



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - CECA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENERGIA DA BIOMASSA
THAÍSE EVILDA SARMENTO FERREIRA



PRODUÇÃO DE METANO A PARTIR DE RESÍDUOS DO BENEFICIAMENTO DA
ACEROLA

Rio Largo

2016

THAÍSE EVILDA SARMENTO FERREIRA

PRODUÇÃO DE METANO A PARTIR DE RESÍDUOS DO BENEFICIAMENTO DA
ACEROLA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Energia da Biomassa, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Energia da Biomassa.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Lucena Cavalcante de Amorim

Rio Largo, Maio de 2016

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecário Responsável: Valter dos Santos Andrade

F383p

Ferreira, Thaíse Evilda Sarmiento.

Produção de metano a partir de resíduos do beneficiamento da acerola /
Thaíse Evilda Sarmiento Ferreira. – 2016.
64 f. : il.

Orientador: Eduardo Lucena C. Amorim.

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, 2016.

Bibliografia: f. 58-63.

Anexo: f. 64.

1. Biogás. 2. Digestão anaeróbia. 3. Acerola - Resíduos. 4. Suíno –
Dejetos. 5. Ovino – Dejetos. I. Título.

CDU: 620.91:634.3

TERMO DE APROVAÇÃO

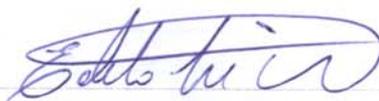
THAISE EVILDA SARMENTO FERREIRA

PRODUÇÃO DE METANO A PARTIR DE RESÍDUOS DO BENEFICIAMENTO DA ACEROLA

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 09/05/2016



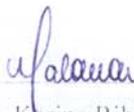
Prof. Dr. Eduardo Lucena Cavalcante de Amorim
Orientador (CTEC/UFAL)



Prof. Dr^a. Norma Cândida dos Santos Amorim
Membro (IFAL)



Prof. Dr. Elton Lima Santos
Membro (CECA-UFAL)



Prof^a. Dr^a. Karina Ribeiro Salomon
Membro(CTEC/UFAL)

Rio Largo – AL.

2016

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por todas as oportunidades e realizações na minha vida;

À minha mãe por estar sempre presente;

Ao meu irmão Diogo, pela ajuda nos ajustes de formatação na dissertação;

Ao João Paulo pela paciência e companheirismo;

Ao amigo de graduação, pós-graduação e da vida Ícaro Victor, por tudo que passamos nessa caminhada;

Ao Prof. Dr. Eduardo Lucena por todo o seu apoio, dedicação, paciência e inteligência;

Aos amigos de laboratório LSA, LTBA, PPGRHS e pós-graduação pela grande ajuda, Nadjane, Margarete, Norma e Elvan;

Aos colegas de curso do Mestrado em Energia da Biomassa;

Ao Centro de Ciências Agrárias – CECA, Ao Centro de Tecnologia CTEC e à Universidade Federal de Alagoas UFAL.

RESUMO

O Brasil e o mundo vêm passando por uma crise energética onde estão sempre buscando alternativas eficientes, limpas que acompanhem o crescimento econômico no decorrer dos anos. As energias renováveis estão ganhando seu espaço e reconhecimento em sua eficiência. A biomassa vem se mostrando uma alternativa de combustíveis sólidos, líquidos e gasosos, a partir de inúmeras matérias orgânicas. Este trabalho objetivou avaliar a produção de metano a partir de resíduos do beneficiamento da acerola, utilizando dejetos da ovinocultura e suinocultura como inóculos. O experimento foi dividido em duas etapas, com biodigestores experimentais de bancada com capacidade de 2L, com duração de 112 dias. Os tratamentos foram nomeados em T1, T2, T3 e T4 com três repetições e dois brancos (testemunha), na primeira etapa e na segunda etapa T1, T2 e T3 em duplicata, onde padronizou-se o inóculo a 10% e o substrato, resíduo da acerola, variando em T1 a 100%, T2 a 75%, T3 a 50% e T4 a 25% e na segunda etapa nos tratamentos T1 e T2 repetiu-se a concentração do substrato de acordo com a primeira fase, 100% e 50%, mudando apenas o inóculo, pelo de suíno, e mantendo a padronização a 10%, já no T3 saturou-se o substrato elevando a 300%. Na primeira fase o tratamento que atingiu maior pico de produção de metano e em menor tempo foi o Tratamento 1. Já na segunda o que atingiu maior produção de metano foi o Tratamento 3, e o que alcançou sua produção máxima em menor tempo foi o Tratamento 2. A análise dos dados observados foi através do software Origin e o modelo aplicado foi o de Gompertz. Foi possível concluir que os dejetos da suinocultura apresentam melhor desempenho em relação aos dejetos da ovinocultura, devido a um índice favorável a fermentação anaeróbia, produzindo assim maior quantidade de metano. E em relação ao substrato, concluiu-se que quanto mais concentrado, mais matéria orgânica as bactérias metanogênicas terão para degradar, mesmo levando mais tempo pra a degradação, produzirá mais metano.

Palavras-chave: Acerola; biogás; dejetos; digestão anaeróbia; ovino, substrato e suíno.

ABSTRACT

Brazil and the world have been going through an energy crisis in which there's a search for efficient alternatives, clean and that accompanying economic growth. Renewable energies are gaining over the years their space and recognition for its efficiency. Biomass has proved to be an alternative of solid, liquid and gaseous fuels from organic host materials. This study aimed to evaluate the production of methane from processing the waste of acerola, using manure of sheep breeding and pig farming as inoculants, in order to allocate appropriately the waste discarded in the environment. The experiment was divided into two stages, with experimental digesters bench with 2L capacity, lasting 112 days. The treatments were named T1, T2, T3 and T4 with three replications and two white (control), in the first stage and second stage T1, T2 and T3 in duplicate where we standardized inoculum 10% and the substrate, residue of acerola ranging T1 100%, T2 to 75% T3 50% and T4 25% in the second stage in T1 and T2 repeated the concentration of substrate according to the first stage, 100% and 50%, changing only the inoculum, the pig, and maintaining standardization to 10%, since the T3 saturated raising the substrate 300%. In the first phase of the treatment reached higher peak production of methane and shorter treatment was 1. In the second reaching the highest methane production was Treatment 3, and which reached their maximum production was shorter Treatment 2. Data analysis was observed by Origin software and the applied model was the Gompertz. It was concluded that the swine waste have better performance against the waste of sheep breeding, due to a favorable rate anaerobic fermentation, producing larger quantity of methane. And with respect to the substrate, it was concluded that the more the substrate, the more organic matter will methanogenic bacteria to degrade, taking even more time to degradation produce more methane.

