i>R</i>
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	16,1
2	1	-1	-1	-1	-1	1	1	46
3	-1	1	-1	-1	1	-1	1	37,1
4	1	1	-1	1	-1	-1	-1	26
5	-1	-1	1	1	-1	-1	1	42,9
6	1	-1	1	-1	1	-1	-1	39,7
7	-1	1	1	-1	-1	1	-1	10,5
8	1	1	1	1	1	1	1	13,7
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	18,9
2	1	-1	-1	-1	-1	1	1	46
3	-1	1	-1	-1	1	-1	1	28,1
4	1	1	-1	1	-1	-1	-1	26
5	-1	-1	1	1	-1	-1	1	31,5
6	1	-1	1	-1	1	-1	-1	49
7	-1	1	1	-1	-1	1	-1	24,7
8	1	1	1	1	1	1	1	3,7

Depois de alimentada Tabela com os resultados, observa-se a análise dos tratamentos, tendo os valores de produção de biogás entre cada substrato e com a interação de 2^o e 3^o grandeza. Conforme pode ser observado na Tabela 21.

Tabela 21. Análise do Planejamento Fatorial

<i>Preditor</i>	<i>Estimativa</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>P-valor</i>
Valor Médio Geral	28,74	1,54	6,99798E-08
Sil. Milho	2,521	1,54	0,140515191
Sorgo Sac.	-7,52	1,54	0,00121955
Braquiária	-1,782	1,54	0,280708694
Sil. Milho + Sorgo Sac.	-6,394	1,54	0,003198112
Sil. Milho + Braquiária	-2,957	1,54	0,091121374
Sorgo Sac. + Braquiária	-6,294	1,54	0,003497553
Sil. Milho + Sorgo Sac. + Braq.	2,382	1,54	0,160564429

De acordo com a análise do Planejamento Fatorial, o valor médio de produção de biogás para todos os tratamentos, foi de 28,74 litros de biogás, sendo que, os tratamentos com valores consideráveis foram os tratamentos com apenas braquiária, apenas silagem de milho e as combinações com silagem de milho e braquiária.

O sorgo sacarino foi o substrato com menor produção entre as interações, sendo agente na baixa produção nas interações de 1º, 2º e 3º grandeza.

No entanto, os valores são baseados na produção de 17,5 litros de biogás no tratamento com ARS, onde, não existe intervenção de nenhum dos substratos. Portanto, uma parte dos valores estão a baixo do valor médio, no entanto, estão acima do valor de produção da ARS de 17,5 L.

5. CONCLUSÃO

As pesquisas sobre utilização de resíduos da agropecuária para produção de biogás estão no início, no entanto, muitas são as formas de utilizar esses resíduos.

No presente trabalho pode-se observar o grande potencial de produção de biogás, da silagem de milho, do sorgo sacarino e da braquiária *Ruziziensis*.

A principal barreira para produção de biogás com os resíduos é o controle com os sólidos totais, pois, a produção de biogás é eficiente dentro de uma determinada faixa de Sólidos Totais, podendo ser comprometida a produção se não houver esse controle.

Analisando o tratamento com ARS combinado à apenas um tipo de resíduo, o maior resultado é com a combinação de água residuária de suinocultura + braquiária *Ruziziensis*, com uma quantificação de 37,2 litros de biogás em sete semanas.

Ao ser analisado o potencial de produção de litros de biogás por Kg de substrato, o maior resultado foi à combinação de ARS (80%) + Sil. Milho (10%) + Braquiária (10%), com 22 L.Kg⁻¹.

Ao ser analisado o potencial de produção de biogás de litros por Kg de sólidos totais, o maior resultado foi ARS 100%, com aproximadamente 1m³.kg⁻¹ ST, no entanto, a ARS já estava sob efeito de tratamento no momento da coleta, podendo ser considerado a maior produção de biogás na combinação de ARS (90%) + Braquiária (10%), com aproximadamente 561 L.kg⁻¹ ST.

