

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENERGIA DA BIOMASSA

Marcelo José De Melo

Avaliação da Biodigestão Anaeróbia do Resíduo de Maracujá *in natura* e pré tratado com Hidroxido de Sódio e ensilagem, inoculados com excretas de aves.

RIO LARGO - AL

2017

Marcelo José de Melo

Avaliação da Biodigestão Anaeróbia do Resíduo de Maracujá *in natura* e pré tratado com Hidróxido de Sódio e ensilagem, inoculados com excretas de aves.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Energia da Biomassa, da Universidade Federal de Alagoas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Energia da Biomassa.

Orientador: Prof^ª. D.Sc. Rosa Cavalcante Lira

Coorientador: Prof. Dr Elton Lima Santos

RIO LARGO - AL

2017

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

- M528a Melo, Marcelo José de.
 Avaliação da biodigestão do resíduo de maracujá *in natura* e pré-tratado com hidróxido de sódio e ensilagem, inoculados com excretas de aves / Marcelo José de Melo. – 2017.
 54 f. : il.
- Orientadora: Rosa Cavalcante Lira.
Coorientador: Elton Lima Santos
Dissertação (Mestrado Profissional em Energia da Biomassa) – Universidade Federal de Alagoas. Programa de Pós-Graduação em Energia da Biomassa. Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2017.
- Bibliografia: f. 45-54.
1. Biogás. 2. Maracujá. 3. Energia sustentável. 4. Digestão anaeróbica. I. Título.

CDU: 620.91

TERMO DE APROVAÇÃO


MARCELO JOSE DE MELO

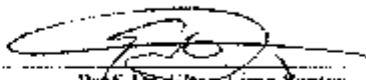
Avaliação da Biodigestão Anaeróbia do Resíduo de Maracujá *in natura* e pré tratado com Hidróxido de Sódio e ensilagem, inoculados com excretas de avcs.

Esta dissertação foi submetida a julgamento como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre Profissional em Energia da Biomassa, outorgado pela Universidade Federal de Alagoas.


A citação de qualquer trecho desta dissertação é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

Aprovado em 07/10/2016


Prof. Dr. Rosa Cavalcante Lira
Orientadora (CECA/UFAL)


Prof. Dr. Milton Lima Santos
Examinador Interno (CECA/UFAL)


Prof. Dr. Cícero Luiz Calazans de Lima
Examinador Interno (CECA/UFAL)


Prof. Dr. Sarah Jacqueline Cavalcanti Silva
Examinador externo (CECA/UFAL)

Com amor, à minha esposa Maria de Fátima, minha maior incentivadora e companheira de todas as horas.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, que me concedeu a luz da sabedoria e a coragem para concluir com êxito essa tarefa,

A meus pais José Oscar e Marina (in memoriam) e especialmente minha tia Delamar (in memoriam) pelo respeito e admiração que sempre tiveram por minha opção profissional e por ter me educado, respeitando os valores éticos e morais e aos meus irmãos Vera Lúcia, Paulo Roberto (in memoriam), Maria vitória e Maria das Graças que sempre compartilharam comigo o prazer e respeito pela educação escolar.

A minha família pelo carinho e incentivo para que esse projeto de qualificação profissional se concretizasse, principalmente, minha esposa, Fátima, que sempre acreditou em minha capacidade de alcançar meus objetivos, as filhas Rosa Emília, Marianna, Kelly e Liss, e ainda, os cunhados Maria Verônica e Welito, por partilharem comigo dessa conquista.

A Prof^a Dra Rosa Cavalcante Lira, pelo estímulo, amizade, contribuição competente e apoio durante todo o processo de pesquisa reconduzindo-me sempre à serenidade, quando apreensões e dúvidas ameaçavam a conclusão dos trabalhos.

Ao amigo e colega Prof. Dr. Elton Lima Santos, um dos maiores incentivadores e colaboradores, pelo apoio imensurável dessa caminhada.

Aos professores e colegas do curso pelos momentos de aprendizado e convivência, em especial, ao colega José Hélio Barbosa.

Aos professores avaliadores, por aceitarem participar desse momento tão importante, professora Prof^a. Dr^a. Rosa Cavalcante Lira (UFAL), professor Dr. Elton Lima Santos (UFAL), Prof. Dr. Cícero Luis Calazans de Lima (UFAL) e Prof^a Dra Sarah Jacqueline Cavalcanti Silva (UFAL - Examinadora Externa);

Aos meus colegas de trabalho, pelo apoio, compreensão e incentivo durante todo esse percurso.

A UFAL- Universidade Federal de Alagoas, por me oportunizar este mestrado.

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a conclusão de minha pesquisa de mestrado, por acreditarem que esse trabalho poderia se tornar referência no processo de formação dos alunos do Curso Mestrado Profissional em Energia da Biomassa, meus sinceros e afetuosos agradecimentos,

A todos os professores e professoras, que acreditam num processo educacional vivo para além da sala de aula.

RESUMO

Com o objetivo de reduzir a dependência de combustíveis fósseis e não renováveis, tem-se buscado fontes alternativas que sejam ambientalmente corretas, para suprir essa demanda. A Biomassa vem sendo utilizada como fonte de energia, não apenas como meio de reduzir os impactos ambientais globais, mas para a contribuição a matriz energética. Com isso, essa pesquisa busca avaliar a digestão anaeróbia e produção de biogás gerado a partir das cascas e sementes de maracujá em consórcio com excretas de aves, como inóculo, utilizando nove reatores, segregados em três tipos de tratamento. O primeiro tratamento utilizando apenas casaca e sementes de maracujá in natura, o segundo composto por resíduo do maracujá e Hidróxido de sódio (NaOH) e o terceiro utilizando o resíduo do maracujá pré tratada através de ensilagem. Em todos os tratamentos foram utilizados excretas de aves alimentadas com sementes de maracujá como inóculo. O procedimento foi observado durante 60 dias e gerou leitura de gases de 45 dias. O reator que obteve o melhor desempenho foi o com resíduo de maracujá tratado com NaOH, tendo como pico de produção de metano (CH₄) o vigésimo sexto dia, e o valor de 0,0063 mmol.dia⁻¹ de CH₄ acumulado.

Palavras-chave: Biodigestão. Maracujá. Biogás. Metano.

ABSTRACT

In order to reduce dependence on fossil and non-renewable fuels, we have sought alternative sources that are environmentally correct to meet this demand. Biomass has been used as an energy source, not only as a means to reduce global environmental impacts, but also to contribute to the energy matrix. The aim of this research was to evaluate the anaerobic digestion and biogas production generated from the shells and passion fruit seeds in a consortium with bird excreta as inoculum using nine reactors, segregated into three types of treatment. The first treatment using only casaca and seeds of passion fruit in natura, the second compound with passion fruit peel and (NaOH) and the third using the passion fruit peel pre-treated through silage. In all treatments, bird excreta were fed with passion fruit seeds as inoculum. The procedure was observed during 60 days and generated a 45 day gas reading. The reactor that obtained the best performance was the one with passion fruit residue treated with NaOH, having as peak of production of methane (CH₄) the 26th day, and the value of 0.0063 mmol.dia⁻¹ of accumulated CH₄.

Keywords: Biodigestion. Passion fruit. Biogás. Methane.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principais estados produtores de maracujá no Brasil em 2015.....	11
Figura 2 - Vista frontal, em corte, do biodigestor modelo indiano.....	21
Figura 3 - Vista frontal, em corte, do biodigestor modelo chinês	22
Figura 4 - Vista frontal, em corte, do biodigestor modelo canadense	23
Figura 5 - Reator e Headspace.....	28
Figura 6 - Seringa “gastight” usada para coleta do gás	31
Figura 7 - Coleta (01), Travamento (02), destravamento (03) e Aplicação (04) do biogás.	32
Figura 8 - Gráfico apresentando acumulado de CH ₄ em mmol.dia-1, produzido pelo substrato de maracujá in natura.....	34
Figura 9 - Gráfico apresentando acumulado de CH ₄ em mmol.dia-1, produzido pelo substrato de maracujá tratado.....	34
Figura 10 - Gráfico apresentando acumulado de CH ₄ em mmol.dia-1, produzido pelo substrato de maracujá tratado por ensilagem.....	35
Figura 11 - Estabilização do CH ₄ em reatores com resíduo do maracujá in natura.....	36
Figura 12 - Estabilização do CH ₄ em reatores com resíduo do maracujá tratado NaOH.....	37
Figura 13 - Estabilização do CH ₄ em reatores com resíduo do maracujá tratado ensilagem.	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição dos tratamentos do experimento.....	29
Tabela 2 - Teores de matéria seca, matéria mineral, nitrogênio e proteína bruta da excreta, resíduo do maracujá in natura e resíduo do maracujá tratada como ensilagem.....	33
Tabela 3 - Variáveis definidas a partir da equação de Gompertz	38

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	9
2.1	Biomassa de dejetos vegetais	9
2.2	Maracujá.....	10
2.3	Impactos gerados dos resíduos ao meio ambiente	12
2.4	Produção do biogás.....	13
2.4.1	Metano (CH ₄)	14
2.4.2	Dióxido de Carbono (CO ₂)	15
2.4.3	Purificação do biogás.....	15
2.5	Vantagens e Desvantagens na produção de biogás	16
2.6	Fatores que influenciam na produção de biogás	18
2.6.1	Temperatura.....	18
2.6.2	pH e Alcalinidade	19
2.6.3	Nutrientes	19
2.6.4	Relação C/N.....	20
2.7	Biodigestores	20
2.8	Digestão anaeróbia	23
2.8.1	Fases da digestão anaeróbia.....	24
2.9	Potencial energético dos dejetos da agricultura.....	25
2.10	Rentabilidade da produção de biogás	25
3	METODOLOGIA	Erro! Indicador não definido.
3.1	Amostragem do substrato	27
3.2	Montagem do experimento.....	27

3.3.....	Matéria Seca	Erro!
Indicador não definido.		
3.6	Tratamentos experimentais	29
3.6.1	Pré-tratamento por meio de ensilagem	30
3.7	Coleta dos Gases.....	30
3.8	Determinação de Metano (CH ₄)	31
4	RESULTADO E DISCUSSÃO	Erro! Indicador não definido.
5	CONCLUSÕES.....	Erro! Indicador não definido.
	REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

As maiores fontes de energia consumida no mundo atualmente são de origem fóssil derivadas do petróleo, carvão mineral e do gás natural, porém com previsões de esgotamento comercial de suas reservas, comprometendo, assim, sua demanda dentro de alguns anos (TRZECIAK et al. 2008), assim para diminuir a dependência de combustíveis fósseis e não renováveis e buscar soluções ambientalmente corretas, como a utilização da biomassa como fonte de energia, não apenas reduzirá os impactos globais pela queima de combustíveis fósseis como também contribuirá com a matriz energética dos países. Por isso está se buscando outras fontes de energia renovável, como alternativa sustentável, principalmente biocombustíveis de biomassa.

Energia renovável é toda energia oriunda de fonte inesgotável e não altera o balanço térmico do planeta, as mais conhecidas são a energia solar, energia eólica, biomassa e a hídrica. Nos dias atuais, são cada vez maiores as necessidades energéticas para a produção de alimentos, bens de consumo, bens de serviço e de produção, lazer, e finalmente para promover o desenvolvimento econômico, social e cultural.

O Brasil é um país que apresenta tradição no uso de fontes renováveis de energia, com destaque para a energia hidrelétrica que é responsável por 74% de toda a geração de elétrica. Entretanto, com pouco aproveitamento, mas com enorme potencial destacam-se, a energia eólica (0,4%) e a biomassa (4,7%) (BEN, 2011).

Biomassa é a matéria orgânica oriunda de material vegetal e animal, capaz de ser processada para a produção de energia e combustíveis. A biomassa decomposta sob a ação de bactérias metanogênicas (produtoras de metano) produz biogás em maior ou menor quantidade, em virtude de diversos fatores: temperatura, nível de pH, relação C:N, presença ou não de oxigênio, nível de umidade, quantidade de bactérias e volume de biomassa, entre outros (MENEZES, 2007).

A recuperação do biogás através da digestão anaeróbia é vista como forma ideal de tratamento de resíduos da biomassa. Diferentes tipos de resíduo têm potencial de produção de biogás tais como: dejetos de bovinos, de suínos, de aves, lodo de esgoto, resíduos de frutas e vegetais, entre outros (Qiao et al., 2011). A biodigestão anaeróbia pode ser usada como tratamento, reduzindo o poder de poluição e gerando subprodutos como o biogás e o biofertilizante (Alvarez & Gunnar, 2008).