Keywords: Acerola; Anaerobic digestion ; biogas; sheep ; substrate; swine and waste.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: MATRIZ ENERGÉTICA.....	17
FIGURA 2: ETAPAS DA DIGESTÃO ANAERÓBIA	18
FIGURA 3: ÁGUA RESIDUAL E DEJETOS DE GRANJA SUINÍCOLA.....	21
FIGURA 4: ACEROLA DESCARTADA.....	23
FIGURA 5: DEJETOS DE OVINO ACUMULADOS EM APRISCOS	24
FIGURA 6: FLUXOGRAMA EXPERIMENTAL	26
FIGURA 7: ESTERCO DE OVINO COM ÁGUA DESTILADA.....	28
FIGURA 8: RESÍDUO DA SUINOCULTURA ARMAZENADO EM BIODIGESTOR.....	28
FIGURA 9: RESÍDUO DA ACEROLA.....	29
FIGURA 10: MONTAGEM DOS REATORES	29
FIGURA 11: MONTAGEM DOS REATORES	29
FIGURA 12: REATORES DA PRIMEIRA ETAPA.....	30
FIGURA 13: REATORES DA PRIMEIRA ETAPA.....	30
FIGURA 14: REATORES DA SEGUNDA ETAPA.....	32
FIGURA 15: REATORES DA SEGUNDA ETAPA.....	32
FIGURA 16: CROMATÓGRAFO.....	33
FIGURA 17: SERINGA GASTIGHT.....	34
FIGURA 18: CONCENTRAÇÃO DA DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO) NOS REATORES ANAERÓBIOS DURANTE O EXPERIMENTO DA PRIMEIRA ETAPA.....	43
FIGURA 19: CONCENTRAÇÃO DA DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO) NOS REATORES ANAERÓBIOS DURANTE O EXPERIMENTO DA SEGUNDA ETAPA.....	44
FIGURA 20: GRÁFICO 1. MÁXIMA TAXA DE PRODUÇÃO DE METANO POR MMOL/L HEADSPACE DA PRIMEIRA FASE.....	47
FIGURA 21: GRÁFICO 2. RELACIONA A MÁXIMA TAXA DE PRODUÇÃO DE METANO POR MMOL/L HEADSPACE DE ACORDO COM CADA REATOR, SENDO POSSÍVEL OBSERVAR TAMBÉM O TEMPO EM DIAS, NA SEGUNDA ETAPA.....	49
FIGURA 22: GRÁFICO 3: GRÁFICO COMPARATIVO DE REATORES COM CONCENTRAÇÃO DE SUBSTRATO A 100% EM DIFERENTES INÓCULOS.....	50
FIGURA 23: GRÁFICO 4: GRÁFICO COMPARATIVO DE REATORES COM CONCENTRAÇÃO DE SUBSTRATO A 50% EM DIFERENTES INÓCULOS.....	51
FIGURA 24: GRÁFICO 5: CURVA SIGMOIDE DO REATOR T1 FASE 1.....	51
FIGURA 25: GRÁFICO 6: CURVA SIGMOIDE DO REATOR T2 FASE 1.....	52
FIGURA 26: GRÁFICO 7: CURVA SIGMOIDE DO REATOR T3 FASE 1.....	53
FIGURA 27: GRÁFICO 8: CURVA SIGMOIDE DO REATOR T4 FASE 1.....	53
FIGURA 28: GRÁFICO 9: CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE CH ₄ (MOL) AO LONGO DO TEMPO NO REATOR T1 FASE 2 COM AJUSTE LINEAR E PONTO DE INFLEXÃO.....	54
FIGURA 29: GRÁFICO 10: CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE CH ₄ (MOL) AO LONGO DO TEMPO NO REATOR T2 FASE 2 COM AJUSTE LINEAR E PONTO DE INFLEXÃO.....	54
FIGURA 30: GRÁFICO 11: CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE CH ₄ (MOL) AO LONGO DO TEMPO NO REATOR T3 FASE 2 COM AJUSTE LINEAR E PONTO DE INFLEXÃO.....	55

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS ANALISADOS E SEUS RESPECTIVOS RESULTADOS.	27
TABELA 2: PRIMEIRA ETAPA DO EXPERIMENTO	30
TABELA 3: MONTAGEM DA SEGUNDA ETAPA DO EXPERIMENTO.	32
TABELA 4: DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO DOS REATORES DA PRIMEIRA ETAPA.	36
TABELA 5: DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO DOS REATORES DA SEGUNDA ETAPA.	37
TABELA 6: SÓLIDOS TOTAIS, FIXOS E VOLÁTEIS DOS REATORES DA PRIMEIRA ETAPA.....	37
TABELA 7: SÓLIDOS TOTAIS, FIXOS E VOLÁTEIS DOS REATORES DA SEGUNDA ETAPA.....	38
TABELA 8: SOMA DOS RESÍDUOS QUADRADOS DOS AJUSTES NÃO-LINEARES.	41
TABELA 9: RESULTADOS DA AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA NOS SUBSTRATOS DOS REATORES DA PRIMEIRA ETAPA NO MOMENTO DE PARTIDA REACIONAL E FINALIZAÇÃO EXPERIMENTAL.	42
TABELA 10: APLICAÇÃO DOS DADOS DA 1A FASE NO ORIGIN.....	45
TABELA 11: APLICAÇÃO DOS DADOS DA 2A FASE NO ORIGIN.....	48
TABELA 12: COMPARAÇÃO ENTRE MESMAS CONCENTRAÇÕES DE SUBSTRATO E INÓCULOS DIFERENTES.....	50

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1: EQUAÇÃO X – EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO DOS ST	35
EQUAÇÃO 2: EQUAÇÃO Y – EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO DOS STV	35
EQUAÇÃO 3: EQUAÇÃO Z – EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO DOS STF	36
EQUAÇÃO 4: EQUAÇÃO DA RETA PARA CONCENTRAÇÃO X ÁREA CROMATOGRÁFICA DE CH ₄ ..	39
EQUAÇÃO 5: EQUAÇÃO DA RETA PARA CONCENTRAÇÃO X ÁREA CROMATOGRÁFICA DE CO ₂ ..	39
EQUAÇÃO 6: EQUAÇÃO DE CONVERSÃO DO VOLUME DA AMOSTRA PARA O HEADSPACE.....	39
EQUAÇÃO 7: EQUAÇÃO GERAL DOS GASES.....	40
EQUAÇÃO 8: EQUAÇÃO DO AJUSTE LINEAR DE GOMPERTZ DO TRATAMENTO 1 – 1ª FASE	41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS	16
2.1	Geral	16
2.2	Específicos	16
3	REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1	Matriz energética	17
3.2	Digestão anaeróbica.....	18
3.3	Biodigestores.....	19
3.4	Dejetos da suinocultura.....	20
3.5	Biogás	21
3.6	Acerola.....	22
3.7	Ovino-caprinocultura.....	24
4	METODOLOGIA.....	26
4.1	Caracterização dos Resíduos.....	26
4.2	Inóculos.....	27
4.3	Substrato	28
4.4	Reatores: Montagem dos reatores	29
4.5	Experimento	33
4.6	Análises finais	34
4.6.1	Demanda Química de Oxigênio – DQO (APHA, 1999)	34
4.6.2	Sólidos Totais – ST (ALPHA, 1999).....	35
4.6.3	Sólidos Totais Voláteis – STV (ALPHA, 1999)	35
4.6.4	Sólidos Totais Fixos – STF (ALPHA, 1999).....	36
4.6.2	Curvas de determinação do metano e dióxido de carbono	38
4.6.3	Cálculo para determinação do metano.....	39
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1	Análises físico-químicas	42
5.2	Produção de Metano	45
5.3	Comparação entre mesmas concentrações de substrato e inóculos diferentes	49
5.4	Produção de Metano (CH ₄).....	51
6	CONCLUSÕES.....	56

REFERÊNCIAS	57
ANEXOS.....	63

1 INTRODUÇÃO

O mundo se encontra diante de uma grave situação para seu suprimento sustentável de energia, este problema tem um número reduzido de soluções, principalmente no que tange aos combustíveis fósseis. Cada país deverá concentrar esforços de imediato para que ele possa dispor da maior flexibilidade possível de opções no campo energético. Para tal, é essencial inverter o atual quadro de consumo, dependente de poucas fontes energéticas em fase de esgotamento, para uma estrutura de consumo na qual seja utilizado um maior número de alternativas, principalmente para os países em desenvolvimento como o Brasil, é que surge a biomassa, que por ser renovável constitui a mais promissora fonte alternativa para uma situação de suprimento energético que só tende a se agravar.

A partir da biomassa podem ser produzidos combustíveis sólidos, líquidos e gasosos. Independente da forma e da fonte de energia utilizada, tem se mostrado, ao longo de décadas, um dos determinantes fatores de desenvolvimento econômico e social dos países industrializados e, por extensão, se tornando igualmente determinante em muitos aspectos da vida econômica e social no contexto atual (Couto et al., 2004).

Hoje em dia tanto em residências quanto empresas, restaurantes, dentre outros estabelecimentos, geram inúmeros resíduos, tanto inorgânicos quanto orgânicos. Resíduos inorgânicos (papéis, vidros, plásticos), muitos são reaproveitados e reciclados evitando assim acúmulo no meio ambiente. Já os resíduos orgânicos (carnes, vegetais, frutos, cascas, sementes), podem ser reaproveitados de inúmeras maneiras, pois esse tipo de resíduo pode ser usado para a produção de energia, o biogás, devido ao processo de decomposição da matéria orgânica na ausência do oxigênio, gerando assim metano e o gás carbônico.