Como sugestão para estudos futuros na questão de produção de biogás, a utilização de culturas de inverno, pelo fato de ser uma safra de baixa qualidade, chamada de adida, geralmente é utilizada para fazer ração, e também porque não é viável utilizar a cultura de verão, o qual é utilizado para consumo da população pelo fato de ser de ótima qualidade.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLA, A. L.; SILVA FILHO, J.C.; GODOI, A. R.; CARMO, C. A.; EDUARDO, J. L. P. Utilização de subprodutos da indústria de biodiesel na alimentação de ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.260-268, 2008.

ABIPECS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PRODUTORA E EXPORTADORA DE CARNE SUÍNA. **Produção Mundial de Carne Suína, 2012**. Disponível em:

<<http://www.abipecs.org.br/pt/estatisticas/mundial/producao-2.html>>. Acesso em: 10 ago. 2012.

ADEOP – ASSOCIAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO ECONOMICO DO OESTE DO PARANÁ. **Potencial da suinocultura no Paraná**. 2010. Disponível em: <http://www.ideall.com.br/adeop/artigo/536/PROJETO_SANEAMENTO_AMBIENTAL_E_TURISMO_INTEGRADO.html>. Acesso em: 15 jun 2015.

A.G.E. Association of German Engineers. **Anaerobic digestion of organic material e characterisation of substrate, sample drawing, analysis of chemical composition, anaerobic digestion experiments** (in German). Düsseldorf: VDI Gesellschaft Energietechnik; 2006.

ALMEIDA, C. **Produção de biogás com dejetos suínos e silagem de milho**. 2012. 60p. Trabalho Final de Graduação (Engenharia Ambiental), Faculdade Dinâmica de Cataratas. Foz do Iguaçu, PR.

ALMODARES, A., HADI, M.R., Production of bioethanol from sweet sorghum: a review. **Afr. J. Biotechnol.** v.4, p.772–780, 2009.

AMADUCCI S, MONTI A, VENTURI G. Non-structural carbohydrates and fibre components in sweet and fibre sorghum as affected by low and normal input techniques. **Industrial Crops and Products**, v.20, p.111-118, 2004.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22nd ed. Washington, 2012.

AMON, T.; AMON, B.; KRYVORUCHKO, V.; MACHMULLER, A.; HOPFNER-SIXT, K.; BODIROZA, V.; HRBECK, R.; FRIEDEL, J.; POTSCHE, E.; WAGENTRISTL, H.; SHREINER, M.; ZOLLITSCH, W. Methane production through anaerobic digestion of various energy crops grown in sustainable crop rotations. **Bioresource Technology**, v.98, p.3204–3212, 2007.

ANEEL. **Resolução Normativa No 482 de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2012.

ANTONELLI, J. **Utilização de madeira residual de pinus na adsorção de chumbo e posterior gaseificação e geração de energia elétrica**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura). Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel/PR.

ANTONOPOULOU, G., LYBERATOS, G. Effect of pretreatment of sweet sorghum biomass on methane generation. **Waste Biomass Valorization** v.4, 583–591, 2012.

AQUINO, S.F.; CHERNICHARO, C.A.L. FORESTI, E.; DOS SANTOS, M. de L.F.; MONTEGGIA, L.O. Metodologias para determinação da atividade metanogênica específica (AME) em lodos anaeróbios. **Eng. Sanit. Ambient.**, v.12, p.192-201. 2007.

ASTALS, S.; NOLLA-ARDÈVOLB, V.; MATA-ALVAREZA, J. Thermophilic co-digestion of pig manure and crude glycerol: Process performance and digestate stability. **Journal of Biotechnology**, v.166, n.3, p.97–104. 2013.

AXAOPOULUS, P.; PANAGAKIS, P. Energy and economic analysis of biogas heated livestock buildings. **Biomass and Bioenergy**, v. 24, p. 239-248, 2003.