O objetivo desse trabalho é fazer uma avaliação da atividade metanogênica da biodigestão de casca e semente de maracujá inoculado com excreta de aves, utilizando diferentes tipos de pré-tratamento para o substrato em questão. Verificando assim a melhor forma de pré-tratamento e sua eficiência na produção de metano.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 Biomassa de dejetos vegetais

O agronegócio é a principal força motriz da economia nacional, possuindo importantes avanços quantitativos e qualitativos, que o mantêm como setor de grande capacidade de geração de empregos e renda. Seu desempenho médio supera a movimentação do setor industrial, ocupando, assim, uma posição de destaque no âmbito global, dando-lhe importância crescente no processo de desenvolvimento econômico por ser um setor dinâmico da economia e pela capacidade de alavancar os demais setores (SILVA, 2014; COSTA, 2006).

O Brasil tem se destacado mundialmente como um dos maiores produtores de frutas, sendo que esta cadeia produtiva se mostra como um dos mais importantes segmentos econômicos do agronegócio brasileiro, com volume estimado de produção de 43,6 milhões de toneladas em 2012. Produzem-se frutas em praticamente todos os estados brasileiros, sendo que cerca de 53% da produção tem sido destinada ao mercado de frutas processadas e 47% ao mercado de frutas frescas (IBRAF, 2013; SILVA, 2015).

Devido ao constante crescimento dessa atividade e sua importância econômica, há em contrapartida a geração de uma grande quantidade de resíduos, estimando-se que os mesmos possam representar mais de 40% do volume total de frutas processadas (SILVA, 2014). Estes resíduos, em geral, são constituídos por uma mistura de cascas, sementes e bagaças, cuja destinação mais comum tem sido o descarte ou produção de adubos (WOLFE et al., 2003; MANACH et al., 2004; AJILA et al., 2007)

A fruticultura, além da sua importância na alimentação do ser humano, vem sendo reconhecida por seu importante caráter econômico para as diversas regiões do Brasil. Essa atividade econômica está entre as principais geradoras de renda, de emprego e de desenvolvimento rural. Os altos níveis de produção e os resultados comerciais obtidos nas últimas safras são fatores que demonstram o poder deste setor (EMBRAPA, 2003; BELING, 2005).

O processamento de frutas tem obtido um crescimento quando comparado com o consumo de frutas frescas, nos últimos anos. Foi observado também um aumento na produção de frutas congeladas e de intermediários de processo. Além disso, pode-se citar a produção de frutas desidratadas, contudo ainda não possui uma boa produção quando comparada com outras formas de utilização (IBRAF, 2013).

O aumento do processamento dos frutos tem gerado um crescimento na quantidade de resíduos ou subprodutos agroindustriais, advindos destes. O descarte representa, além de inúmeros problemas ambientais, perdas de matéria-prima e energia. Sendo assim, são exigidos investimentos significativos capazes de amenizar o impacto negativo causado à natureza (PELIZER et al., 2007). Estes resíduos, em geral, constituem uma mistura heterogênea de sementes, bagaço e cascas, que na maioria das frutas são ricos em ácido ascórbico, tocoferóis, carotenoides e em compostos fenólicos (WOLFE et al., 2003; MANACH et al., 2004), além de conter grande quantidade de sólidos em suspensão, pH elevado e alto conteúdo de umidade (80 – 90%). Desta forma, torna-se essencial para o setor industrial agregar valor econômico e tecnológico aos mesmo, sendo que para isso estudos científicos se tornam necessários.

2.2 Maracujá

O maracujá é um fruto originário da América Tropical, produzido pelas plantas do gênero *Passiflora*, com mais de 150 espécies utilizadas para consumo humano. As espécies mais produzidas no Brasil e no mundo são o maracujá-amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa*), maracujá-roxo (*Passiflora edulis Sims.*) e o maracujá-doce (*Passiflora alata*). O maracujá-amarelo é o mais cultivado no mundo, responsável por mais de 95% da produção do Brasil e utilizado principalmente no preparo de sucos. O maracujá-roxo e doce são destinados em sua maior parte para o mercado de frutas frescas, por serem menos ácidos e mais doces que a espécie amarela (CEPLAC, 2015).

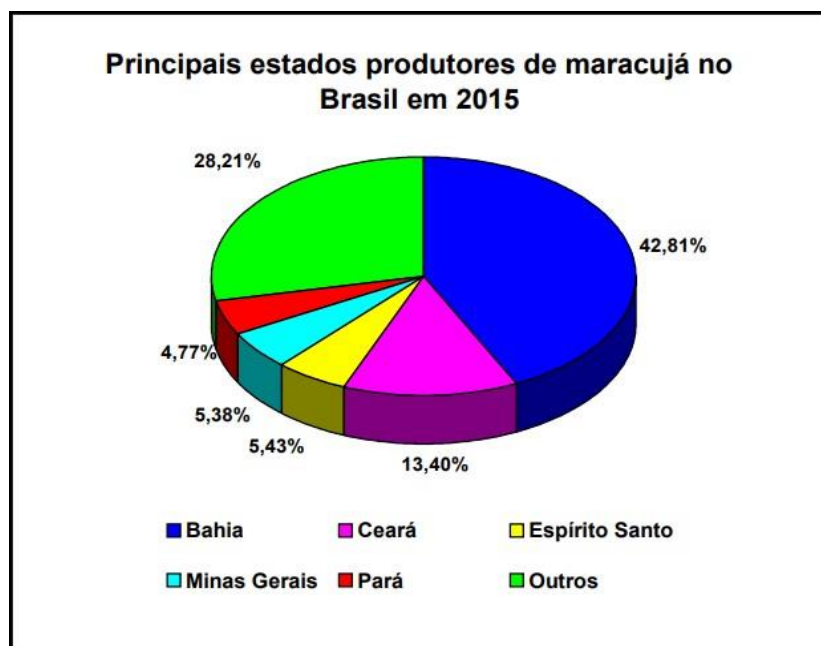
O maracujá é utilizado para consumo fresco, mas sua maior importância econômica está na utilização para fins industriais, principalmente na fabricação de sucos. A fruta é processada para fabricação de suco integral a 14° Brix, néctar e suco concentrado a 50° Brix. O suco possui alto valor nutritivo e excelentes características sensoriais. A polpa pode ser, ainda, utilizada na preparação de sorvetes, vinhos, licores ou doces (SEBRAE, 2015).

O resíduo do maracujá, que representa 40% a 50% do peso da fruta, é considerada resíduo industrial, assim como as sementes. Estudos buscam o aproveitamento de suas características e propriedades funcionais, que podem ser utilizadas para o desenvolvimento de novos produtos. O albedo da casca (parte branca) é rico em pectina, niacina (vitamina B3), ferro, cálcio, fósforo e fibras diversas. Das semente pode ser extraído óleo de aproveitamento industrial. As sementes, no maracujá representam cerca de 6% a 12% do peso total do fruto e podem ser boas fontes de carboidratos, proteínas e minerais. O percentual de óleo na semente

de maracujá alcança cerca de 25,7% do peso do farelo seco obtido e possui teor de ácidos graxos insaturados (SEBRAE, 2015).

O Brasil é o maior produtor mundial de maracujá, seguido pela Colômbia, Peru e Equador. Segundo IBGE (2015), a produção brasileira ultrapassou as 776 mil toneladas em uma área de cultivo de aproximadamente 57 mil hectares. A Bahia é o principal produtor (cerca de 42,81% do total), seguida por Ceará, Espírito Santo e Minas (Figura 1). Quase a totalidade da produção brasileira é da variedade amarelo ou azedo, que tem melhor aproveitamento industrial, destino de boa parte da fruta para fabricação, principalmente, de suco. A comercialização da fruta fresca e feita nas feiras livres, mercados municipais, atacadistas, indústria de sucos e para exportação (SILVA, 2015). Cerca de 85% do maracujá consumido no mundo é produzido pelo Brasil, sendo a terceira fruta mais consumida, perdendo apenas para laranja e o caju (EMBRAPA, 2011).

Figura 1 - Principais estados produtores de maracujá no Brasil em 2015.



Fonte: IBGE – Produção Agrícola Municipal, 2015.

2.3 Impactos gerados dos resíduos ao meio ambiente

Os rejeitos gerados pela agroindústria se caracterizam pela sua grande quantidade de matéria orgânica que, geralmente são lançados no solo, nas águas residuárias, e também nas subterrâneas provocando um impacto ambiental significativo para o meio. Atualmente as empresas buscam alternativas de reaproveitamento no intuito de preservar recursos naturais cada vez mais escassos e otimizar seus processos. A partir dessa ideia, diversos estudos vem sendo realizados para definir as melhores formas de reaproveitar e reutilizar os resíduos gerados (SAMULAK et al., 2010).

Santana (2005) dá exemplos da utilização de resíduos de agroindústrias com crescente utilização devido a possibilidade de aproveitamento econômico e com importância ecológica por apresentarem valor comercial significativo como: casca seca para ração animal e farinhas, albedo seco para alimentos peletizados, pectinas para vários alimentos, polpa usada para bebidas e vesícula de suco para sucos e iogurtes.

Quando se emprega tecnologia adequada, os resíduos podem ser transformados em produtos comerciais ou matérias-primas para processos secundários, pois apresentam substâncias com alto valor (SAMULAK et al., 2010; LAUFENBERG et al., 2003)

Uma das aplicações em potencial desses resíduos pode ser a sua utilização como fonte de carbono em bioprocessos para obtenção de produtos químicos e de produtos de maior valor agregado como etanol, proteínas, enzimas, ácidos orgânicos, aminoácidos, metabólitos secundários biologicamente ativos e compostos de aroma. (SAMULAK et al., 2010; SOCCOL & VANDENBERGHE, 2003)

Quando não é possível ou recomendável o aproveitamento de resíduos “in natura”, técnicas de tratamento devem ser aplicadas com o intuito de proporcionar transformações químicas e físicas proveitosas. Estes resíduos, depois de tratados, podem ser aproveitados por agricultores como adubo por apresentarem qualidade e baixo custo. Dentre os processos mais aplicados podemos destacar os que envolvem sistemas aeróbios e os anaeróbios (SAMULAK et al., 2010; MATOS, 2005)

A classificação dos resíduos sólidos se dá de diferentes formas dependendo das variáveis que se considera. Quando se analisa a composição química dos mesmos eles são classificados em orgânicos e inorgânicos. No que diz respeito aos riscos potenciais ao meio ambiente e saúde pública a ABNT/NBR 10.004 agrupam-se em classes I e II além de serem divididos em resíduos secos, úmidos, de acordo com sua natureza física e ainda considerando sua origem são subdivididos em domiciliar, industrial, comercial, agrícola e etc. Toda essa

classificação é importante na elaboração de alternativas e mecanismos de aproveitamento desses resíduos (SAMULAK et al., 2010; TROMBIN et al, 2005).

Os resíduos sólidos de agroindústrias (bagaços, tortas, restos de frutas e hortaliças, etc.) são constituídos por aqueles provenientes de usinas sucroalcooleiras, matadouros e indústrias do processamento de carnes (vísceras e carcaça de animais), frutas e hortaliças (bagaço, tortas, refugo e restos), indústria da celulose e papel (resíduos da madeira, lodo do processo de produção e do tratamento de águas residuárias), curtumes (aparas de couro e lodo do processo e tratamento de águas residuárias), etc. (MATOS, 2005). Uma alternativa que vem sendo bastante utilizada como forma de tratamento de resíduos não só pelas indústrias, mas também propriedades rurais é o sistema de biodigestor.

2.4 Produção do biogás

O biogás foi descoberto por Shirley em 1667, entretanto, só um século mais tarde, Volta reconheceu a presença de metano no gás dos pântanos como era chamado antigamente (ICLEI, 2009). No século XIX, Ulysse Gayon, realizou a fermentação anaeróbica através de uma mistura de esterco com água, em temperatura de 35 °C, onde conseguiu 100 L de gás por m³ (ZACHOW, 2000).

Em 1895, foi realizada a primeira tentativa na Europa, utilizando o biogás para a iluminação de algumas ruas da cidade de Exter, na Inglaterra, onde se iniciaram novas experiências devido aos excelentes resultados que este processo atingiu, com a crise energética dos anos 70, o gás metano produzido nos digestores anaeróbios voltou a despertar o interesse de vários países, no entanto, em nenhum país o uso dessa tecnologia alternativa foi tão acentuado como na China e Índia devido aos poucos recursos de capital e energia (ICLEI, 2009), ainda segundo este autor a partir das décadas de 70 e 80 começou o interesse pelo biogás no Brasil, principalmente entre os suinocultores, onde programas governamentais estimularam a implantação de biodigestores com o objetivo de gerar energia, na produção de biofertilizantes e minimizar os impactos ambientais reduzindo a dependência das pequenas propriedades rurais da compra de adubos químicos e de energia térmica para os diversos usos, bem como, reduzir a poluição causada pelos dejetos animais e aumentar a renda dos criadores.