A acerola ou cereja das Antilhas (*Malpighia glabra* L.) é originária da América tropical, sendo amplamente cultivada nas regiões Nordeste e Sudeste do Brasil. Os elevados teores de vitamina C, ou ácido ascórbico, naturalmente encontrados neste fruto, tem favorecido a ampliação de oportunidades para o seu cultivo, processamento e comercialização (Agostini Costa, 2003). O processamento de frutas pelas indústrias geram grandes quantidades de resíduos, que podem ser perfeitamente utilizados no desenvolvimento de novos produtos alimentícios, aumentando seu valor agregado (Oliveira et al., 2002). Sabe-se que durante o processamento de alguns frutos ocorrem perdas de ácido ascórbico, variando de acordo com o processo e equipamentos utilizados (Matsuura e Rolim, 2002). No entanto, mesmo após o

processamento da acerola, os produtos gerados retêm um alto conteúdo desta vitamina (Semensato, 1997).

A indústria de beneficiamento de frutas gera um elevado volume de resíduos, os quais são constituídos de cascas, sementes e bagaços, que por apresentarem um elevado teor de açúcares estão muito susceptíveis ao desencadeamento de processos fermentativos. A destinação final inadequada desses resíduos pode gerar impactos ambientais, dentre eles mau cheiro nos locais de descarga e atração de insetos e animais (Souza e Sandi, 2001). Boa parte do resíduo gerado é descartado, sendo apenas uma parte doada para pequenos criadores de gado nas proximidades de indústrias (Silva, 2002). De acordo com (Ruggiero, 1996) um dos objetivos da indústria de alimentos é encontrar formas de aproveitamento para os seus resíduos, transformando-os em benefícios financeiros e minimizando impactos ambientais. Além das indústrias de alimentos outras atividades, como produção animal, também incrementam a economia e podem gerar impactos ambientais negativos.

A produção de animais têm sofrido grandes modificações nas últimas décadas, passando de um sistema de criação extensivo para um modelo intensivo de confinamento. O sistema de produção de animais confinados SPACs visa principalmente reduzir os custos de produção e aumentar a eficiência do processo. O Brasil tem se destacado internacionalmente nesse contexto, aumentando suas exportações e gerando divisas para o país. No entanto, os problemas ambientais também têm se intensificado, em função de resíduos gerados diante deste tipo de confinamento, criando-se a necessidade de alternativas que permitam minimizar o problema e, na medida do possível, agregar algum valor aos resíduos dos SPACs. Assim, a geração e utilização de biogás apresenta-se como uma alternativa interessante para contribuir na mitigação desses impactos ambientais.

A produção de pequenos ruminantes, associada a técnicas de tratamento e reciclagem dos resíduos gerados na atividade, representa alternativa viável em termos ambientais e econômicos, sobretudo para pequenos produtores ou em áreas reduzidas. Para (El Aich e Waterhouse, 1999) a criação de ovinos e caprinos justifica-se pela elevada capacidade de adaptação desses animais, sobretudo dos caprinos, em locais como regiões de estepe, de rochas, declives ou mesmo consideradas pobres e, portanto, desprezadas para agricultura.

O suprimento mais importante de nutrientes para as pastagens provém das excreções dos animais, na forma de esterco e de urina (Haynes e Williams, 1999). Uma única excreção equivale a 1.200 g de esterco e 200mL de urina, retornando 3,4–3,6 e 0,3–1,4 %, respectivamente, do Nitrogênio consumido diariamente por ovinos (Allen et al., 1996). Os

excrementos de ovinos apresentam baixa relação C:N, permitindo rápida mineralização e, ou, mantendo a disponibilidade dos nutrientes no solo. Esses materiais acumulam-se no solo, aumentando a quantidade de matéria orgânica e estimulando o metabolismo microbiano (Carran e Theobald, 2000). Com o aumento da disponibilidade de substratos orgânicos e nutrientes, a atividade das enzimas protease, desaminase e urease e o C da biomassa microbiana foram estimulados (Cameron 1999 e Bol et al. 2003). Contudo, o impacto da taxa de lotação de ovinos nos microrganismos e de suas atividades não tem sido devidamente estudado no solo sob pastos.

A suinocultura brasileira está bem consolidada, e podemos identificar isso devido ao país ser o 4º maior produtor e exportador de carne suína no âmbito mundial. O rebanho é estimado em 2,4 milhões de matrizes, e com uma cadeia produtiva reunindo em torno de 50 mil produtores. Tem se observado expansão na atividade, conseqüentemente, deve-se ter cada vez mais interesse na destinação correta dos dejetos e resíduos produzidos pelo rebanho que possuímos em todo o nosso país (Revista Agropecuária 2013).

De acordo com (Oliveira e Nunes, 2005) a expansão da suinocultura, proporciona características de grande concentração de animais por área, assim observam-se conseqüências como risco de poluição hídrica com presença de alta carga orgânica, e também presença de coliformes fecais que são microrganismos oriundos dos dejetos, e todos esses fatores associados a outros problemas de resíduos domésticos e industriais, levam a grandes conseqüências como a destruição dos recursos naturais renováveis, especialmente a água.

A suinocultura é considerada pelos órgãos de controle ambiental a atividade agropecuária que ocasiona maior impacto ambiental (Rizzoni, 2012). Em termos comparativos, a geração de dejetos suínos correspondem a 1:4 o equivalente populacional humano, exemplificando, podemos considerar que uma criação com mil animais em terminação é semelhante a uma cidade de 4 mil habitantes (Schultz, 2007). Os dejetos suínos são constituídos por fezes, urina, água desperdiçada pelos bebedouros e de higienização, resíduos de ração, pêlos, poeiras e outros materiais decorrentes do processo criatório (Rizzoni 2012).

Ainda, de acordo com (Oliveira e Nunes, 2005) certificam que para a sobrevivência das zonas de produção intensiva de suínos, é preciso encontrar sistemas alternativos que reduzem a emissão de odores, gases nocivos e riscos de poluição das fontes de água. E isso torna-se um desafio para os produtores da atualidade, pois terão que se adequar às exigências da sustentabilidade ambiental, social e econômica.

De acordo com (IPCC, 1995) a produção de metano a partir dos dejetos animais em condição anaeróbia, tem a capacidade de gerar grande volume do gás metano, em números pode-se dizer que as emissões globais provenientes dessa fonte, são estimadas em cerca de 25 milhões de toneladas por ano, o que corresponde a 7% das emissões totais do metano.

Este trabalho objetivou testar resíduos de acerola, dejetos da suinocultura e dejetos da ovinocultura ,que posteriormente seriam descartados no meio ambiente, para a produção de biogás.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

- O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial da produção de metano a partir dos resíduos do beneficiamento da acerola, utilizando como inóculo os dejetos da suinocultura e ovinocultura.

2.2 Específicos

- Avaliar a produção de metano utilizando dejetos da ovinocultura como inóculo;
- Avaliar a produção de metano utilizando dejetos da suinocultura como inóculo;
- Avaliar a influência das concentrações do substrato da acerola para a produção de metano.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Matriz energética

A biomassa representa a quarta fonte de energia em nível global e constitui o principal combustível para 75% da população mundial. No contexto energético satisfaz hoje 14% da demanda energética mundial, com uma significativa participação na matriz energética dos países subdesenvolvidos. O Brasil, o contexto da geração de energia a partir de fontes renováveis, ocupa atualmente uma posição de destaque no cenário mundial, ao produzir 95% de sua energia hidráulica e ter 30% do consumo local de energia de base a partir de elementos bióticos, ou seja, a biomassa (Pnud, 2003). Na figura 1 podemos observar o aumento da participação das energias renováveis nos anos de 2013 e 2014 de acordo com o Balanço Energético Nacional do Brasil.