BARRERA, P. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural**. 2. ed. São Paulo: Ícone, 2003.

BEN – BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. **Ministério de Minas e Energia**.

Disponível em:

<https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2010.pdf>. Acesso em 29 jun. 2015.

BLEY JÚNIOR, C. Geração elétrica a partir do biogás com saneamento ambiental: a experiência da Itaipu Binacional. In: I Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos de Animais. Florianópolis, 11 a 13 de Março de 2009. **Anais Eletrônicos do CCE – CENTRO PARA CONSERVAÇÃO E ENERGIA. Guia Técnico de Biogás**. Amadora – Portugal, 2000, 117p.

I Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos de Animais.

Disponível em: <<http://sbera.org.br/sigera2009/downloads/obras/050.pdf>>.

Acesso em 20 nov. 2014.

BLEY JUNIOR, C. Curso de Atualização em Energias do Biogás – EaD. **MÓDULO I – Marco Regulatório para produção de biogás e conversão energética**, 2010. Parque Tecnológico de Itaipu (PTI).

BOYLE, W.C. Energy recovery from sanitary landfills, a review. In Seminar on Microbial Energy Conversion, Goettingen, Alemanha, 1976. Proceedings. Edited by SCHLEGEL, H.G. New York, Academic Press, p.119-138, 1977.

BUSWELL, A. M., MÜLLER, H. F., (1952): Mechanism of Methane Fermentation. **Industrial and Engineering Chemistry**, v.44, p.550-552, 1952.

BRÁS, A. M; MIRANDA, F. HIPÓLITO, L; DIAS, L. S. Biomassa e Produção de Energia. **Instituto Politécnico de Viana do Castelo**, Portugal, 2008.

Disponível em: <<http://portal.ipvc.pt/images/ipvc/esa/pdf/biomassa.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2015.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Mapa de Sistema de Informação geográfica da agricultura brasileira – siga Brasil – produção brasileira de suínos. CONAB/IBGE, 2003. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 11 jun. de 2015.

BRAUN, R.,WEILAND, P.,WELLINGER, A., Biogas from Energy Crop Digestion. In: **IEA Bioenergy Task 37**. 2008. Disponível em <http://www.iea-biogas.net/files/daten-redaktion/download/energycrop_def_Low_Res.pdf> Acesso em Novembro 2014.

CAETANO, I. **Proposição de um sistema modificado para quantificação de biogás**. Botucatu, p.75, 1985. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronomicas – Universidade Estadual Paulista.

CARAPETO, C. **Educação Ambiental**. Lisboa: Universidade Aberta. 1998.

CASTANÓN, N. J. B. **Biogás, originado a partir dos rejeitos rurais**. Trabalho apresentado na disciplina: Biomassa como Fonte de Energia - Conversão e utilização. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2002. 66 p.

CCE – CENTRO PARA CONSERVAÇÃO E ENERGIA. **Guia Técnico de Biogás**. Amadora – Portugal, 2000, 117p.

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1997.

COELHO, S. T.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G.; SILVA, O.C.; ABREU, F. C. Geração de energia elétrica á partir do biogás proveniente do tratamento de

esgoto utilizando um grupo gerador de 18kw. In: **V Congresso Brasileiro de Planejamento Energético**, 2006, Brasília – DF.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Boletim de Monitoramento Agrícola: Culturas de verão – safra 2013/2014 e de inverno – safra 2013/2014**. Brasília, v.2, n.21, 2ª quinzena, nov. 2013. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 15 dez. 2014.

COSTA, M. S. S. M.; **Caracterização dos dejetos de novilhos superprecoces: Reciclagem energética e de nutrientes**. Botucatu, Tese (Doutorado em Agronomia), p.123, 2005. Faculdade de Ciências Agrômicas – Universidade Estadual Paulista.