O biogás é um combustível gasoso com potencial energético elevado semelhante ao gás natural, composto, principalmente, por hidrocarbonetos que são constituídos por um esqueleto de carbono que se ligam a átomos de hidrogênio, são hidrocarbonetos de cadeia

curta e linear, que pode ser utilizado na produção de energia elétrica, térmica ou mecânica (FIGUEIREDO et al. 2005).

Atualmente o biogás não é mais encarado apenas como um subproduto, obtido a partir da decomposição anaeróbia, e sim como um forte alvo de pesquisas, que buscam formas de produção energética que possibilitem a redução do uso dos recursos naturais não renováveis (COSTA, 2006).

Segundo Figueiredo (2007), o metano produzido uma vez gerado e liberado na atmosfera termina sendo oxidado, esta oxidação produz dióxido de carbono e dióxido de nitrogênio em grandes quantidades, que são gases nocivos ao meio ambiente e a saúde podendo causar doenças respiratórias.

O potencial de energia do biogás está relacionado com a quantidade de metano, este processo pode reduzir a emissão dos resíduos orgânicos com alto teor de demanda bioquímica de oxigênio, além de produzir metano e adubo orgânico. Os biofertilizantes são o que resta da biomassa após a fermentação. Ele apresenta teores de nitrogênio (N), entre 1,5 e 2,0%, de fósforo (P), entre 1,0 e 1,5%, e de potássio (K), entre 0,5 e 1,0%, sendo um adubo orgânico com alta qualidade (SALOMON e LORA, 2009)

Segundo Komiyama et al. (2006) o aproveitamento do biogás pode ser dar de duas formas, a produção por meio da queima direta ou conversão do biogás em eletricidade, transformando o biogás em energias elétricas e térmicas, esses sistemas podem se tornar auto suficiente em termos energéticos e assim contribuindo para a resolução de problemas ambientais. Pelo menos 25% das produções futuras de bioenergia poderão ser oriundas do biogás obtidos na digestão anaeróbica de resíduos orgânicos (NIELSEN et al. 2009).

A mistura presente no biogás tende a ser essencialmente constituída por metano (CH₄), com valores médios na ordem de 55 a 65%, e por dióxido de carbono (CO₂) com aproximadamente 35 a 45% de sua composição, estando o seu poder calorífico diretamente relacionado com a quantidade de metano existente no gás (IPCC, 2013).

2.4.1 Metano (CH₄)

O gás metano é o principal combustível no biogás, é considerado um dos mais simples hidrocarbonetos, possui pouca solubilidade na água e, quando adicionado ao ar, torna-se altamente explosivo (MACEDO, 2009) produzido através da decomposição da matéria orgânica em condições anaeróbicas, na presença de um grupo de bactérias metanogênicas, através de fontes naturais (pântanos, oceanos, cupins e águas doces) e ações humanas (lixões, reservatórios de hidrelétricas, criação de gado, cultivo de arroz, queima de biomassa, petróleo

e carvão). Se comparado ao CO₂, também é mais perigoso: o metano é mais eficiente na captura de radiação do que o CO₂. O impacto comparativo de CH₄ sobre a mudança climática é mais de 20 vezes maior do que o CO₂, isto é, 1 unidade de metano equivale a 20 unidades de CO₂ (EPA, 2013; ALVES, 2006).

2.4.2 Dióxido de Carbono (CO₂)

O dióxido de carbono ou gás carbônico (CO₂) é um gás emitido, principalmente, pelo uso de combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás natural) nas atividades humanas, o que preocupa é a alta concentração em que se encontra esse gás por ser o que mais contribui para o aquecimento global e por ser o gás de maior emissão (aproximadamente 78%) pelos humanos (EPA, 2010; CORDARO et al. 2010).

É um gás essencial à vida no planeta por ser um dos compostos principais para a fotossíntese, vários organismos liberam CO₂ na atmosfera mediante o processo de respiração, inclusive as plantas e árvores (conhecidas como compensadoras de CO₂) que, em condições de calor e seca, fecham seus poros para impedir a perda de água e mudam para o processo de respiração noturno, denominado de fotorrespiração, ou seja, consomem oxigênio e produzem dióxido de carbono (EPE, 2014).

O carbono ao sofrer combustão, reage com oxigênio e produz CO₂ ($C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$), este quando dissolvido em água, ocorre uma reação química ficando em equilíbrio químico, a dissolução de CO₂ e água produz ácido carbônico, H₂CO₃ ($CO_2(g) + H_2O(l) \rightarrow H_2CO_3(aq)$), um dos principais formadores de chuva ácida, que pode se decompor e formar novamente CO₂ e H₂O. Esse equilíbrio químico pode ser afetado por variação de temperatura, concentração de gás carbônico (PEÇANHA, 2014).

Quanto maior o teor CO₂, juntamente com a H₂O, mais absorve parte da energia contida no biogás e diminui o poder calorífico (PC) do metano (CH₄). Ele contribui com 49% do forçamento radiativo (FR), que é uma alteração do balanço da energia incidente e da energia emergente na terra, pode ser positiva, podendo causar aquecimento ou resfriamento no globo terrestre (FRARE et al., 2009; SILVA, 2009).

2.4.3 Purificação do biogás

A purificação do biogás tem por finalidade a adequação do combustível à especificação dos equipamentos, a melhoria da capacidade calorífica e qualidade do gás (FRANÇA JUNIOR, 2008). A presença de outras substâncias no biogás, como água e dióxido

de carbono dificulta o processo de combustão, o que o torna menos eficiente, uma vez que essas substâncias absorvem parte da energia gerada, por isso é necessário a purificação, para que os poluentes sejam eliminados, deixando sobrar apenas o metano para ser usado de forma mais eficiente como fonte energética (OSÓRIO E TORRES, 2009). Dependendo da utilização do biogás recomenda-se que na purificação seja removido gás sulfídrico, dióxido de carbono e a umidade (ALVES, 2000).

O biogás produzido depois de purificado é queimado em flares ou usado em grupos co-geradores, produzindo, assim, energia elétrica e energia térmica. A energia elétrica é utilizada para consumo próprio e o calor é aproveitado para o aquecimento do biodigestor (LAMAS, 2007).

Algumas usinas de bioetanol do Nordeste brasileiro purificam, desodorizam, liquefazem e armazenam sob pressão o CO₂ produzido na fermentação para recuperar o bioetanol arrastado, e o CO₂ para ser usado na produção de refrigerantes, gelo seco, na fabricação de bicarbonato de sódio e no tratamento de efluentes (CARBOGÁS, 2008)

2.5 Vantagens e Desvantagens na produção de biogás.

Biogás é uma mistura gasosa combustível resultante da fermentação anaeróbica da matéria orgânica, através da ação de bactérias metanogênicas, além de conter dióxido de carbono (30-45%) e metano (55-70%) produzidos naturalmente em meio anaeróbico pela ação de bactérias na fermentação da matéria orgânica dos dejetos (DEUBLEIN e STEINHAUSER, 2008). A energia do biogás assim como todas as fontes de energia, também apresentam vantagens e desvantagens decorrentes do seu aproveitamento para a produção de energia elétrica, a energia do biogás é renovável e o metano produzido ao invés de ser liberado no meio ambiente é transformado em produto que reduz o potencial poluente, diminuindo a emissão de gases do efeito estufa.

A digestão anaeróbica de dejetos animal é apontada como um tratamento atrativo, devido aos benefícios proporcionados na qualidade fertilizante do esterco, diminuição de patógenos, odores e dos gases do efeito estufa (GEE) Rico et al. (2011), além da redução de custos, ao economizar gás e/ou energia elétrica, uma vez que o uso do biogás pode reduzir a demanda de gás de cozinha ou de energia elétrica e evitar a poluição dos rios (CUNHA, 2006).

A recente crise energética e a alta dos preços do petróleo tem determinado uma procura por alternativas energéticas no meio rural (Ministério de Minas e Energia, 2007),

promovendo a quebra de paradigmas no setor tradicionalista da pecuária brasileira, a partir da produção de energia elétrica proveniente da combustão de biogás oriundo dos dejetos de sistemas de extensivos de produção.

Em condições normais o biogás não apresenta toxicidade por apresentar baixo teor de monóxido de carbono (abaixo de 0,1%), entretanto devido as impurezas, o metano pode ser extremamente tóxico e letal se apresentar teores acima de 1%, segundo Cassini (2003), ainda de acordo com este autor o biogás apresenta pouco risco de explosão, mas sua baixa densidade faz com que ele ocupe volume significativo, dificultando sua liquefação, conferindo-lhe desvantagens com relação ao seu transporte e utilização.

Sabendo que os biodigestores são equipamentos adequados para o recebimento dos dejetos, podemos ressaltar os inúmeros benefícios de sua instalação. Dentre as principais vantagens na digestão anaeróbica de dejetos temos:

- A baixa demanda da área;
- Redução nos custos de implantação
- Produção de metano, um gás combustível de elevado teor calorífico, a partir de um material sem valor econômico e potencialmente poluente;
- Sistema de baixo custo de implantação e operação, com demanda mínima de mecanização;
- Possibilidade de recuperação de subprodutos úteis, visando sua aplicação na irrigação e na fertilização de culturas agrícolas.
- Destruição dos organismos patogênicos e parasitas;
- Utilização do metano como uma fonte de energia;
- Capacidade de estabilizar grande volume de dejetos orgânicos diluídos.
- Utilização de substratos de fontes renováveis;
- Redução na compra de eletricidade pelo produtor;
- Produção de metano, gás de elevado teor calorífico.
- Redução de odores
- Favorece a preservação das colônias de bactérias, dando sustentabilidade ao sistema e possibilita a recuperação de subprodutos uteis, visando sua aplicação com fertirrigação de culturas agrícolas.

Mas este sistema também apresenta desvantagens como

- Culturas exclusivas, ou seja, a monocultura para exclusiva do biogás;
- Necessidade de purificação do biogás;

- A emissão de metano para a atmosfera, tornando-se uma das principais preocupações da atualidade, uma vez que este gás é um dos responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa, que são causadores do aquecimento global (UNFCCC, 2006).

As principais vantagens e desvantagens na produção de energia a partir de biogás estão de acordo com diversos autores (ORRICO et al. 2007; SANTOS et al. 2007 e SALOMON e LORA, 2009).

2.6 Fatores que influenciam na produção de biogás

O metabolismo dos microorganismos que atuam na degradação da matéria orgânica, podem ser influenciados por diversos parâmetros da digestão anaeróbia de águas residuárias, interferindo na taxa de digestão e produção de biogás assim como nas condições do sistema de tratamento e nos relacionados as variações ambientais, entretanto esses parâmetros controlados podem otimizar a atividade dos microorganismos, propiciando um aumento na produção de biogás (WILKINSON, 2011).

De acordo com Chernicharo (2007), a degradação anaeróbia de biomassa através da ação das bactérias metanogênicas, pode influenciar na quantidade de biogás produzido, pode ser influenciado pela temperatura, Ph e alcalinidade, relação carbono/nitrogênio, nutrientes, entre outros.

2.6.1 Temperatura

A produção de metano através da digestão anaeróbia dos dejetos de animais pode ocorrer em três níveis de temperatura. Com temperatura entre 45 a 70° C, o processo é considerado termófila; de 20 a 45° C mesófila e de 0 a 20° C psicrófila (LETTINGA et al., 1996).

Segundo Chernicharo (2007), o metano (CH₄) produzido durante a atividade microbiana pode ocorrer, segundo em uma faixa ampla de temperatura que vai de 0 a 97° C, porém, dois níveis ótimos têm sido associados à digestão anaeróbia, um na faixa mesófila (30 a 35°C) e o outro na faixa termófila (50 a 55°C). As mudanças abruptas de temperatura interferem na atividade microbiana (PARKIN, 1986).

No entanto, mesmo havendo liberação de metano na temperatura dentro da faixa termofílica, os biodigestores atuam em temperatura dentro da faixa mesofílica, não havendo necessidade de aquecimento para aumentar a eficiência do digestor, diminuindo os custos,

devendo-se analisar a viabilidade do sistema de aquecimento, uma vez a temperatura compromete diretamente a termodinâmica da reação, alterando a velocidade específica de utilização (MENDONÇA, 2009).