Matriz Elétrica Brasileira

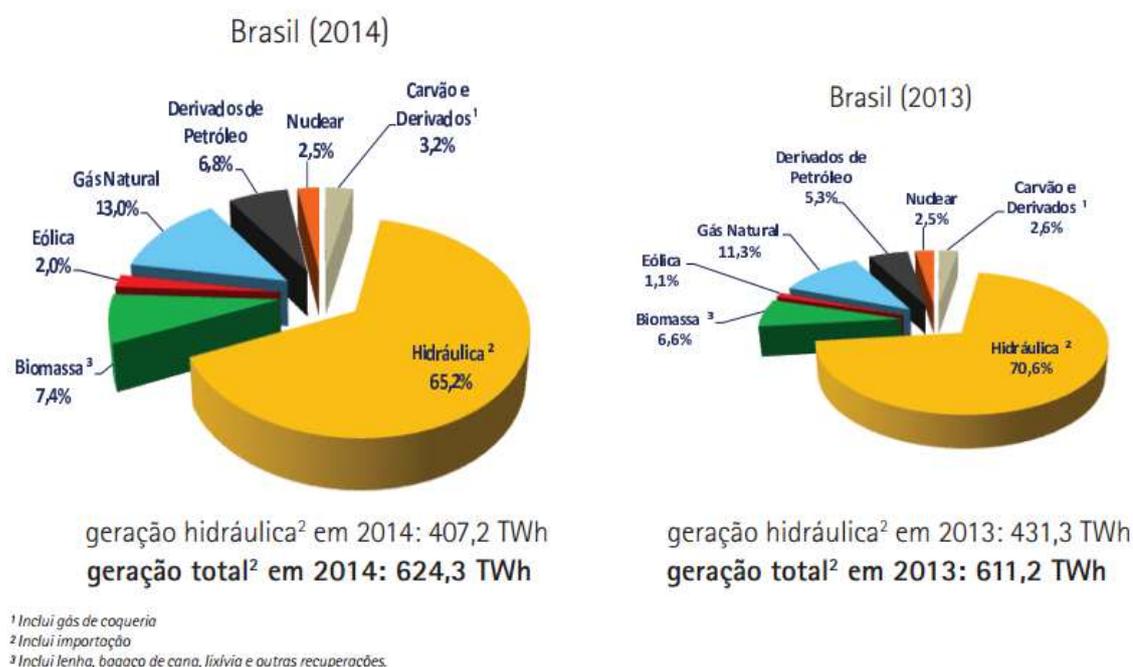


Figura 1: Matriz energética

Fonte: Balanço energético Nacional.

3.2 Digestão anaeróbica

A digestão anaeróbica é um processo conhecido há muito tempo e seu emprego para a produção de biogás para a conversão em energia de cozimento, iluminação e como biofertilizante é muito popular nos países asiáticos, a exemplo da China e Índia.

O interesse pelo biogás, no Brasil, intensificou-se nas décadas de 1970 e 1980, especialmente entre os suinocultores. Programas oficiais estimularam a implantação de muitos biodigestores focados, principalmente, na geração de energia e na produção biofertilizante e diminuição do impacto ambiental. O objetivo dos programas governamentais era reduzir a dependência das pequenas propriedades rurais na aquisição de adubos químicos e de energia térmica para os diversos usos (cozimento, aquecimento, iluminação e refrigeração), bem como reduzir a poluição causada pelos dejetos animais e aumentar a renda dos criadores (Iclei, 2009).

A digestão anaeróbica é um dos vários processos existentes para tratamento dos resíduos animais e representam um método bastante atrativo, pois promovem a geração do biogás, como fonte de energia alternativa, e do biofertilizante (Augenstein et al., 1994 e Saha, 1994). Além disso, a prática contribui para o saneamento, reduzindo o número de patógenos no produto final. Na Figura 2 podemos acompanhar as fases da digestão anaeróbica.



Figura 2: Etapas da Digestão Anaeróbica

Fonte: IPCC, 2011

A digestão anaeróbia, ou fermentação metanogênica, é produzida por grupos de bactérias fermentativas hidrolíticas (1ª fase), bactérias fermentativas acidogênicas (2ª fase), bactérias acetogênicas e pelas *Archaeas* metanogênicas (4ª fase), as quais são as responsáveis pela produção de metano (Barreto e Campos, 2009). De acordo com (Luste et al, 2009), esse processo oferece diversas vantagens, como a minimização da quantidade de efluentes orgânicos lançados no ambiente e da emissão de gases e seus materiais oriundos da degradação incontrolada e, ainda, a produção de biogás, com teor de metano de 50 a 70%, que pode ser usado como eletricidade, fonte de calor e, também, combustível veicular.

O mecanismo de decomposição anaeróbia se desenvolve pela ação de um consórcio de microrganismos, em que um dos produtos finais da degradação é o metano. O biogás, produto da degradação anaeróbica, é composto majoritariamente por metano (50%–70%) e CO₂. Esse gás pode ser coletado dos sistemas de degradação anaeróbica e utilizado como combustível (geração de calor ou energia). Os sistemas mais representativos para tratamento de dejetos animais via degradação anaeróbica são os biodigestores. Os biodigestores são sistemas fechados de degradação anaeróbica em que os gases produzidos são coletados e armazenados em compartimentos chamados gasômetros para posterior utilização ou simples queima. Vários modelos de biodigestores têm sido desenvolvidos e adaptados para se buscar um aumento da eficiência desses sistemas aliado a uma redução de custos dos equipamentos (Júnior, 2009).

3.3 Biodigestores

Biodigestores são estruturas projetadas e construídas de modo a produzir a degradação da biomassa residual sem que haja qualquer tipo de contato com o ar. Isso proporciona condições para que alguns tipos especializados de bactérias, passem a predominar no meio e, com isso, provoquem uma degradação mais acelerada da matéria (Júnior, 2009). Devido à ação de microrganismos, a decomposição da matéria causa um gás chamado Biogás, que fica armazenado na área livre da cúpula do biodigestor; nesse caso, transformado em gasômetro ou com função de acumulação do gás no gasômetro. Após essa transformação, o biogás é canalizado e pode ser utilizado para diversos usos: Processos de aquecimento ou resfriamento e geração de energia elétrica da qual utilize esse combustível (Júnior, 2009).

Existem vários tipos de biodigestores, mas, em geral, todos são compostos, basicamente, de duas partes: um recipiente (tanque) para abrigar e permitir a digestão da biomassa, e o gasômetro (campânula), para armazenar o biogás. Dentro do biodigestor em

total ausência de oxigênio e luz, as bactérias anaeróbias digerem a biomassa, sendo essa digestão ou fermentação, constituída de 3 etapas.

Na etapa 1 (ou etapa sólida), substâncias como carboidratos, lipídios e proteínas são atacadas por bactérias fermentativas comuns para a produção de ácidos graxos, glicose e aminoácidos. Na etapa 2 (ou etapa líquida), as substâncias formadas anteriormente são atacadas pelas bactérias acetogênicas e bactérias acidogênicas, formando ácidos orgânicos, principalmente, o propiônico e o acético, ainda formando o dióxido de carbono, acetatos e H₂. E na etapa 3 (ou etapa gasosa), as bactérias metanogênicas atuam sobre os ácidos orgânicos para produzir biogás, sendo esse formado principalmente por metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂) (Farret, 1999).

3.4 Dejetos da suinocultura

A expansão da atividade suinícola no país e o incremento tecnológico nos sistemas de produção, tem resultado em aumento na geração de dejetos os quais são, muitas vezes, lançados em rios, mananciais e nos solos. Devido à adoção de sistemas confinados de produção de suínos, grandes quantidades de dejetos são produzidas. Valores compreendidos entre 5,7 e 7,6L por suíno por dia são constatados para suínos em faixa de peso de 57 a 97 kg; este volume de dejetos produzidos pode situar-se entre 10 e 8% da massa do animal (Sevrin Reyssac et al., 1995).