COSTA, O. A. D.; DIESEL, R.; LOPES, E. J. C.; NUNES, R. C.; HOLDEFER. C.; COLOMBO, S. **Sistema intensivo de suínos criados ao ar livre**. Concórdia: Embrapa, n.14, 2002.

CREMONEZ, P. A. **Digestão anaeróbia de polímero orgânico à base de fécula de mandioca**. Cascavel, p.98, 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

CUORE, R. **Fontes de Energias Renováveis e seus Principais Benefícios para Humanidade**. Seminário Sobre Os Desafios E Oportunidades Para O Mercado De Energia Renováveis, 1., 2008, São Paulo. Brasil: Vento, energia e Investimento. São Paulo. Conselho Global de Energia Eólica.

DALLA COSTA, O.A. **Efeito de manejo pré-abate no bem-estar e na qualidade de carne dos suínos**. 2005. 160f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

DEGANUTTI, R.; PALHACI, M. do C.J.P.; ROSSI, M. **Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada**. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO

RURAL, 4., 2002, Campinas. Anais eletrônicos. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022002000100031&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: Julho 2015.

DIB, F. H. **Produção de biodiesel a partir de óleo residual reciclado e realização de testes comparativos com outros tipos de biodiesel e proporções de mistura em um moto-gerador**. 2010. 114f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira.

DIJKSTRA, F. A integração agricultura-pecuária no plantio direto. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.63, p.1-2, set. 1993.

DREGER, I. **“Usinas de biogás – a mais inteligente tecnologia para converter biomassa em energia”**. Palestra ministrada no auditório da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campûs Erechim, em 09 de novembro de 2010.

EurObserv'ER - **European Barometer 2007 of Renewable Energies**. Systeme`mes Solaires, Paris, p.30, 2007. Disponível em: <<http://www.euroserver.org/>> Acesso em Dezembro 2012.

FARRÉ I, FACI JM. Comparative response of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment. **Agricultural Water Management**. v. 83:p.135-143, 2006.

FERNANDES, D. M. **Eficiência da biodigestão anaeróbia no manejo da biomassa residual na unidade granja Colombari**. 2011. 82p. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental em Municípios), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira.

FEPAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER – RS. **Programas e Projetos**. 2010. Disponível em:

<http://www.fepam.rs.gov.br/programas/gestao_ativos.asp>. Acesso em: 26 jun. 2015.

FILHO, J. A. C. **Biogás: independência energética do Pantanal Mato-grossense**. Circular Técnica nº. 9. Corumbá: EMBRAPA, 1981.

FREDRIKSSON, H.; BAKY, A.; BERNESSON, S.; NORDBERG, A.; NORÉN, O.; HANSSON, P. A. Use of on-farm produced biofuels on organic farms – Evaluation of energy balances and environmental loads for three possible fuels. **Agricultural Systems**, v.89, n.1, p.184-203. 2006.

GENG S, HILLS F.J, JOHNSON S.S, SAH R.N. Potential yields and on-farm ethanol production cost of corn, sweet sorghum, fodderbeet, and sugarbeet. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.162, p.21-29, 1989.

GERIN, P. A.; VLIEGEN, F.; JOSSART, J. M. Energy and CO₂ balance of maize and grass as energy crops for anaerobic digestion. **Bioresource Technology**, v.99, p.2620–2627, 2008.

GOMES, E. W. F; WILLADINO, L.; MARTINS, L. S. S.; SILVA, S. O.; CAMARA, T. R.; MEUNIER, I. M. J. Diplóides (AA) de bananeira submetidos ao estresse salino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.39, p.525-531, jun. 2004.

GONÇALVES JÚNIOR, A. C.; SELZLEIN, C.; NACKE, H. Uso de biomassa seca de aguapé (*Eichornia crassipes*) visando à remoção de metais pesados de soluções contaminadas. **Acta Scientiarum. Technology**. Maringá, v.31, n.1, p.103-108, 2009.