Outro ponto a ser observado é o dimensionamento correto do biodigestor, levando-se em consideração o tempo de residência hidráulica, a temperatura da biomassa e a carga de sólidos voláteis (OLIVEIRA, 2005).

2.6.2 pH e Alcalinidade

O metano é produzido pelas bactérias metanogênicas que crescem em pH na faixa 6,6 a 7,4, entretanto a produção de metano se estabiliza com pH em torno de 6,0 a 8,0, mas com o aumento da concentração de ácidos voláteis oriundos da digestão dos dejetos pode haver uma queda de pH quando a alcalinidade não for elevada suficientemente (SOUZA e FORESTI, 1994).

O pH pode ser corrigido utilizando-se cal e até atingir 6,7 e 6,8 por ser mais acessível a alcalinidade, mas a cal é bastante insolúvel e deve ser usada com cautela, pois pode ocasionar problemas operacionais (CHERNICHARO, 2007), ainda de acordo com este autor outra fonte utilizada para corrigir o pH é o bicarbonato de sódio que é solúvel e de fácil manuseio e tem a vantagem de não produzir CO₂ e não eleva muito o pH, contudo apresenta elevado custo.

2.6.3 Nutrientes

Algumas substâncias são degradadas mais facilmente como os carboidratos, proteína e lipídios e são responsáveis pelas maiores produções de metano em comparação com a celulose e a lignina que são mais difíceis de degradar.

As bactérias necessitam de nutrientes dentre os quais o carbono, nitrogênio, oxigênio, hidrogênio, fósforo e enxofre são os principais, outros são necessários a biossíntese dos componentes celulares como os cátions Mg +2, Ca +2, Na+1, K+1 e Fe+2, ânions Cl-1, SO₄-2 e traços de micronutrientes como o cobre, cobalto, manganês, molibdênio, zinco, níquel e selênio que agem como auxiliar para várias enzimas (MORAES, 2005).

Os microorganismos precisam de uma fonte de carbono para seu crescimento e muitos utilizam CO₂ e outros carbonos orgânicos, para os resíduos animais não é necessário fazer suplementação de nutrientes para digestão anaeróbia (NOGUEIRA, 1997).

2.6.4 Relação C/N

No processo de digestão anaeróbia é fundamental a presença de carbono, além do carbono a quantidade de nitrogênio também é importante. No processo fermentativo há uma produção de metano e gás carbônico, então o consumo de carbono promove uma diminuição da relação C/N e aumenta o nitrogênio pode provocar a paralisação da fermentação.

A relação C/N deve situar-se entre 20 e 30, caso essa concentração de nutrientes não seja suprida deve ser corrigida através de cargas menores no sistema de tratamento Chernicharo (1997).

2.7 Biodigestores

O biodigestor se configura como um sistema utilizado para produção de biogás, produzido por bactérias que digerem a matéria orgânica em condições anaeróbias, onde haverá produção de metano usado como combustível que além de não produzir gases tóxicos durante a queima e ser uma alternativa para o aproveitamento dos dejetos animais, ainda deixa um resíduo que é excelente fertilizante (FRANÇA JÚNIOR, 2008).

De acordo com França Júnior (2008), o biodigestor é uma câmara de diversos formatos e tamanhos dependendo da disponibilidade de espaço e finalidade, pode ser de alvenaria, concreto e PVC. O biogás que é produzido através da fermentação anaeróbia, depois que é purificado é queimado em flares produzindo energia elétrica e térmica, esta energia é utilizada para consumo próprio e o calor é aproveitado para aquecimento do biodigestor (LAMAS, 2007).

Os biodigestores podem ser classificados em dois tipos, os biodigestores de fluxo contínuos, quando se usa abastecimento contínuo de matéria orgânica e o biodigestor de fluxo hidráulico descontínuo (biodigestor de batelada), quando se usa a capacidade máxima de armazenamento de biomassa. O sistema de batelada permite que as etapas de digestão anaeróbia ocorram em modo seco, ou seja, o teor de sólidos varia entre 30 a 40%, e ao final os resíduos estabilizados são removidos iniciando-se um novo ciclo através da introdução de nova batelada de resíduos (CASSINI, 2003).

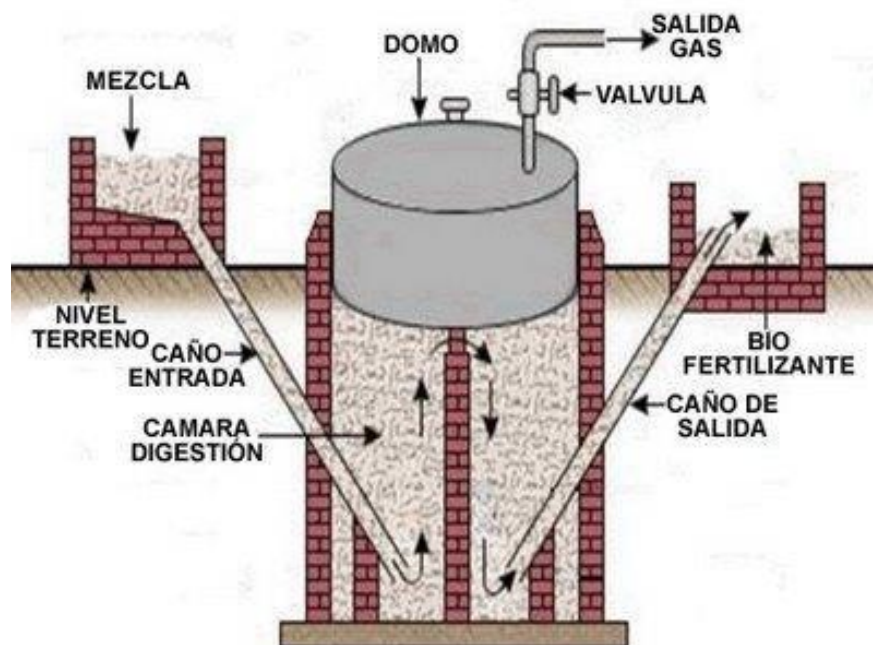
Os modelos mais comuns de biodigestores são os indianos, chineses e os canadenses.

O biodigestor indiano apresenta uma campânula flutuante que funciona como um gasômetro, que pode estar mergulhado sobre a biomassa ou em um selo de água externo,

reduzindo as perdas durante o processo de fermentação e uma parede central dividindo o tanque em duas câmaras, que apresenta funções de fazer o material circular por todo o interior da câmara de fermentação de forma homogênea (DEGANUTTI et al. 2002).

No modelo de biodigestor indiano o processo de digestão anaeróbia ocorre de maneira mais rápida devido ao aproveitamento da temperatura do solo que proporciona um maior desenvolvimento das bactérias (DEGANUTTI et al. 2002), a produção do biogás não consumida faz com que o gasômetro se desloque verticalmente, proporcionando um aumento do seu volume e mantendo a pressão constante em seu interior (LUCAS JÚNIOR, 1987).

Figura 2 - Vista frontal, em corte, do biodigestor modelo indiano.

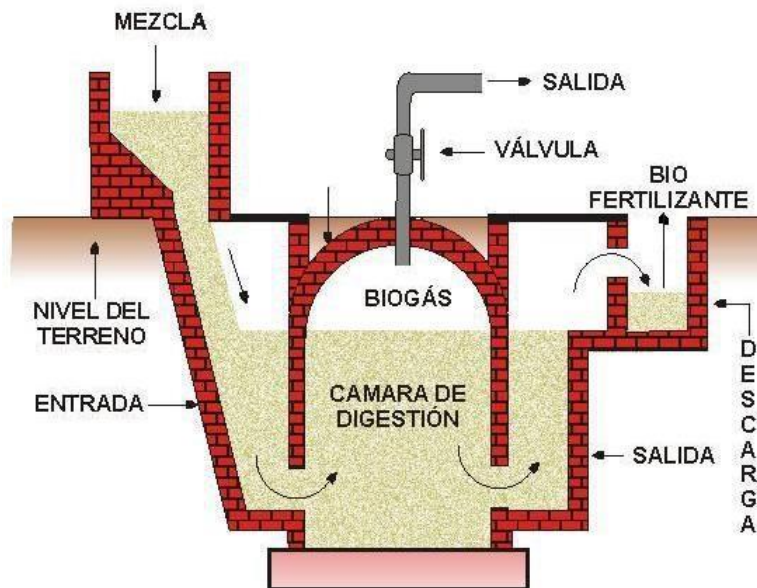


Fonte: Fonseca et al., 2009.

O biodigestor chinês é construído em alvenaria, formado por uma câmara cilíndrica e teto impermeável, reservado para estocar o biogás produzido (DEGANUTTI et al. 2002) assim como o indiano o substrato deve apresentar 8% de sólidos totais facilitando a circulação do material. Dispensa o uso de gasômetro em chapa de aço, o que minimiza os custos na sua produção, entretanto, se a estrutura não estiver bem fechada e impermeabilizada pode haver vazamento de gás (DEGANUTTI et al. 2002).

Este modelo funciona com pressão hidráulica, caso haja aumento da pressão no interior por causa do gás, o efluente da câmara de fermentação se deslocará para a caixa de saída e descompressão caso haja diminuição da pressão, o deslocamento se dará em sentido contrário (FRANÇA JÚNIOR, 2008).

Figura 3 - Vista frontal, em corte, do biodigestor modelo chinês.

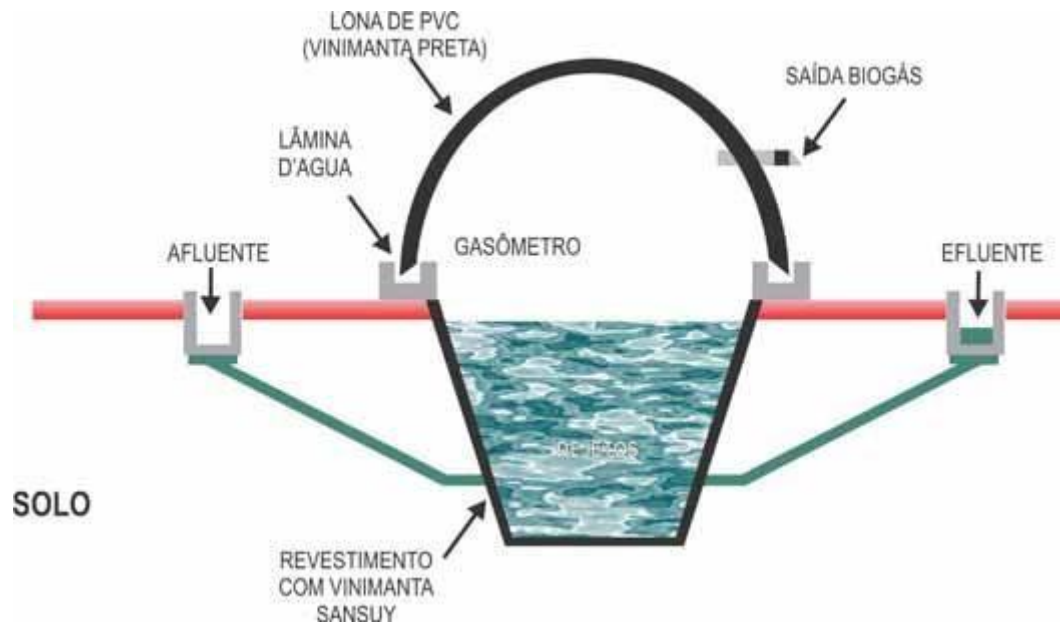


Fonte: Fonseca et al., 2009.

Também conhecido como de fluxo tubular, o biodigestor canadense apresenta construção simplificada tipo horizontal, com uma câmara de biodigestão escavado no solo com gasômetro inflável feito de material plástico ou similar (SOUZA, 2005). Este modelo é mais raso e mais longo que os outros modelos, garantindo uma maior fermentação e conseqüentemente produção de gás (BARRERA, 2003).

Atualmente este biodigestor é o mais utilizado no mundo e também no Brasil, em comparação com os modelos Indiano e Chinês, apresenta um menor custo e maior facilidade, além de maior resistência a corrosão provocada pela água e ácido sulfídrico presente nos gases, entretanto apresenta menor durabilidade, pois está sujeito a acidentes como perfuração da lona plástica e ocorre vazamento de gás (OLIVEIRA e HIGARASHI, 2006).

Figura 4 - Vista frontal, em corte, do biodigestor modelo canadense.



2.8 Digestão anaeróbia

O processo de digestão anaeróbia se deve a decomposição de resíduos orgânicos que ocorre na ausência de oxigênio tendo como resultados gases como metano, dióxido de carbono, amônia e ácidos orgânicos de baixo peso molecular, além da presença de outros gases em quantidades muito baixas (DEMIRER e CHEN, 2005).