Dejetos gerados de suinoculturas apresentam elevado potencial de poluição mas, por outro lado, podem ser uma alternativa energética como fertilizante e, também, como alimento para outras espécies (Oliveira, 1993). Quando bem escolhido e conduzido, o manejo adotado permite o aproveitamento integral dos dejetos, dentro das condições estabelecidas em cada propriedade. Como podemos vê, na figura 3 um tratador coleta os resíduos da granja, gerando assim uma água residual de uma granja suinícola.



Figura 3: Água residual e dejetos de granja suinícola.

Fonte <http://www.portalsuinoeaves.com.br/>

3.5 Biogás

O biogás, conhecido como o gás dos pântanos, foi descoberto por Shirley em 1667 e é produzido por fenômenos naturais existentes em várias partes do planeta, como em pântanos, oceanos e água doce e por fontes antropogênicas, como em plantações de arroz alagado, tratamento de efluentes, aterro sanitário, etc. (Cassini, 2003). Segundo (Metcalf e Eddy, 2003), o biogás é composto, na sua maior parte, de metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), contendo, ainda, traços de vapor de água (H_2O vapor), gás sulfídrico (H_2S), nitrogênio (N_2), oxigênio (O_2), hidrogênio (H_2), monóxido de carbono (CO), amônia (NH_3), mercaptanas (álcool de enxofre) e outros gases.

Biogás é um combustível de alta qualidade, pois com teor de metano ao redor de 60% possui um valor cerca de 6 kWh/m³, segundo (Gubler, 2006) e (Robra, 2006). O biogás pode ser usado de várias maneiras e com alta eficiência, principalmente para geração de energia no cozimento, no aquecimento de água, secagem e arrefecimento (Gubler, 2006).

Após a produção do biogás, a biomassa fermentada deixa sob a forma líquida, rica em material orgânico (húmus), o biofertilizante que, se aplicado ao solo, melhora as qualidades físicas, químicas e biológicas deste. A principal razão para a grande capacidade de fertilização do biofertilizante se encontra no fato da digestão da biomassa (no interior do biodigestor) diminuir drasticamente o teor de carbono presente na mesma.

A geração de biogás a partir de resíduos animais é dependente, além da temperatura, pH, alcalinidade e do manejo adotado no SPAC, também da própria característica do resíduo,

que é o substrato para o crescimento dos microrganismos no biodigestor. Essa diferença na capacidade de geração de biogás está associada a vários fatores, como dieta dos animais e sistema digestivo, que fazem com que sejam produzidos resíduos de características distintas com potencialidades distintas na produção de biogás (Oliveira, 2005).

3.6 Acerola

A acerola *Malpighia emarginata* D.C., pelo seu inegável potencial como fonte natural de vitamina C e sua grande capacidade de aproveitamento industrial, têm atraído o interesse dos fruticultores e passou a ter importância econômica em várias regiões do Brasil (Nogueira et al., 2002). O Brasil é o maior produtor, consumidor e exportador de acerola no mundo (Carvalho, 2000). Existem plantios comerciais em praticamente todos os estados brasileiros (Alves, 1996). Contudo, é na região nordestina, por suas condições de solo e clima, onde a acerola se adapta melhor (Paiva et al., 1999).

As indústrias processadoras de frutas tropicais processam, no Brasil, cerca de 34,40 mil toneladas de acerolas por ano, o que equivale a 7,16% do total de frutas processadas por estas empresas. As acerolas processadas geram, aproximadamente, 18 mil toneladas de sucos e polpas por ano, concentrando-se esta produção na região nordeste (Astn e Apex, 2001).

A acerola apresenta potencial para industrialização, uma vez que pode ser consumida sob forma de compotas, geléias, utilizada no enriquecimento de sucos e de alimentos dietéticos, na forma de alimentos nutracêuticos, como comprimidos ou cápsulas, empregados como suplemento alimentar, chás, bebidas para esportistas, barras nutritivas e iogurtes (Carpentieri Pípolo et al., 2002). Para uso doméstico, geralmente é consumida ao natural e na forma de sucos, geléias e doces de massa (Ritzinger e Ritzinger, 2004).

Dentre as características físicas, químicas e físico-químicas da acerola, o fruto da aceroleira, é uma drupa, carnosa, variando na forma, tamanho e peso. Nela, o epicarpo (casca externa) é uma película fina; o mesocarpo é a polpa e o endocarpo é constituído por três caroços unidos, com textura pergaminácea, que dão ao fruto o aspecto trilobado. Cada caroço pode conter no seu interior uma semente, com 3 a 5 mm de comprimento, de forma ovóide e com dois cotilédones (Almeida et al., 2002).

A composição química, inclusive a distribuição de componentes do aroma, é dependente das espécies, condições ambientais e, também, do estágio de maturação da fruta (Vendramini e Trugo, 2000). O teor de vitamina C e outras características atribuídas à

qualidade da acerola, tais como coloração, peso e tamanho dos frutos, teor de sólidos solúveis e pH do suco, além de serem afetadas pela desuniformidade genética dos pomares, sofrem influência de vários outros fatores, como precipitações pluviais, temperatura, altitude, adubação, irrigação e a ocorrência de pragas e doenças (Nogueira et al., 2002).

A acerola é um fruto climatérico, com elevado pico da taxa respiratória ($900 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1}\text{h}$), mas com uma baixa taxa no pico de produção de etileno ($3 \mu\text{L C}_2\text{H}_4\text{kg}^{-1}\text{h}$) (Carrington e King, 2002). Segundo (Araújo, 1994) a acerola sofre alterações rapidamente após a colheita na cor, aroma, sabor e textura.

Uma alternativa que vem ganhando corpo desde o início da década de 1970 consiste no aproveitamento de resíduos (principalmente cascas) de certas frutas como matéria-prima para a produção de alguns alimentos perfeitamente passíveis de serem incluídos na alimentação humana. Trata-se de uma proposta plausível, concreta, visto que esses resíduos representam extraordinária fonte de materiais considerados estratégicos para algumas indústrias brasileiras. Na figura 4, a acerola é descartada e acumulada para uma destinação final.



Figura 4: Acerola descartada.

Fonte: Dados da Pesquisa 2015

A acerola é um fruto tropical de grande potencial econômico e nutricional, devido, principalmente, ao seu alto conteúdo de vitamina C, que associada aos carotenóides e antocianinas presentes, destacam esse fruto no campo dos alimentos funcionais. Além disso, pode-se destacar, ainda, o seu fácil cultivo, o sabor e aroma agradáveis e a grande capacidade de aproveitamento industrial, que viabiliza a elaboração de vários produtos ao mesmo tempo em que promove a geração de empregos.

3.7 Ovino-caprinocultura

O semiárido brasileiro ocupa área de aproximadamente 900.000 km², cerca de 10% do território do País. Neste contexto, a ovino caprinocultura é uma das alternativas socioeconômicas mais importantes, com destaque para a agricultura familiar. Um grave problema enfrentado pelos agricultores familiares é a escassez de fontes energéticas para fins produtivos, cocção, resfriamento, aquecimento e iluminação. Os ovinos, tendem a acumular muitos dejetos, como podemos observar na Figura 5.



Figura 5: Dejetos de ovino acumulados em apriscos

Fonte: Globo rural <http://globoplay.globo.com/v/4362292/>

O manejo inadequado dos dejetos é outro grave impasse atuando frequentemente como vetor de doenças e contaminando a água e o solo. Os problemas epidemiológicos constatados no meio rural estão relacionados com os agentes causadores de infecções dentro das propriedades; portanto, a prevenção dos fatores que contribuem para sua ocorrência protege os animais contra o risco de infecções e o público, contra zoonoses ou outros riscos sanitários provocados pelo lançamento de resíduos no ambiente (Oliveira, 1997).