HANEGRAAF, C. M.; BIEWINGA, E. E.; BUL, G. Assessing the ecological and economic sustainability of energy crops. **Biomass and Bioenergy**, v.15, n.4/5, p. 345-355, 1998.

HARYANTO, A.; FERNANDO, S. D.; PORDESIMO, L. O.; ADHIKARI, S. Upgrading of syngas derived from biomass gasification: A thermodynamic analysis. **Biomass and Bioenergy**, v. 33, n. 5, p. 882–889, 2009. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953409000221>.

HENN, A., **Avaliação de dois sistemas de manejo de dejetos em uma pequena propriedade produtora de suínos – condição de partida**. 2005. 157f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

HYTTIÄINEN, T., HEDMAN-PARTANEN, R., HILTUNEN S., **Kasvintuotanto 2.Kirjapaino Oy West point**, Rauma, p.11–61, 1999.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS. PRODUÇÃO PECUÁRIA MUNICIPAL 2011. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_impresao.php?id_noticia=2241>. Acesso em: 10 mar. 2015.

JELINEK, T. Collection, storage and transport of swine wastes. In: TAIGANIDES, E.P. **Animal wastes**. Essex: England Applied Science. p.165-74, 1977.

JUSBRASIL. **Editais e Leilões**. 03/12/2012-DJSP, p.8. Disponível em: <http://www.jusbrasil.com.br/diarios/43809756/djsp-editais-e-leiloes-03-12-2012-pg-8>>. Acesso em: 25 jun. 2015.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. V. **Uso de biodigestores para tratamento de resíduos de animais**. Embrapa Suínos e Aves, 2008.

KUNZ, A. Curso de Atualização em Energias do Biogás – EaD. **MÓDULO II - Linhas de Base para a Produção e Conversão de Energia do Biogás**, 2010. Parque Tecnológico de Itaipu (PTI).

LIRA, J. C. U.; DOMINGUES, E. G.; MARRA, E. G. Análise econômica do potencial energético do biogás em granja de suínos – estudo de caso. In: **VIII conferência Internacional de Aplicações Industriais** – 17 a 20 de Agosto de 08. Anais do IV Congresso Internacional de Sustentabilidade.

LUCAS JÚNIOR., J.; SILVA, F. M. **Aproveitamento energético de resíduos da suinocultura.** In: **ENERGIA, Automação e Instrumentação.** Lavras: UFLA/SBEA, 1998.

LUCAS JÚNIOR, J.; SOUZA, C; LOPES, J.S. **Construção e operação de biodigestores.** Viçosa, MG, CPT, 2006, 158p.

MARQUES, F. S. Curso de Atualização em Energias do Biogás – EaD. módulo III – **Demandas para gestão administrativa de projetos de biogás**, 2010. Parque Tecnológico de Itaipu (PTI).

MARCHAIM, U. **Biogas process for sustainable development.** FAO Agricultural Services Bulletin 95. Food and Agriculture organization of the United Nations. 1992.

MARTINS, D. S.; ASSIS, E. G. Estudo de viabilidade econômica da implantação de um biodigestor em uma Granja de perus. In: **XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 27, 2007, Foz do Iguaçu.** Anais eletrônicos, 2007. Disponível em:

<http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2007_TR590444_9790.pdf>.

Acesso em: 28 jun. 2015.

MARIANE, L. Curso de Atualização em Energias do Biogás – EaD. MÓDULO III – **Demandas para gestão administrativa de projetos de biogás**, 2010. Parque Tecnológico de Itaipu (PTI).

MEKI, M.N., KEMANIAN, A.R., POTTER, S.R., BLUMENTHAL, J.M., WILLIAMS, J.R., GERIK, T.J. Cropping system effects on sorghum grain yield,

soil organic carbon, and global warming potential in central and south Texas. **Agricultural Systems**, v.117, p.19-29, 2013.