A digestão anaeróbia ocorre em processo biológico através da ação de microorganismos que atuam sem a presença de oxigênio, onde a matéria orgânica é transformada em compostos mais simples como o metano e o gás carbônico (BELL FILHO, 1995).

Os microorganismos metanogênicos também conhecidos como arqueias metanogênicas são seres procariontes estritamente anaeróbios desenvolvem funções extremamente importantes nos ambiente anaeróbios, produzem o metano que é um gás de baixa solubilidade, possuem baixas velocidades de crescimento e são limitantes no processo de fermentação (MATA-ALVAREZ, 2003).

De acordo com Novak et al. (2003) foi relatado que no processo de hidrólise se observam a ação da atividade enzimática que são produzidas pelos microorganismos hidrolíticos, isto se deve a degradação que as mesmas sofrem durante a digestão anaeróbia.

2.8.1 Fases da digestão anaeróbia

Entender como ocorre o processo de produção de biogás é importante para o sucesso do aproveitamento do biogás, o mecanismo de digestão anaeróbia, através da ação de microorganismos tendo como um dos produtos finais o metano.

O processo de oxidação da matéria orgânica ocorre através de processos metabólicos de fermentação e respiração, a digestão anaeróbia é um processo bioquímico complexo, onde os microorganismos passam por quatro fases principais, a hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (CHERNICHARO, 1997).

Na primeira etapa também chamada de hidrólise, requer a ação as bactérias fermentativas, nesta etapa os compostos complexos insolúveis como lipídios, carboidratos e proteínas sofrem hidrólise pelas bactérias hidrolítica ou anaeróbias facultativas, sendo transformado em monômeros simples que serão convertidos em ácidos voláteis, álcoois, hidrogênio e dióxido de carbono (GERARDI, 2003).

As bactérias acidogênicas atuam logo na sequencia da hidrólise, nesta fase os compostos que foram produzidos na fase anterior, os produtos serão metabolizados pelas bactérias fermentativas através da fermentação, que resultará na formação de compostos orgânicos simples como o dióxido de carbono, gás hidrogênio, álcoois, ácidos orgânicos, alguns compostos orgânicos de nitrogênio e enxofre (GERARDI, 2003).

Na terceira etapa, ocorre a acetogênese, onde os produtos acidogênicos, são transformados em ácido acético, que é o precursor do metano, através das bactérias sintróficas (acetogênicas) são responsáveis por converter o butirato e o propionato em acetato, dióxido de carbono e hidrogênio (compostos orgânicos simples), cerca de 70% da DQO afluyente são convertidos em ácido acético e o restante em CO₂ e hidrogênio (AQUINO e CHERNICHARO, 2005).

A produção do metano ocorre na quarta etapa, onde é formado principalmente através do ácido acético, dióxido de carbono e hidrogênio, as bactérias responsáveis por esta transformação são conhecidas como Archara methanogens (MONTEIRO, 2007), a produção de metano através do processo fermentativo anaeróbio está relacionado com a redução do DQO, propiciando a diminuição da pressão da pressão parcial de hidrogênio no meio, tornando possíveis as reações para a produção de biogás (CHERNICHARO, 2007).

2.9 Potencial energético dos dejetos da agricultura

As condições climáticas, a grande quantidade de terra agricultável, características adequadas do solo, possibilidade de manejo de várias culturas e a radiação solar são condições que justificam as vantagens na produção do uso da biomassa como alternativa energética (BRASIL, 2007).

Para a determinação do destino do combustível, é necessário avaliar a composição química, poder calorífico e vazão, para assim poder direcionar seu potencial energético e a geração de diferentes tipos de energia elétrica, mecânica e térmica (COELHO et al. 2006).

O potencial de geração de biogás está diretamente relacionado com o tipo de matéria prima, resíduos com alto teor de fibras, são considerados de baixa digestibilidade e apresentam potencial reduzido, os materiais menos fibrosos (ricos em amido), apresentam um potencial maior na produção de biogás (GRYSCHKEK e BELO, 1983).

2.10 Rentabilidade da produção de biogás

Para avaliação econômica, primeiramente deve ser realizado uma análise de como será utilizado o biogás para que a produção de energia elétrica, já que este biogás é proveniente da digestão anaeróbia e queimado em flare para diminuir os impactos ambientais e emissão de metano diretamente no ambiente aumentando o efeito estufa (COELHO et al., 2003).

Exemplos dos benefícios ambientais, econômicos e financeiros e aproveitamento energético, podem ser encontrados em diversos estudos, além de contribuir para a diminuição dos impactos ambientais, também apresenta benefícios à sociedade, por reaproveitar os resíduos da atividade agropecuária e agrícola, e transformar através do processo de fermentação anaeróbia em biogás, para ser convertido em energia e oferece maior variedade de combustíveis aumentando a oferta de energia, reduzindo odores e substâncias tóxicas que seriam emitidas no ambiente, viabiliza o tratamento de efluentes e a utilização local de recursos, que pode ser usado como adubo orgânico (PECORA, 2006).

De acordo com Souza e Clemente (2009) para a análise econômica precisa ser compreendida a taxa mínima de atratividade (TMA), é a melhor taxa, com grau de risco menor, esta taxa representa o mínimo que o investidor quer receber, já o valor presente líquido (VLP) é a análise de investimento mais utilizada, pois concentra os fluxos de caixa futuros na taxa zero, a taxa interna de retorno (TIR) representa os rendimentos médios do

capital investido, o período de recuperação de capital ou payback, é referente ao período necessário para que o fluxo de investimento recebido supere o valor do capital investido.

3. METODOLOGIA

3.1 Amostragem do substrato

O resíduo do maracujá utilizado foi originada da fábrica de sorvetes Fika Frio, localizado no município de Maceió – AL. As excretas de frango tiveram origem no Setor de Avicultura do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas/UFAL, Rio Largo - AL.

3.2 Montagem do experimento

Os experimentos consistirão em testes de biodegradabilidade anaeróbia e potencial de produção de metano em resíduo da indústria do maracujá (casca e sementes) da empresa Fika Frio submetidas a diferentes tratamentos.

Na digestão anaeróbia foi utilizados resíduo do maracujá consorciado com excretas de frangos. Sendo aproveitados esses resíduos, respectivamente, como substrato e inócuo. O experimento foi montado e conduzido no Laboratório de Saneamento Ambiental do Centro de Tecnologia (CTEC) da Universidade Federal de Alagoas. Foi utilizada para desenvolvimento da pesquisa, uma bateria com 09 unidades de biodigestores experimentais, tipo batelada, com capacidade total de 600 mL, sendo o volume reacional correspondente a 300 mL de substrato e 300 mL de “Headspace” (Figura 3). A anaerobiose foi instalada pela substituição de todo ar atmosférico presente no Headspace dos frascos pelo aborbulhamento de nitrogênio nos frascos.

Para que os reatores fossem hermeticamente fechados foram utilizadas rolhas emborrachadas com haste metálica, sendo estas hastes usadas para o acoplamento da mangueira. Posteriormente, a mangueira teve sua terminação isolada com cola siliconada e dobrada para impedir a saída do gás produzido. Assim que houve o acondicionamento do material a ser fermentado, os reatores foram imediatamente fechados e abertos apenas no encerramento do experimento.

O tempo de execução do experimento foi de 60 dias, onde durante esse período foi aferido os valores qualitativos de biogás produzido por cada reator tipo batelada. A temperatura notada durante toda a execução do experimento foi, em média, de 26°C. A coleta do biogás foi feita através de uma seringa “gastight”, com trava, que transpassava a mangueira de silicone implantada nos bicos dos recipientes.

Figura 5 - Reator e Headspace.



Fonte: O autor (2016).

3.3 Matéria Seca

Determinação da perda de peso do produto submetido ao aquecimento, até peso constante. Foi utilizado o aquecimento direto da amostra a uma temperatura de 105°C.

3.4 Cinzas

Resíduo obtido por incineração em temperaturas de 550 a 570°C.

3.5 Proteína Bruta e Nitrogênio

A análise é realizada pelo Método de Kjeldahl, onde a porcentagem de nitrogênio obtida é multiplicada 6,25 e então expressa como Proteína Bruta (PB). Essa análise é baseada em no fato de que todas as proteínas possuem 16% de nitrogênio, e que todo nitrogênio do alimento está na forma proteica.

3.6 Tratamentos experimentais

Foram testados três tratamentos com três repetições cada (Tabela 3). Considerou-se o resíduo do maracujá como substrato e as excretas de frango como inóculo. O primeiro tratamento consistiu em 20 gramas de resíduo do maracujá moída e desidratada, 10 gramas desidratadas e moídas de excretas de frango e água destilada até completar a marca de 300 ml (50%) do volume do reator. O segundo tratamento foi composto por 20 gramas de resíduo do maracujá in natura moída e desidratada, 10 gramas desidratadas e moídas de excretas de frango e solução de hidróxido de sódio a 4% (NaOH) até completar a marca de 300 ml (50%) do volume do reator e o terceiro experimento consistiu de 20 gramas ensilagem de resíduo do maracujá e 10 gramas desidratadas e moídas de excretas de frango.

A ensilagem do resíduo do maracujá foi realizada em 10 silos experimentais feitos de tubos de PVC de 0,50m de comprimento por 0,10 m de diâmetro, com volume de 0,157 m³. Durante o período de 60 dias. Após dos quais foram abertos e retirada uma amostra composta das amostras de cada silo e enviada sub amostras para caracterização do material no laboratório de Nutrição Animal do Centro de ciências Agrárias da UFAL.

As excretas dos frangos foram originadas de experimento realizado com a inclusão de semente de maracujá na dieta de frangos de corte, realizado no Centro de ciências Agrárias da UFAL.

Tabela 1 - Descrição dos tratamentos do experimento.

Tratamentos	Inóculo	Substrato	Água destilada
T1R1	10g	20g	Água destilada até completar 300 ml do reator
T1R2	10g	20g	Água destilada até completar 300 ml do reator
T1R3	10g	20g	Água destilada até completar 300 ml do reator
T2R1	10g	20g	Solução 4% NaOH até completar 300 ml do reator
T2R2	10g	20g	Solução 4% NaOH até completar 300 ml do reator
T2R3	10g	20g	Solução 4% NaOH até completar 300 ml do reator
T3R1	10g	20g	Água destilada até completar 300 ml do reator
T3R2	10g	20g	Água destilada até completar 300 ml do reator
T3R3	10g	20g	Água destilada até completar 300 ml do reator

3.6.1 Pré-tratamento por meio de ensilagem

O objetivo da enensilagem é conseguir a produção de ácido láctico, resultado da presença de microrganismos anaeróbios, constituindo-se em um pré--tratamento ácido de longo prazo. Esse pré-tratamento pode solucionar dois problemas básicos do uso da casca ou sementes de maracujá para produção de biogás: a enensilagem pode proporcionar um pré-tratamento ácido de baixo custo, e o tempo de reação da ensilagem permite que haja um estoque para uso durante a entressafra.

Os tratamentos com a ensilagem serão compostos por: T1 Ensilagem com 100% de resíduo do maracujá, T2 - Ensilagem com 25% de sementes e 75% de casca, T3 – ensilagem com 50% de sementes e 50% de casca, T4 - Ensilagem com 75% de sementes e 25% de casca.

As variáveis estudadas para a composição química e fermentativa serão: matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente neutro (FDA), carboidratos totais (CHOT), matéria mineral (MM), fenóis totais (FT), taninos totais (TT), taninos condensados (TC), pH, capacidade tampão (CT), perdas fermentativas e ácido láctico.

3.7 Coleta dos Gases

Através de uma seringa “gastight”, com trava, eram feitas as coleta do biogás, que transpassava a mangueira de silicone implantada nos bicos dos recipientes e recolhiam uma amostra do biogás produzido nos reatores (Figura 06). Após a coleta, o orifício utilizado para aspirar ao gás, era imediatamente fechado com a cola siliconada para que não houvesse saída do biogás.

Figura 6 - Seringa “gastight” usada para coleta do gás.



Fonte: Autor (2016).

3.8 Determinação de Metano (CH₄)

De acordo com a metodologia utilizada por Maintinguer et al. (2008), para a determinação da produção e composição do biogás gerado foi o Cromatógrafo Gasoso *Shimadzu GC-2010-Plus*®. O aparelho conta com um detector de condutividade térmica, e uma coluna *Supelco Carboxen 1010 Plot*® de 30 m de comprimento e diâmetro interno de 0,53 mm. Utilizando uma seringa “gastight” (1 ml) com trava eram realizadas as coletas de gases para que fossem, posteriormente injetados no cromatógrafo e determinada a leitura, como é mostrado na Figura 07.