A utilização de biodigestores contribui para integração e sustentabilidade das atividades agropecuárias aproveitando o dejetos ao qual, normalmente, é dado pouco ou mesmo nenhum valor comercial, convertendo-o em duas grandes fontes de desenvolvimento: em energia e adubo. Para cocção, o biogás é o combustível mais limpo de todos, seguido do GLP e querosene em fogão pressurizado, conforme a escada energética (Sanga, 2004). O biogás e o biofertilizante permitem aumento da produção agrícola e a transformação dos produtos tradicionais rurais, agregando valor, organizando a produção, aumentando a conservação dos produtos e melhorando a logística de comercialização para os agricultores familiares.

4 METODOLOGIA

O experimento foi realizado no Centro de Tecnologia (CTEC) da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, situado no Campus A.C. Simões. Foi dividido em duas etapas, com biodigestores experimentais de bancada, com duração de 112 dias. Os tratamentos foram nomeados em T1, T2, T3 e T4 com três repetições e dois brancos (testemunha), na primeira etapa e na segunda etapa T1, T2 e T3 em duplicata. No fluxograma a seguir pode-se acompanhar o passo a passo da metodologia do experimento.

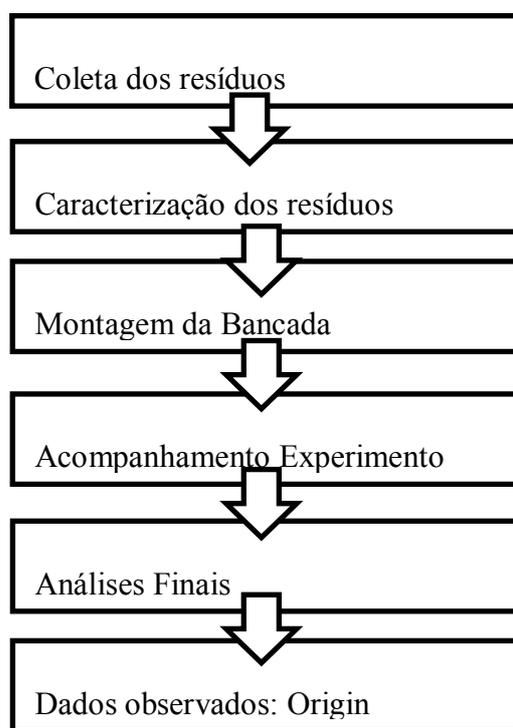


Figura 6: Fluxograma experimental

Fonte: Dados da pesquisa 2015

4.1 Caracterização dos Resíduos

Antes da montagem do experimento foram realizadas as caracterizações dos resíduos. As caracterizações foram realizadas nos resíduos da acerola, de ovinos e suínos. As análises realizadas foram: a obtenção de matéria seca, acidez, sólido solúvel, brix, AR DNS, ART, cinzas, teste de umidade, fibra bruta, DQO (Apha, 1999), proteína total, fósforo e sólidos totais, fixos e voláteis.

Para caracterização dos resíduos de acerola e dejetos de ovinos, por se tratarem de resíduos sólidos, adotou-se uma solução contendo 2g do resíduo em 50mL de água destilada, para as análises de matéria seca, pH, sólido solúvel, brix, ART, AR DNS, cinzas, umidade, fibra bruta, proteína total. Na determinação da matéria seca, os resíduos passaram 24h em uma estufa a 105°C. Já nas análises de DQO foram utilizados 3g das amostras diluídos em 100mL de água destilada. Na DQO dos resíduos da acerola a diluição foi feita de 1:50, DQO nos dejetos de ovino a diluição aplicada foi de 1:100 e na DQO dos dejetos de suinocultura 1:25.

A Tabela 1 Apresenta os métodos da caracterização dos resíduos analisados.

PARÂMETROS	MÉTODOS
Matéria Seca	Gravimétrico
Acidez	IAL 310/IV
DQO	Standard Methods (Apha 1999)
Sólido Solúvel Brix	Refratrometria
AR DNS	Leitura Absorvância Regular 540nm
Cinzas	IAL 018/IV
Umidade	IAL 012/IV
% Fibra Bruta	Hennemberg 1864
Proteína Total	Kjeldahl
Fósforo	Standard Methods (Apha 1999)
Sólidos Totais Fixos e Voláteis	Standard Methods (Apha 1999)

Tabela 1. Caracterização dos resíduos analisados

Fonte: Dados da pesquisa 2015.

4.2 Inóculos

Os dejetos dos ovinos, utilizados como fonte de inóculo do experimento, foram coletados no aprisco do Centro de Ciências Agrárias da UFAL situado na BR 104 Rio Largo - AL, onde são criados cerca de 60 ovinos em diferentes fases produtivas. Os ovinos têm como

base de alimentação pastagem e suplementação diária (resíduos de panificação, milho, soja, sais minerais) em torno de 300g por animal.



Figura 7: Esterco de ovino com água destilada.

Fonte: Dados da pesquisa 2015.

O resíduo de suinocultura, foi coletado no tanque de armazenamento de resíduos do Biodigestor em funcionamento situado no Centro de Ciências Agrárias da UFAL, BR 104 Rio Largo – AL, onde é alimentado com resíduos da granja suinícola. Na figura 7 mostra o biodigestor localizado no Centro de Ciências Agrárias.



Figura 8: Resíduo da suinocultura armazenado em biodigestor.

Fonte: Dados da pesquisa 2015.

4.3 Substrato

O substrato utilizado nos experimentos foram os resíduos descartados do beneficiamento da acerola, que foi coletado no município de Capela, localizado na Zona da

Mata de Alagoas, que fica a 63 km da capital alagoana na fazenda Palmares. A plantação de acerola ocupa área de um hectare que produz em média de 15 a 20 caixas de acerola por semana, cada caixa contém em torno de 10 kg, onde parte da produção é vendida na feira da cidade e a outra parte quando está bastante madura é produzida a polpa da fruta também para a comercialização. Gerando assim, resíduos da fruta, sem uma destinação final adequada e reaproveitada, como podemos vê na figura 9.



Figura 9: Resíduo da acerola.

Fonte: Dados da pesquisa.

4.4 Reatores: Montagem dos reatores

Os experimentos foram montados no laboratório de saneamento ambiental (LSA) da UFAL. Para montagem dos experimentos foi necessário triturar e homogeneizar o esterco e o resíduo da acerola, conforme Figuras 9 e 10.



Figura 10: Montagem dos reatores



Figura 11: Montagem dos reatores

Fonte: Dados da pesquisa 2015.

Na primeira etapa foram utilizados 14 biodigestores experimentais de bancada, modelo batelada, a partir de garrafas pet descartáveis com volume total de 2L cada, onde o

volume reacional foi de 1L e 1L de *headspace* mantidos em um isopor térmico a uma temperatura de aproximadamente 26° C.



Figura 12: Reatores da primeira etapa.



Figura 13: Reatores da primeira etapa.

Fonte: Dados da pesquisa 2015.

Para garantir a anaerobiose foi injetado nitrogênio nos reatores para substituir o ar atmosférico. O pH inicial dos reatores foram padronizados, adicionando NaCl e H₂SO₄, entre 7 e 7,5, pois de acordo com (Speece, 1996) é a faixa onde apresenta melhor produção do metano.

Os experimentos foram divididos em dois momentos. O primeiro momento foi composto por quatro tratamentos com três repetições, perfazendo 12 parcelas e dois brancos (testemunha), totalizando 14 biodigestores. A solução do inóculo a partir da ovinocultura foi padronizada a 10% (v/v), o qual foi composto por 3g de esterco com 100mL de água destilada e a concentração da acerola variou de 100 a 25%. Os reatores foram nomeados com T1, T2, T3 e T4, onde, T1 teve 100% de substrato, T2 75% de substrato, T3 50% de substrato e T4 25% do substrato da ovinocultura. A porcentagem na montagem dos reatores foi baseada nos valores das DQOs do substrato e dos resíduos utilizados. O objetivo desse momento foi avaliar o efeito da concentração do substrato (resíduo da acerola), em termos de DQO, utilizando dejetos de ovino como inóculo. A Tabela 2 mostra a primeira etapa do experimento.