MIMURA, A. M. S.; VIEIRA, T. V. A.; MARTELLI, P. B.; GORGULHO, H. F. Aplicação da casca de arroz na adsorção dos íons Cu^{2+} , Al^{3+} , Ni^{2+} e Zn^{2+} . **Química Nova**, v.33, n.6, p.1279-1284, 2010.

MOERS E.M.; VIEIRA A. C.; FERNANDES D.M.; SOUZA S. N. M.; BARICATTI R. A. Caracterização da biomassa residual proveniente de resíduos agrícolas para geração de energia. I COLASSA – Congresso Latino Americano de Suinocultura e Sustentabilidade Ambiental. Foz do Iguaçu, PR. 2011.

MOLAVERDI, M., KARIMI, K., KHANAHMADI, M., GOSHADROU, A., Enhanced sweet sorghum stalk to ethanol by fungus *Mucor indicus* using solid state fermentation followed by simultaneous saccharification and fermentation. **Ind. Crops Prod.** V.49, p.580–585, 2013.

NOGUEIRA, M. F. M.; RENDEIRO, G. **Caracterização Energética da Biomassa Vegetal**. BARRETO, Eduardo José Fagundes (Coord). Combustão e Gaseificação da Biomassa Sólida: Soluções Energéticas para a Amazônia. Brasília: Ministério de Minas e Energia, p.52-63, 2008.

OLIVEIRA, P. A. V. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA, 188p. cap.27, 1993.

Oregon State Department of Energy. **Biomass Energy Technology [Online]**. 2002. Disponível em: < <http://www.oregon.gov/ENERGY/Pages/index.aspx> > Acesso: dez/2015.

OSTOVAREH, S., KARIMI, K., ZAMANI, A. Efficient conversion of sweet sorghum stalks to biogas and ethanol using organosolv pretreatment. **Industrial Crops and Products**. v.66, p.170–177, 2015.

PACETTI, T.; LOMBARDI, L.; FEDERICI, G.; Water e energy Nexus: a case of biogas production from energy crops evaluated by Water Footprint and Life Cycle Assessment (LCA) methods. **Journal of Cleaner Production** **101**. P. 278-291, 2015.

PECORA, V. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP – Estudo de Caso**. 2006. 152f. Dissertação (Mestrado em Energia) - Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE) do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo, São Paulo.

PEREIRA, E. R. **Desempenho e caracterização microbiana do processo de dois estágios com reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) tratando águas residuárias de suinocultura**. 2003. 104f. Dissertação (Mestrado em engenharia Civil) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

PEREIRA, A.V.; SOUZA SOBRINHO, F.; VALLE, C. B.; LÉDO, F.J.S.; BOTREL, M. A.; OLIVEIRA, J.S.; XAVIER, D.F. Selection of interspecific *Brachiaria* hybrids to intensify milk production on pastures. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.5, p.99-104, 2005.

PIEROBON, L. R. P. **Sistema de Geração de Baixo Custo Utilizando Biogás Proveniente de Aterro Sanitário**. 2007. 139f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PROCHNOW, A.; Heiermann, M.; Plochl, M.; Linke, B.; Idler, C.; Amon, T.; Hobbs, P. J. Bioenergy from permanent grassland - A review: 1. Biogas. **Bioresource Technology**, v.100, p.4931–4944, 2009.

PTI – PARQUE TECNOLÓGICO DE ITAIPU. Produtores recebem fogões a Biogás. 2013. Disponível em:

<<http://www.pti.org.br/imprensa/noticias/produtores-condominio-ajuricaba-recebem-fogoes-biogas>>. Acesso em: 03 abr. 2015.

QUIRINO, W.F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A.P.A.; ABREU, V.L.C.; AZEVEDO, A.C.S.; Poder Calorífico da Madeira e de Materiais Ligno-Celulósicos. **Revista da Madeira**, n. 89, p.100-106, 2005.