Figura 7 - Coleta (01), Travamento (02), destravamento (03) e Aplicação (04) do biogás.



Fonte: Autor (2016).

Para o ajuste dos dados coletados foi utilizada a Equação Linear de Boltzmann:

$$Y = [(A1 - A2) / ((1 + e^{(x - x_0)/dx}) + dx)] + dx \quad (1)$$

Onde:

A1: Valor inicial = 0

A2: Valor final = 1

x_0 : Centro = 0

dx: Constante de tempo = 1

Para determinação de maior produção metanogênica dos reatores foi utilizada a Equação Gompertz, aplicada através do Software-origin 11:

$$Y = a * \exp(-\exp(-k*(x-x_c))) \quad (2)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As cascas e sementes de maracujá, além das excretas de aves utilizadas para abastecer os reatores, foram caracterizadas e foi possível observar, conforme a Tabela 03, valores bem aproximados quanto a matéria seca, proteína bruta e nitrogênio, levando em consideração as casacas de maracujá tratada, in natura e as excretas de aves. Pode-se verificar uma diferença mais significativa nos valores de cinzas, 15,53%, 6,11% e 5,21%, para excretas de aves, resíduo do maracujá in natura e cascas tratadas como ensilagem.

Tabela 2 - Teores de matéria seca, matéria mineral, nitrogênio e proteína bruta da excreta, resíduo do maracujá in natura e resíduo do maracujá tratada como ensilagem.

NUTRIENTES (%)	Excreta de frango	Resíduo de maracujá in natura	Resíduo de maracujá tratado com ensilagem
Matéria seca (MS)	77,36	69,12	76,075
CINZAS (MS)	15,53%	6,11	5,21
Proteína Bruta (MS)	9,68%	9,37	9,75
N (MS)	1,55%	1,50	1,56

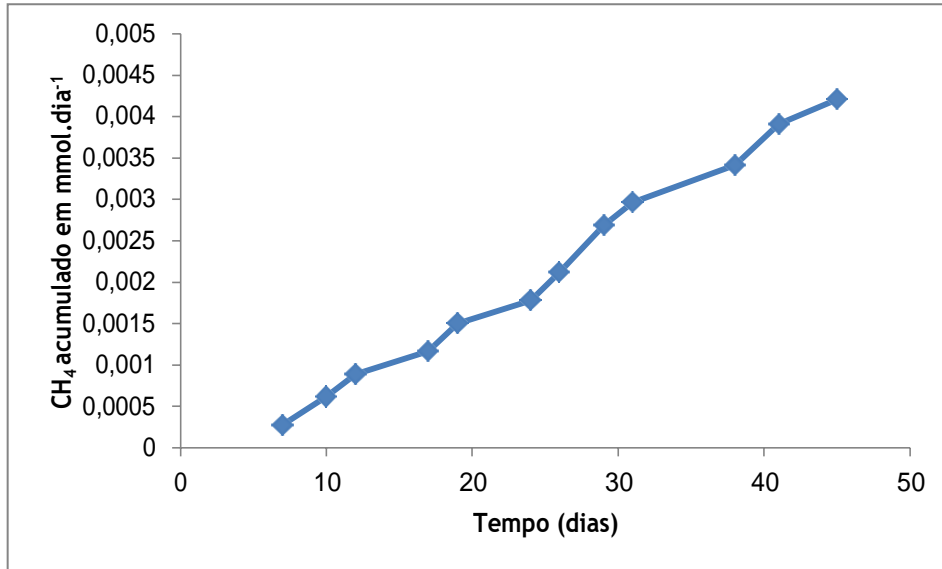
Segundo Reis et al. (1993), a composição bromatológica do resíduo do fruto de maracujá é de 19,00% de matéria seca e 10,50% de proteína bruta. De acordo com os valores obtidos na Tabela 3, nota-se que os valores para matéria seca (MS) do resíduo do maracujá in natura é de 69,12%, tendo uma diferença bastante significativa. Contudo os valores para proteína bruta encontram-se bem próximos, 10,50% segundo Reis et al. (1993) e 9,37% como valor obtido na pesquisa.

Santos (1995) encontrou para a ensilagem de maracujá, 21,97% de matéria seca e 14,30% de proteína bruta. Na presente pesquisa foram aferidos os seguintes valores 76,07% de matéria seca e 9,75% de proteína bruta. Sendo assim, para o material tratado como ensilagem obteve valores maiores de matéria seca, quando comparados com a literatura, e valores um pouco mais próximos de proteína bruta.

Para o resíduo do maracujá o teor de cinzas aferido foi de 6,11% para resíduo do maracujá in natura. O resultado obtido corroborara com Alcântara (2013) que encontrou 6,86% para o maracujá e com Muniz (2016) que verificou valores entre 7,16 a 6,54% de cinzas.

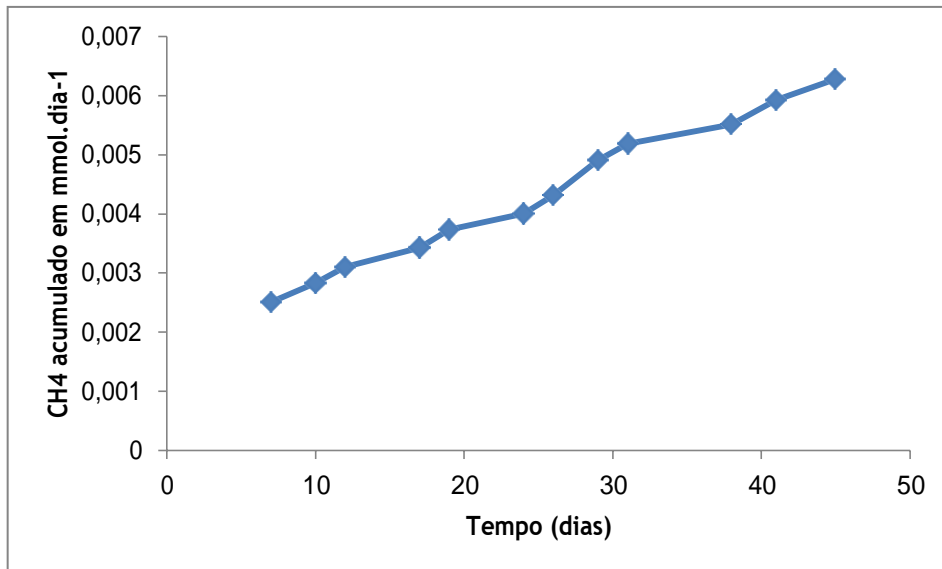
A produção metanogênica (mmol.dia^{-1}) observado em 54 dias, desde o fechamento até a abertura dos reatores, pode ser observada nas Figuras (06, 07 e 08):

Figura 8 - Gráfico apresentando acumulado de CH_4 em mmol.dia^{-1} , produzido pelo substrato de maracujá in natura.



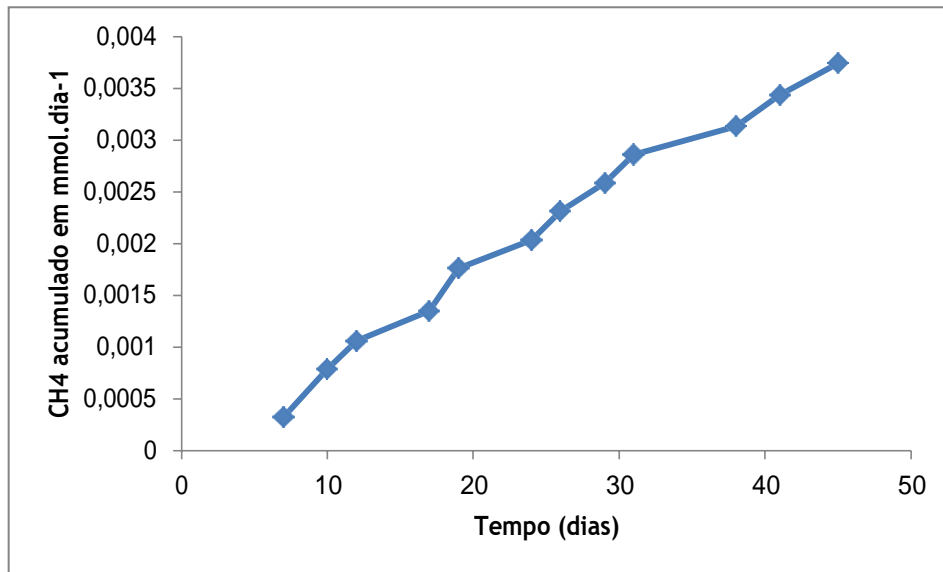
Fonte: Autor (2016).

Figura 9 - Gráfico apresentando acumulado de CH_4 em mmol.dia^{-1} , produzido pelo substrato de maracujá tratado.



Fonte: Autor (2016).

Figura 10 - Gráfico apresentando acumulado de CH₄ em mmol.dia⁻¹, produzido pelo substrato de maracujá tratado por ensilagem.



Fonte: Autor (2016).

Quando comparados os gráficos acima se pode observar, que no reator com resíduo do maracujá tratado com hidróxido de sódio (NaOH) houve um maior acúmulo de gás metano (0,0063 mmol.dia⁻¹), quando comparado com os outros dois reatores com resíduo do maracujá in natura (0,0042 mmol.dia⁻¹) e resíduo do maracujá tratado como ensilagem (0,0037 mmol.dia⁻¹). Sabendo que o hidróxido de sódio (NaOH) atua na hidrólise da molécula de celulose e lignina, durante o processo de formação gasosa dos reatores, pode-se atribuir essa diferença de geração de metano entre os reatores estudados.

A fase inicial do processo se caracteriza pela hidrólise, acidogênese e acetogênese, não sendo produzido neste primeiro momento o CH₄. Somente após a produção de ácido acético, propiônico, hidrogênio, dióxido de carbono e outros ácidos orgânicos é que inicia-se a ação das bactérias metanogênicas no processo. Essa fase inicial pode ser notada nas figuras 8, 9 e 10, onde é possível observar no gráfico mostrado que nos primeiros dias de experimento não há a indicação de produção de CH₄.

Esta fase inicial dura aproximadamente uma semana. Nesse período que vai de 0 dias até o tempo onde inicia-se a produção do Biogás, aproximadamente após 5 dias, ocorre a redução do oxigênio dissolvido que pode ainda estar presente na amostra, além do aumento da DQO da amostra, devido a formação de compostos pelas bactérias iniciais presentes no meio e o próprio aumento de matéria orgânica que é gerada pela elevada quantidade de bactérias.

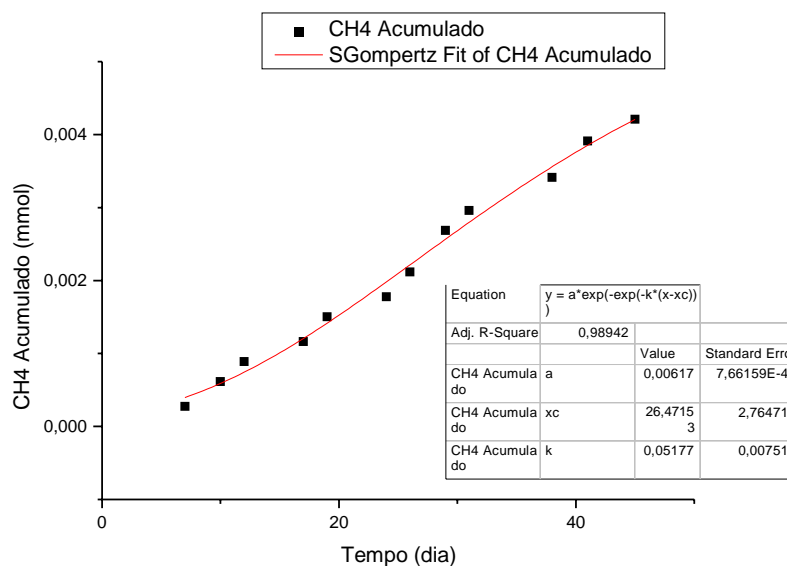
As bactérias metanogênicas já estão presentes nas fases anteriores contudo em pequenas quantidade e só a partir da fase metanogênica, as mesmas começam se desenvolver significativamente.

O pH do meio anaeróbio, é uma variável que influencia diretamente na composição e sobrevivência das bactérias metanogênicas em um biodigestor, sendo inclusive fator de sucesso ou fracasso do processo de biodigestão anaeróbia para a produção de biogás. De acordo com Van Haandel & Lettinga (1994), o pH ideal para a formação do metano deve variar entre 6,0 e 8,0. Porém, afirmam que valores abaixo de 6,0 e acima de 8,3 devem ser evitados, pois inibem as bactérias formadoras deste gás. Segundo Batista (1981), as bactérias que produzem metano sobrevivem numa faixa estreita de pH (6,5 e 8,0).