Tabela 2: Primeira etapa do experimento

T1 100%	T2 75%	T3 50%	T4 25%
3g ovino + 100mL H ₂ O destilada	3g ovino + 100mL H ₂ O destilada	3g ovino + 100mL H ₂ O destilada	3g ovino + 100mL H ₂ O destilada

27g acerola + 900 mL H ₂ O destilada	20,25g acerola + 900 mL H ₂ O destilada	13,5g acerola + 900 mL H ₂ O destilada	6,75g acerola + 900 mL H ₂ O destilada
1000mL Volume Reacional	1000 mL Volume Reacional	1000 mL Volume Reacional	1000 mL Volume Reacional
DQO inicial= 6186mg/L	DQO inicial =4921mg/L	DQO inicial =3655mg/mL	DQO inicial =2390mg/L

Fonte: Dados da pesquisa 2015.

O segundo momento foi composto por 6 biodigestores experimentais de bancada modelo batelada, nomeados em T1R1/T1R2, T2R1/T2R2 e T3R1/T3R2, onde 4 foram de garrafas pet descartáveis de 2L e os outros 2 foram utilizados frascos Duran® com 2000mL de volume total. O volume reacional foi de 1L e 1L de *headspace*, mantidos também em um isopor térmico a uma temperatura de 26°C. Nos tratamentos T1 e T2 repetiu-se a concentração do substrato de acordo com a primeira fase, 100% e 50%, mudando apenas o inóculo, o de suíno, e mantendo a padronização do inóculo a 10%. Já no T3 saturou-se o substrato de acerola elevando a 300% da DQO bruta e manteve o inóculo a 10% (v/v). O segundo momento objetivou avaliar o aumento da concentração do substrato e também outro tipo de inóculo (resíduos de suinocultura). Nas Figuras 13 e 14, temos os reatores utilizados na segunda etapa do experimento, e na Tabela 15 mostra como a segunda etapa foi dividida.



Figura 14: Reatores da segunda etapa.



Figura 15: Reatores da segunda etapa.

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 3: Montagem da segunda etapa do experimento.

Tratamento 1	Tratamento 2	Tratamento 3
T1 100%	T2 50%	T3 300%
100 mL lodo biodigestor	100 mL lodo biodigestor	100mL lodo biodigestor
27g acerola +	13,5g acerola +	81g acerola +
900 mL H ₂ O destilada	900 mL H ₂ O destilada	900 mL H ₂ O destilada
1000 mL Volume Reacional	1000 mL Volume Reacional	1000 mL Volume Reacional

Fonte: Dados da pesquisa (2015).

4.5 Experimento

A mensuração dos gases foi realizada 48 horas após a montagem e partida dos reatores. Os gases foram determinados e mensurados através de cromatografia gasosa, de acordo com a metodologia proposta por (Maintinguer et al.2008).

A determinação da produção de metano e composição do biogás foi efetuada com injeção manual por meio da retirada de 1000 μ L ou 1mL de amostra da fase gasosa *headspace*, utilizando seringa *gastight* com trava. Foi utilizado cromatógrafo a gás, Shimadzu GC-2010-Plus, equipado com detector de condutividade térmica. A coluna utilizada foi a Supelco Carboxen 1010 Plot (30 m de comprimento e diâmetro interno de 0,53 mm) e detector de condutividade térmica. As condições cromatográficas foram:

- Gás de arraste: Argônio sob fluxo de 21,9 cm. s⁻¹;
- Temperaturas do forno: 30 °C;
- Temperatura da coluna: 200 °C e
- Temperatura do detector: 230 °C.

Na figura 16 temos o modelo do cromatógrafo utilizado no experimento e na figura 17 o tipo da seringa que coletou os gases na cromatografia.



Figura 16: Cromatógrafo

Fonte: Dados da pesquisa (2015).

A coleta da produção dos gases foi mensurada 3 vezes por semana, no período da manhã entre os horários de 10h e 12h. A duração do experimento foi de 57 dias. As análises da produção dos gases foram realizadas através de um cromatógrafo GC – 2010 Plus, onde foi retirado 1000 μ L da amostra gasosa utilizando uma micro seringa *gastight* e avaliado teores de produção dos gases metano e dióxido de carbono.



Figura 17: Seringa Gastight

Fonte: Dados da pesquisa (2015).

4.6 Análises finais

Após o final do período do experimento, os reatores foram desativados e foram realizadas as seguintes análises em todos os reatores: DQO e Sólidos Totais, Fixos e Voláteis.

4.6.1 Demanda Química de Oxigênio – DQO (Apha, 1999)

A análise foi precedida do preparo da diluição da amostra na concentração de 3g:100, em balão volumétrico de 100 mL foi adicionado 1mL de amostra bruta e completado com água destilada até o menisco para a DQO dos dejetos de ovinos, 3g: 100 m/v em balão volumétrico de 50 mL para a acerola e para a DQO do resíduo de suíno o balão volumétrico utilizado foi o de 25mL . Em um tubo de DQO previamente lavado, foi adicionado com pipeta automática de volume variável 1,5 mL da solução de digestão (dicromato de potássio e sulfato

de mercúrio) e 3,5 mL da solução de ácido sulfúrico e sulfato de prata. Adicionou-se 2mL da amostra diluída previamente, os tubos foram fechados e agitados.

Com o digestor aquecido a 150°C, os tubos foram incubados por 120 minutos, quando findo esse tempo, resfriaram-se os tubos no escuro. A leitura foi realizada através de espectrofotometria em absorvância com 620 nm de comprimento de onda.

4.6.2 Sólidos Totais – ST (Apha, 1999)

Para determinação dos sólidos totais, foi mensurado o peso (P^0) da cápsula de porcelana após sair da mufla a 550°C por 1 hora, seguida por esfriamento em dessecador e pesadas. Em seguida, foi Transferida para a cápsula 50mL da amostra bruta, medidos em proveta de 100mL e colocado em estufa a temperatura de 103-105°C durante aproximadamente 24 horas. Retirada da estufa foram colocadas em dessecador até esfriarem e a cápsula foi novamente pesada, obteve-se assim o peso seco (P^1), sendo determinados pela equação x.

$$ST\left(\frac{mg}{L}\right) = \frac{(P_1 - P_0) \cdot 10^6}{V_{amostra}}$$

Equação 1: Equação x – Equação para cálculo da concentração dos ST

4.6.3 Sólidos Totais Voláteis – STV (Apha, 1999)

Na determinação dos sólidos totais voláteis a cápsula retirada da estufa e pesada, foi submetida à calcinação em mufla a 550°C por 1 hora, sendo retiradas em seguida da mufla, esfriadas em dessecador e pesadas em balança de precisão, obtendo-se assim o peso (P_2), sendo calculados pela equação y abaixo:

$$ST\left(\frac{mg}{L}\right) = \frac{(P_1 - P_2) \cdot 10^6}{V_{amostra}}$$

Equação 2: Equação y – Equação para cálculo da concentração dos STV

4.6.4 Sólidos Totais Fixos – STF (Apha, 1999)

Os sólidos totais fixos são a porção do resíduo que resta após a calcinação a 550°C por 1 hora, e foram calculados pela equação z abaixo:

$$ST\left(\frac{mg}{L}\right) = \frac{(P_2 - P_0) \cdot 10^6}{V_{amostra}}$$

Equação 3: Equação z – Equação para cálculo da concentração dos STF

DQO REATORES 1ª FASE

Diluição 1:10

Tabela 4: Demanda Química de Oxigênio dos reatores da primeira etapa.

Reatores	DQO inicial
T1 100%	6186mg/L
T2 75%	4921mg/L
T3 50%	3655mg/L
T4 25%	2390mg/L

Fonte: Dados da pesquisa (2015).

DQO REATORES 2ª FASE

Diluição 1:25

Tabela 5: Demanda Química de Oxigênio dos reatores da segunda etapa.

Reatores	DQO inicial
T1 100%	5924mg/L
T2 50%	3393mg/L
T3 300%	1604 mg/L

Fonte: Dados da pesquisa (2015).