RICHART, A.; PASLAUSKI, T.; NOZAKI, M.; RODRIGUES, C.; FEY, R.. Desempenho do Milho Safrinha e da *Brachiaria ruziziensis* cv. Comum em Consórcio. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária) Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, v.5, n.4, p.497-502, 2010. Recife.

ROBERTSON, G.H., WONG, D.W.S., LEE, C.C., WAGSCHAL, K., SMITH, M.R., ORTS, W.J. Native or raw starch digestion: a key step in energy efficient biorefining of grain. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.54, p.353, 2006.

RODRIGUES, M. **Energias Renováveis**. In Enciclopedia Activa e Multimedia, 2004.

HEFNER III, Robert A. The GNK Company, 2007. The Age of Energy Gases. Disponível em <http://www.ghkco.com/publication_news/>. Acesso em: 25 abr. 2015.

ROONEY, W.L., BLUMENTHAL, J., BEAN, B., MULLET, J.E., Designing sorghum as a dedicated bioenergy feedstock. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v.1, p.147-157, 2007.

SALOMON, K. R. **Avaliação Técnico-Econômica e Ambiental da Utilizaçãodo Biogás Proveniente da Biodigestão da Vinhaça em Tecnologias para Geração de Eletricidade**. 2007. 219f. Tese (Doutorado em Conversão de Energia) - Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá. Itajubá.

Ribeiro, M. S. (2005). **O tratamento contábil dos créditos de carbono**. Tese de Livre Docência – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo. 90 p. Ribeirão Preto.

SÃO MIGUEL DO IGUAÇU. **A Cidade - Geografia e População**. Disponível em: <<http://saomiguel.hospedagemdesites.ws/geografia>>. Acesso em: 30 jul. 2014.

SCHUSTER, W. Experiments concerning the crop growing ability of new breeds of Sorghum as forage crop in moderate climates (in German). **Journal of Agronomy and Crop Science**, 2011.

SIMONETTI, E. **Estudo da viabilidade econômica na geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente da suinocultura, comunidade da linha aparecidinha – Santa Helena – PR**. 2007. Trabalho final de Graduação (Engenharia Ambiental), Faculdade das Américas, Uniamérica, Foz do Iguaçu.

SIQUEIRA, E. S. **Análise da viabilidade econômico-financeira do Uso do biogás como fonte de energia elétrica**. 2010. 65p. Trabalho Final de Graduação (Engenharia Ambiental), Faculdade Dinâmica de Cataratas. Foz do Iguaçu, PR.

SIQUEIRA, J. **Co-digestão de glicerina bruta associada a esterco bovino na produção de biogás**. 2012. 60p. Dissertação (Mestrado em Bioenergia), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo-PR.

SEIXAS, J.; FOLLE, S.; MACHETTI, D. **Construção e funcionamento de biodigestores**. Brasília, DF: EMBRAPA, DID, 1980. 60 p. Circular técnica, 4.

SGANZERLA, E. **Biodigestores: uma solução**. Porto Alegre: Agropecuária, 1993.

SHOEMAKER, C.E., BRANSBY, D.I., HALL, F., **The Role of Sorghum as a Bioenergy Feedstock**. Sustainable Alternative Fuel Feedstock Opportunities, Challenges and Roadmaps for Six U.S. Regions p.140–159, Chapter 9. 2010.

SOUZA, C. F.; SANTOS, C. R.; CAMPOS, J. A.; MOGAMI, C. A.; BRESSAN, W. S. Potencial de dejetos suínos como substrato na biodigestão anaeróbia sob efeito de diferentes temperaturas e tempos de retenção hidráulica. **Revista CERES**, v.51, n.300, p.255-265, 2005.

SOUZA, S. L. V. B. **Os créditos de carbono no âmbito do Protocolo de Kyoto**. 2007. 121f. Dissertação (Mestrado em Direito Público) - Universidade Federal da Bahia, Salvador.