Nota-se também que o reator com resíduo de maracujá tratado com ensilagem apresentou os valores mais baixos de metano acumulado. Sabendo que o processo de ensilagem, atribui ao meio um ambiente ácido, isso poderá influenciar negativamente no processo de biodigestão, pois estando o pH mais ácido o mesmo irá interferir no desenvolvimento dos microrganismo que não atuarão de forma satisfatória para a produção eficiente de biogás.

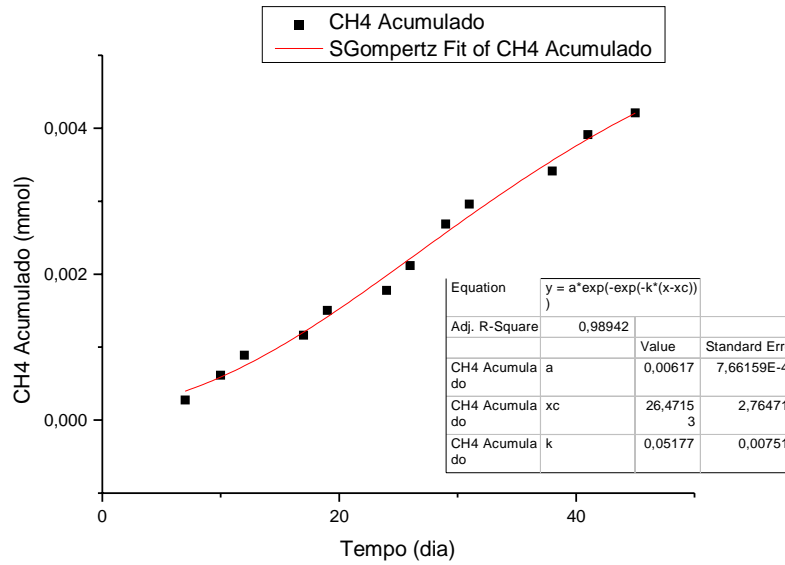
Após aplicar a Equação de Gompertz, foi possível determinar o dia em que os reatores obtiveram a maior taxa de produção metanogênica. Os resultados estão apresentados nas Figuras 11, 12 e 13.

Figura 11 - Estabilização do CH₄ em reatores com resíduo do maracujá in natura.



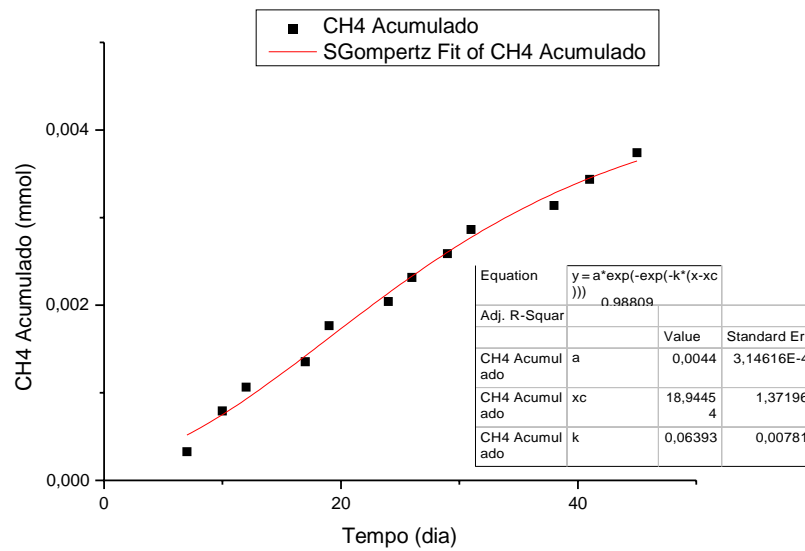
Fonte: Autor (2016).

Figura 12 - Estabilização do CH₄ em reatores com resíduo do maracujá tratado NaOH



Fonte: Autor (2016).

Figura 13 - Estabilização do CH₄ em reatores com resíduo do maracujá tratado ensilagem.



Fonte: Autor (2016).

Tabela 3 - Variáveis definidas a partir da equação de Gompertz.

	Maracujá <i>in natura</i>	Maracujá tratado	Maracujá ensilagem
R (equação SGompertz) ($Y=a*\exp(-\exp(-k*(x-xc)))$)	0,98942	0,98942	0,98809
a	0,00617	0,00617	0,004
xc	26,471	26,471	18,944
k	0,0518	0,0518	0,0639

Verificando os dados da Tabela 3, é possível observar que a produção de metano tende a se estabilizar em valores de 0,006 mmol para o resíduo do maracujá in natura e tratada com NaOH e em 0,004 para o resíduo do maracujá tratado por ensilagem. Isso é definido pelo parâmetro **a**, obtido na geração do gráfico a partir do modelo de Gompertz.

A data aproximada para a maior eficiência produtiva do CH₄, o vigésimo sexto dia (26,47) para os reatores com resíduo do maracujá in natura e para os reatores com maracujá tratado com hidróxido de sódio (NaOH). Comparando com estudo realizado por Ibrahim (2016), que avaliou a Biodigestão anaeróbia do bagaço da cana-de-açúcar utilizando excretas de frango como inóculo, observou como data aproximada para a maior eficiência produtiva do CH₄, o vigésimo quinto dia (25,327) para o bagaço de cana in natura e o vigésimo sexto dia (25,9281) para o bagaço de cana tratado com NaOH. Pode constatar a proximidade dos tempos de picos de ambos experimentos. Outro estudo utilizado como comparativo foi o realizado por Mafaciolli (2012), que avaliou a produção de biogás através do processo de digestão anaeróbia utilizando dejetos de aves de postura com suplementação de glicerina bruta, também foi observado que o tempo de pico encontrava-se próximo ao 26º dia, onde após esse tempo a produção começou a diminuir e cessou no 41º dia de experimento. Nota-se a correlação entre os experimentos, etendo mais uma vez tempos de pico aproximados indicando a máxima produção de CH₄.

Alguns conteúdos não digeríveis podem interferir no processo de digestão anaeróbia, sendo assim o pré tratamento do substrato pode favorecer o processo posterior de biodigestão. Foi verificado por xxx em pesquisas realizadas que o resíduo de maracujá submetido ao pré-tratamento alcalino com NaOH, a um a concentração de 5%, tem elevada solubilização da lignina, aumentando a eficiência do processo de digestão anaeróbia e conseqüentemente a produção de metano (CH₄). Outro estudo realizado por Siqueira (2015), também comprova a

eficiência do pré-tratamento do bagaço da cana-de-açúcar, utilizando NaOH a 5%, para a solubilização da lignina.

Segundo Mosier et al. (2005, apud OLIVEIRA, J. H. S. et al., 2015) é uma característica do tratamento alcalino a significativa remoção da fração de lignina e da hemicelulose. Segundo Gellerstedt (2009, apud IBRAHIM S. B. S., 2016), no meio alcalino as reações acabam favorecendo a solubilização, resultando assim, na despolimerização da lignina. Quando expostas a condições ácidas a condensação da lignina aumenta a sua massa molar e diminui sua solubilidade.

Comparando os experimentos que obtiveram os tempos de pico semelhantes, pode-se observar que apesar de possuírem tempos relativamente iguais, o reator com casaca de maracujá tratado com NaOH obteve um acúmulo maior de metano, do que o reator com o resíduo do maracujá in natura. Sendo assim, o experimento com o substrato tratado com NaOH apresentou melhor produtividade do que os demais, conseguindo obter um acúmulo de metano em um mesmo período de tempo. Isso reforça a ideia que a quebra da lignina pelo pré-tratamento alcalino com NaOH facilitou a digestão da matéria orgânica pelas bactérias presentes no processo. Além disso, a adição de NaOH proporcionou um meio mais básico, favorecendo o desenvolvimento dos microorganismos.

Em suma, verifica-se que a utilização dos resíduos do maracujá inoculado com excreta de aves e pré-tratado com hidróxido de sódio (NaOH) tem potencial para ser uma alternativa de produção de biogás, pois apresenta uma atividade metanogênica estável, um adequado desenvolvimento dos microorganismos e elevada eficiência na produção de metano.

4. CONCLUSÃO

O resíduo do maracujá submetido ao tratamento com Hidróxido de Sódio (NaOH), mostrou resultados mais eficientes quanto a produção de metano CH_4 , em comparação ao resíduo de maracujá in natura e o tratado com ensilagem. Obteve tempo de pico de produção de biogás semelhante ao resíduo de maracujá in natura, contudo apresentou uma quantidade de metano acumulado superior aos demais experimentos. Durante o período de teste de 60 dias foram verificados valores acumulados de metano para o resíduo de maracujá in natura, tratado com NaOH e tratado com ensilagem, respectivamente, 0,0042, 0,0063 e 0,0037 mmol.dia^{-1} . A solubilização da lignina devido ao tratamento com NaOH favoreceu a maior produção de biogás. O processo de tratamento com silagem não se mostrou o mais eficiente, levando em consideração que a ensilagem deixa o meio ácido, sendo a este não favorável ao desenvolvimento dos microrganismos, pois o pH básico é fundamental para um bom desenvolvimento da atividade metanogênica.

REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, S. R., Sousa, C. B., Almeida, F. A. C., Gomes, J. P. (2013). Caracterização físico-química das farinhas do pedúnculo do caju e da casca do maracujá. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.15, n.4, p.349-355.
- ALVAREZ, R., GUNNAR, L. Semi continuous co-digestion of solid slaughterhouse waste, manure, and fruit and vegetable waste. **Renewable Energy**, v.33, p.726-734, 2008.
- ALVES, B. J. R. Busca da Mitigação da Produção de Óxido Nitroso em Sistemas Agrícolas: Avaliação de Práticas Usadas na Produção de Grãos do Sul do País. In: ALVES, B. J. R., URQUIAGA, S., AITA, C., BODDEY, R. M., JANTALIA, C. P., CAMARGO, F.A.O. em *Manejo dos Sistemas Agrícolas: Impacto no Sequestro de Carbono e nas Emissões de GEE*. Genese. Porto Alegre, RS, p. 81-108. 2006.
- AQUINO, S. F., CHERNICHARO, C. A. L. Acúmulo de ácidos graxos voláteis (AGVs) em reatores anaeróbios sob estresse: causas estratégicas de controle. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p. 151-161, 2005.
- BARRERA, P. – *Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para zona rural*, 2003.
- BATISTA, L. F. **Manual técnico construção e operação de biodigestores**. Brasília, DF, (Manuais, 24), 1981.
- BELLI FILHO, P. **Stockage e odeurs des dejections animales, cas du lisier de porc**. 1995. 250 f. Tese de doutorado. Université de Rennes, France, 1995.
- BEN – Balanço Energético Nacional 2011: Ano base 2010/ Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2011.
- <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_final_BEN_2011.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2016.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Matriz energética Nacional 2030. Brasília: MME: EPE, 2007. Acesso em: 14 mar. 2016.

CAETANO, L. **Metodologia para estimativa da produção contínua de biogás em biodigestores modelo indiano**. Tese (Doutorado – Energia na Agricultura) – FCA/UNESP, 112p, Botucatu, 1991.

CARBOGÁS. Produção de CO₂ de grau alimentar. 2008. Disponível em: <http://www.carbogas.ind.br>. Acesso em: 15 mar. 2016.

CASSINI, T. S. Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Reatores Anaeróbios**. 2.ed. Belo Horizonte: Departamento de engenharia Sanitária e Ambiental, 379p. 2007.

CHERNICHARO, C. A. L. Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA/UFMG), 1997. 246p.

COELHO, S. T., et al. **Programa de uso racional de energia e fontes alternativas – PUREFA**. In: CONGRESSO INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - ICTR, 1, 2003, São Paulo. Biodigestor modelo UASB. São Paulo: SP, 2003. 20 p.

COELHO, S. T., VELAZQUEZ, S. M. S. G., SILVA, O. C. et al. Geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente do tratamento de esgoto.. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., 2006, Campinas. **Proceedings online...** Available <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000002006000100070&lng=en&nrm=abn>. Access on: 10 Aug. 2016.

COSTA, D. F., Geração de energia elétrica a partir de biogás de tratamento de esgoto. 2006. CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O.; **Biomassa para Energia**. Campinas: UNICAMP, 2008.

CORDARO, V. M., TOTTI, P., PECORA, V. Manual para Aproveitamento de Biogás. Vol. 1. Aterros Sanitários. ICLEI: Governos Locais para a Sustentabilidade. Secretaria para América Latina e caribe (LACS). São Paulo, SP, 2010, 82 p.

CUNHA R. G. T. Dejetos e biodigestores: da porcaria a luz (2006), Disponível em: <<http://www.partes.com.br/socioambiental/dejetos.asp>> Acesso em: 07 mai. 2016.

DEGANUTTI, R., PALHACI, M. 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=MSC0000000022002000100031&lng=pt&nrm=abn>. Acesso em: 10 abril. 2016.

DEUBLEIN, D., STEINHAUSER, A. Biogas from waste and renewable resources. Ed. Wiley-VCH, 2008.

DEMIRER, G. N., CHEN, S. Two-phase anaerobic digestion of unscreened dairy manure. **Process Biochemistry**, Irlanda, v.40, n.4, p.3542-3549, 2005.

EMBRAPA. **Anuário estatístico de suinocultura**. Concórdia: Embrapa-CNPSA, 2011. (Documentos, n. 146).

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Iniciando um pequeno grande negócio agroindustrial: polpa e suco de frutas/ Embrapa Agroindústria de Alimentos, Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – Brasília-DF, 123p., 2003.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE, 2014) Balanço Energético Nacional 2014 Relatório Síntese, ano base 2013. 54 p. Rio de Janeiro, RJ.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA, 2010). Aire y Radiación. Disponível em <http://epa.gov/climatechange/emissions/co2.htm>. Acesso em: 17 mai. 2016.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA, 2013). Methane and Nitrous Oxide Emissions from Natural Sources. Office of Atmospheric Programs. Pennsylvania Ave. Washington, USA. DC 20460.

FIGUEIREDO, N. J. V. de. **Utilização do biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica e iluminação a gás**: Estudo de caso. Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo-SP, 2007.

FONSECA, F. S. T; ARAÚJO, A. R. A.; HENDGES, T. L. Análise da viabilidade econômica de biodigestores na atividade suinícola na cidade de Balsas – MA: um estudo de caso. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 47, 2009, Porto Alegre, SOBER, 2009. Disponível em: < <http://www.sober.org.br/palestra/13/687.pdf>>. Acesso em: 15 març. 2016.

FRANÇA JUNIOR, A. T. **Análise do aproveitamento energético do biogás produzido numa estação de tratamento de esgoto**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 148p. 2008.

FRARE, L. M., GIMENES, M. L., PEREIRA, N. C. Processo para remoção de ácido sulfídrico de biogás. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental** Maringá, PR. v.14 n.2, p.167-172, 2009.

GERARDI, M. H. The Microbiology of Anaerobic Digesters. Nova Jersey: Wiley Interscience, 2003.

GRYSCHER, J.M.; BELO, F. R. – Produção e uso do gás metano na agricultura e agroindústria. 1983.

IBGE. Instituto Brasileiro Geográfico. Produção Agrícola Municipal. 2015. **Portal do IBGE**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acessado em: 18 de outubro de 2017.

IBRAF – Instituto Brasileiro de Frutas. Panorama da Cadeia Produtiva das Frutas. 2012 e Projeções para 2013. Setembro/2013.

ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade **Manual para aproveitamento do biogás: volume um, aterros sanitários**. Secretariado para América Latina e Caribe, São Paulo, 80p. 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Indicadores do IBGE, Estatística da Produção Pecuária. 4º Trimestre. 2012. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producaoagropecuaria/abate-leite-couro-ovos_201101_pub_completa.pdf> Acesso em: 15 mar. 2016.

INTERGOVERNMENT PANEL ON CLIMATE CHANGES (IPCC, 2013) Mudança Climática 2013: a Base da Ciência Física. Resumo para os Elaboradores de Política. Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Quinto Relatório de Avaliação (AR5) do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática. 33 p.

LAMAS, W. Q. **Análise termoeconômica aplicada a uma mini-estação de tratamento de esgoto com auto-suficiência energética**. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 135p. 2007.

LUCAS JR., J. **Estudo comparativo de biodigestores modelos indiano e chinês**. Botucatu, 1987. 114p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas do Campus de Botucatu – UNESP, 1987.

MACEDO, L. V. **Manual para aproveitamento do biogás**. V. 1. Governos Locais pela Sustentabilidade, Secretariado para América Latina e Caribe. São Paulo: ICLEI, 2009

MANACH, C.; SCALBERT, A.; MORAND, C.; RÉMÉSY, C.; JIMÉNEZ, L. Polyphenols: food sources and bioavailability. *American Journal of Clinical Nutrition*, v. 79, n. 5, p. 727-747, 2004.

MATA-ALVAREZ, J. 2003. Biomethanization of the organic fraction of municipal solid wastes. IWA Publishing, London, UK, p.21-62.

MATOS, A.T., Tratamento de resíduos Agroindustriais. Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2005.

MENDONÇA, E.F. **Tratamento anaeróbio de efluentes oriundos da bovinocultura de leite em biodigestor tubular**. 2009. 62p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Cascavel, 2009.

MENEZES, E. L. Fontes de energia alternativa no Brasil. Artigo Científico, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora /MG, 2007.

MORAES, L. M. **Avaliação da biodegradabilidade anaeróbia de lodos de esgotos provenientes de reatores anaeróbios sequenciais**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola – Área de Concentração de Água e Solo), Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2005.

MOSIER, N., WYMAN, C., DALE, B., ELANDER, R., LEE, Y.Y., HOLTZAPPEL, M., LADISCH, M., 2005. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technol.* 96(6), 673 – 686.

MUNIZ C. E. S., SANTIAGO A. M., GALDINO P. O., BRITO K. D., ALMEIDA M. M., NÓBREGA D. M. Estudo da estabilidade de resíduos Agroindustriais. XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos. FAURGS. Gramado – RS. 2016.

NIELSEN, J. B., AL SEADI, T., OLESKOWICZ-POPIEL, P. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. **Bioresource Technology**, n.100, p. 5478-5484, 2009

NOGUEIRA, L. A. H. Biodigestão, a alternativa energética. Editora Nobel, São Paulo, 93p.1992.

NOVAK, J. T., SADLER, M. E., Murthy, S. N. Mechanisms of floc destruction during anaerobic and aerobic digestion and the effect on conditioning and dewatering of biosolids. **Water Research**, v. 37, n.13, p. 3136-3144, 2003.

OLIVEIRA, J. H. S., ANDRADE, F. P., SILVA, C. E. F. Pré-tratamento alcalino de resíduo de maracujá visando à obtenção de etanol 2G. Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia. XX Simpósio Nacional de Bioprocessos. XI Simpósio de Hidrólise Enzimática de Biomassa. Fortaleza - CE. 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/300205456_pre-ratamento_alcalino_de_residuo_de_maracuja_visando_a_obtencao_de_etanol_2g.

OLIVEIRA, P. A. V. **Projeto de biodigestores e estimativa de produção de biogás em sistema de produção**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2005. 8p. (Embrapa Suínos e Aves. Comunicado Técnico, 417).

OLIVEIRA, P. A. V. HIGARASHI, M. M. **Geração e utilização de biogás em unidades de produção de suínos**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 2006. 42p. (EMBRAPA-CNPSA. Documentos, 115).

ORRICO, A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J. ORRICO JÚNIOR, M. A. P. Caracterização e biodigestão anaeróbia dos dejetos caprinos. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n.3, p.639-647, Jaboticabal, 2007.

OSÓRIO, F., TORRES, J. C. Biogas purification from anaerobic digestion in a wastewater treatment plant for biofuel production. **Renewable Energy**, v. 34, p. 2164-2171, 2009.

PARKIN, J. F., OWEN, W. Fundamentals of Anaerobic Digestion of Wastewater Sludge. **Journal Environ. Eng. Div. Amer. Soc. Civil Eng.**, n.122, p. 867-920, 1986.

PEÇANHA, C. R. A. Química e Chuva Ácida: Entendendo os Conceitos para Compreender o fenômeno (Apostila). 91 p. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia. Duque de Caxias. Rio de Janeiro, RJ, 2014.

PECORA, V. **Implementação de uma Unidade Demonstrativa de Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás de Tratamento do Esgoto Residencial da USP:**

estudo de caso. Dissertação (Mestrado – Programa Interunidades de Pós Graduação em Energia) – EP / FEA / IEE / IF da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

PELIZER, I. H.; PONTIERE, M. H.; MORAES, I. O. Utilização de resíduos agroindustriais em processos biotecnológicos como perspectiva de redução do impacto ambiental. *Journal of Tecnology Management & Innovation*, v.2, p.118-127, 2007.

REIS, J. dos; TIESENHAUSEN, I. M. E. V. von; PAIVA, P. C. A.; REZENDE, C. A. R.; SANTOS, M. A. S. Composição química e digestibilidade de silagens de resíduo de maracujá, de capim elefante “cameroon” e de suas misturas. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 30., Rio de Janeiro, 1993. Anais... Rio de Janeiro: SBZ, 1993. p. 483.

SAMULAK R., BITTENCOURT J. V. M., PILATTI L. A., KOVALESKI J. L. Biodigestor como opção para Tratamento de Resíduos Agroindustriais. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR. Ponta Grossa-PR. 2010.

SANTOS, T. M. B., LUCAS JÚNIOR, J., SILVA, F. M. Avaliação do desempenho de um aquecedor para aves adaptado para utilizar biogás como combustível. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal v. 27, n.3, p. 658-, 2007.

SANTOS, I. A., NOGUEIRA, L. A. H. Estudo Energético do Esterco Bovino: seu valor de substituição e impacto da biodigestão anaeróbia. **Revista Agroambiental**. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, MG, p. 41 – 49, 2012.

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio as Micro e Pequenas Empresas.2015. Disponível em: <http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-cultivo-e-o-mercado-so-maracujá/>. Acessado em: setembro de 2017.

SILVA, A. M. et al. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.12, p.1223-1230, dez. 2005.

SILVA, C. E. F. Avaliação do potencial de uso de resíduos do processamento de frutas na produção de etanol 2G. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Universidade Federal de Alagoas. Maceió-AL, 2014.

SILVA, P. B. Secagem de Resíduos de Frutas em secador Roto-Aerador. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG, 2014.

SIQUEIRA, G. A. Efeito da lignina de bagaços de cana-de-açúcar pré-tratados na hidrólise enzimática da celulose. 2015. 139p. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena – SP, 2015.

SOUZA, C. F., LUCAS JUNIOR, J., FERREIRA, W. P. M. Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos sob efeito de três temperaturas e dois níveis de agitação do substrato – considerações sobre a partida. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.2, p.530-539, maio/ago. 2005.

SOUZA, J. T., FORESTI, E. Domestic sewage treatment in a UASBSBR reactor system. III Taller y seminário Latino americano – Tratamiento anaerobio de águas residuais, Montevideo, Uruguai, 1994.

SOUZA, A., CLEMENTE, A. Decisões Financeiras e Análise de Investimento. São Paulo, Atlas: 2009.

SALOMON, K. R., LORA, E. E. Estimate of the electric energy generation potential for different sources of biogas in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, n. 33, p.1101-1107, 2009.

SANTOS, M. A. S. Valor nutritivo de silagens de resíduo de maracujá (*Passiflora edulis*, Deuser), ou em mistura com casca de café (*Coffea arábica*, L.), bagaço de cana (*Saccharum officinarum*, L.) e palha de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.) 1995. 56 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Lavras. Lavras.

TRZECIAK, M. B.; VINHOLES, P. DA S.A.; NEVES, M. B. DAS; LIMA, N. B.; VILLELA, F. A. Produção de Biodiesel no Brasil. XVII Congresso de Iniciação

Científica e X Encontro de Pós-Graduação. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, RS, 2008.

VAN HAANDEL, A. C. & LETTINGA, G. 1994. Tratamento anaeróbio de esgotos: manual para regiões de clima quente. Campina Grande: Epgraf, 210p.

WOLFE, K.; WU, X.; LIU, R.H. Antioxidant activity of apple peels. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v.53, p. 609-614, 2003.

WILKINSON, A. **Anaerobic Digestion of Corn Ethanol Thin Stillage for Biogas Production in Batch and by Down-flow Fixed Film Reactor**. Dissertação (Mestrado em Ciências Aplicadas a Engenharia Ambiental). 163 f. Ottawa-Carleton Institute for Environmental Engineering. Departamento de Engenharia Civil. Universidade de Ottawa. Canadá, 2011.

ZACHOW, C. R. **Biogás**. DeTec – Departamento de Tecnologia, UNIJUI – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi, 12 p. 2000.