SOUZA SOBRINHO, F. **Melhoramento de forrageiras no Brasil**. In: SIMPÓSIO DE FORRAGICULTURA E PASTAGENS, 2005, Lavras. **Anais**. Lavras: UFLA, 2005. v.1, p.65-120.

SOUZA SOBRINHO, F.; LÉDO, F.J. S.; KOPP, M.M.; PEREIRA, A.V.; SOUZA, F.F. **Melhoramento de gramíneas forrageiras na Embrapa Gado de Leite**. In: SIMPÓSIO DE FORRAGICULTURA E PASTAGENS, 7., 2009, Lavras. **Anais**. Lavras: UFLA, 2009. p.98-111.

SUAREZ, M. L. H. **Política Energética e Desenvolvimento Sustentável: Taxa sobre o Carbono para Mitigação de Gases de Efeito Estufa no Brasil**. 2000. Tese (Doutorado em Engenharia) Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade de Campinas, Campinas.

SUZUKI, A. B. P.; FERNANDES, D. M.; FARIA, R. A. P.; VIDAL, T. C. M. Uso de biogás em motores de combustão interna. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v.4, n.1, p.221–237, jan/abr. 2011.

THEURETZBACHER, F., BAUER, A., LIZADOAIN, J., BECKER, M., ROSENAU, T., POTTHAST, A., FRIEDL, A., PIRINGER, G., GRONAUER, A., Potential of different Sorghum bicolor (L. moench) varieties for combined

ethanol and biogas production in the Pannonian climate of Austria. *Energy*, v.55, p.107-113, 2013.

TIKE. Utilized agricultural area in 2006. **Information centre of the Ministry of Agriculture and Forestry in Finland**, 2007. Disponível em: <http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/Agricultural_census_in_Finland>. Acesso em: Maio 2015.

TRAMONTINI, P. Consumo da carne suína: a experiência brasileira. In: **Seminário Internacional de Suinocultura**, 5, 2000, São Paulo. Anais, São Paulo: [s.n.], 2000.

VAINIO-MATTILA, B., GINSTRÖM, T., HAARANEN, T., LUOMANPERÄ, S., LÄHDETIE, P., ORAVUO, M., PIETOLA, K., SUOJANEN, M., VIROLAINEN, J., KNUUTILA, K. & OVASKA, S. Future of crop production in Finland. P.44, 2005. Ministry of Agriculture, Helsinki.

VALLE, C.B.; SAVIDAN , Y.H. **Genetics, cytogenetics and reproductive biology of *Brachiaria***. Campo Grande: Embrapa-CNPGC, 1996. p.147-163.

VERVAEREN, H.; HOSTYN, G.; GHEKIERE, G.; WILLEMS, B.; Biological ensilage additives as pretreatment for maize to increase the biogas production. **Renewable Energy** **35**, p.2089-2093, 2010.

VILLARREAL, G. H. F. **Créditos de Carbono e Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil**. 2009. 124f. Dissertação (Mestrado em Direito Político e Econômico) – Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo.

WEBRADIOAGUA. Tripé da Sustentabilidade. Disponível em http://www.webradioagua.org/index.php/blog/item/168-sustentabilidade_ambiental. Acesso em: MAR2011.

WEILAND, P. Anaerobic waste digestion in Germany – status and recent developments. **Biodegradation**, v.11, p.415–421, 2000.

WHITFIELD, M.B., CHINN, M.S., VEAL, M.W., Processing of materials derived from sweet sorghum for biobased products. **Ind. Crops Prod.** v.37, p.362–375, 2012.

ZEGADA-LIZARAZU W, MONTI A. Are we ready to cultivate sweet sorghum as a bioenergy feedstock: A review on field management practices. **Biomass and Bioenergy**, v.40, p.1-12, 2012.

ZEGADA-LIZARAZU W, ZATTA A, MONTI A. Water uptake efficiency and above- and belowground biomass development of sweet sorghum and maize under different water regimes. **Plant and Soil**, v.351, p.47-49, 2012.