SÓLIDOS TOTAIS, FIXOS E VOLÁTEIS 1ª Fase

Tabela 6: Sólidos Totais, Fixos e Voláteis dos reatores iniciais da primeira etapa em mg/L.

	ST	STV	SF
T1	1,675333	1,426667	0,248667
T2	1,746667	1,54	0,206667
T3	1,589333	1,386667	0,202667
T4	0,910667	724	186,6667

Fonte: Dados da pesquisa (2015).

SÓLIDOS TOTAIS, FIXOS E VOLÁTEIS 2ª Fase

Tabela 7: Sólidos Totais, Fixos e Voláteis dos reatores iniciais da segunda etapa.

Sólidos Totais	
T1 100%	5,520.0 mg/L
<hr/>	
T2 50%	3,838.8 mg/L
<hr/>	
T3 300%	12,244.8 mg/L

Fonte: Dados da pesquisa (2015).

4.6.2 Curvas de determinação do metano e dióxido de carbono

A curva de calibração do metano foi estabelecida para que as áreas obtidas no cromatógrafo fossem convertidas para valores de massa de gás (moles CH₄). Para tanto, foram injetados diferentes volumes (0,025 a 0,15 mL) de metano com pureza de 99,9%, e por meio da equação geral dos gases (PV= nRT) encontrou-se a concentração em moles de metano para cada volume injetado.

Desta forma, pôde-se estabelecer uma relação entre área cromatográfica e quantidade de metano. A partir desses dados, traçou-se um gráfico de áreas de metano em função da quantidade de metano em moles.

Para este trabalho determinou-se a reta padrão do metano e do dióxido de carbono (Anexo1), a partir de volumes fixos onde foram injetados em triplicata e a média dos valores, utilizou-se para compor a reta padrão, dando origem a equação da reta descritas abaixo, conforme demonstradas no anexo 3 para o metano e dióxido de carbono, respectivamente:

$$\text{Conc. CH}_4 \text{ (mol)} = 2,2630569 \times 10^{-12} \text{ área cromatográfica} + 2,7372862 \times 10^{-07}$$
$$R^2 = 0,99894783$$

Equação 4: Equação da reta para concentração x área cromatográfica de CH₄

$$\text{Conc. CO}_2 (\text{mol}) = 8,2983807 \times 10^{-12} \text{ área cromatográfica} + 2,8420608 \times 10^{-07}$$

$$R^2 = 0,99809042$$

Equação 5: Equação da reta para concentração x área cromatográfica de CO₂

4.6.3 Cálculo para determinação do metano

Para o cálculo da determinação da produção de metano foi aplicado o mesmo método que o utilizado por (Lapa, 2006), (Oliveira, 1997) e (Steil, 2007). Sendo obtidos seguindo os passos descritos a seguir:

- a) As áreas do metano foram convertidas utilizando a equação padrão da reta em Mol de CH₄;
- b) Foram acumuladas as concentrações de metano da seguinte forma:
 - No tempo 0, a concentração de metano era aquela obtida no *headspace* do frasco nesse tempo;
 - No tempo 1, a concentração de metano era aquela obtida no *headspace* do frasco nesse tempo, mais a concentração de metano obtida no tempo anterior (zero);
 - No tempo 2, a concentração de metano era aquela obtida no *headspace* do frasco nesse tempo; mais a concentração de metano obtida no tempo 0, e no tempo 1. E assim sucessivamente;
- c) Os valores de metano obtidos na amostra de 0,01 mL sacada dos reatores foram convertidos para o *headspace* de cada frasco através da seguinte equação:

$$[CH_4]_{\text{no headspace}} (\text{mol}) = \frac{[CH_4]_{\text{na amostra}} * \text{volumedo headspace}}{\text{Volume de amostragem}(0,001\text{mL})}$$

Equação 6: Equação de conversão do volume da amostra para o headspace

Em que,

$[CH_4]_{\text{no headspace}}$ (mmol) = Quantitativo de metano no *headspace*

$[CH_4]_{\text{na amostra}}$ = Quantidade de metano na amostra injetada no cromatógrafo

Volume do *headspace* = Volume total do *headspace* do reator

Volume de amostragem = Volume sacado no reator e injetado no cromatógrafo

- d) Os volumes acumulados de metano nos *headspace* em mol/L, foram convertidos em L_{CH_4}/L através da equação abaixo:

$$PV = nRT$$

Equação 7: Equação geral dos gases

Em que,

$$P = 696,7 \text{ mmHg}$$

V = Volume a ser convertido

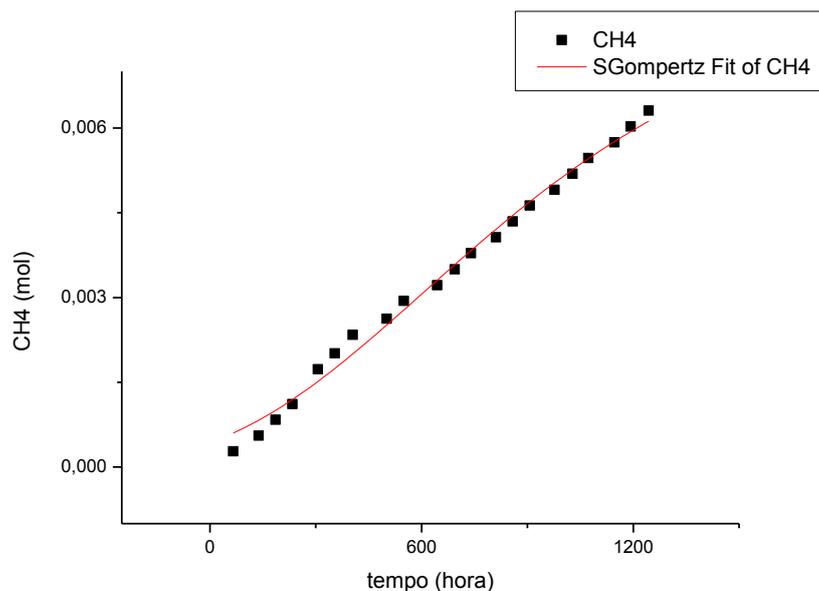
n = Número de mol do gás

$$R = 62,3 \text{ mmHg}$$

$$T = 237 + 26^\circ\text{C}$$

- e) Foi utilizado o desvio padrão (σ) e o coeficiente de variação (CV) como composição da média das replicas dos reatores.
- f) Para ajuste dos dados experimentais, obtidos através das médias de produção de metano CH_4 dos reatores em batelada, foram aplicadas as sigmóides de Gompertz através do Software Origin Pro 8. A máxima produção de metano foi estimada através do ponto de inflexão – ponto no qual ocorre a taxa máxima de variação da função – dos modelos de regressão não-linear ajustados aos dados observados.

Para a escolha do melhor ajuste, tomou-se a menor soma dos quadrados dos resíduos como critério de decisão do melhor ajuste, optou-se pela realização da sigmóide de Gompertz como pode ser observado nos resultados abaixo. Foi utilizada a equação abaixo, conforme curva de exemplo:



$$Y = a * \exp(-\exp(-k * (x - xc)))$$

Equação 8: Equação do ajuste linear de Gompertz do Tratamento 1 – 1ª fase

Tabela 8: Soma dos resíduos quadrados dos ajustes não-lineares.

Reatores Gompertz

Soma dos Resíduos

T1	5,99E-06
T2	3,04E-07
T3	2,85E-07
T4	2,27E-07

Fonte: Dados da pesquisa, 2015.

- g) A sigmóide ajustada foi posteriormente derivada, numericamente, com o mesmo software, a fim de se determinar as velocidades máximas de formação do metano.
- h) Utilizou-se como valor da biomassa a média do teor de STV determinado no início do ensaio, a fim de observar o comportamento da produção de metano em função do conteúdo de STV.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse item serão apresentados os resultados obtidos durante a execução do experimento, os quais estão incluídos as análises físico-químicas inicial e final do experimento, do momento da partida e finalização reacional e a quantificação e qualificação do biogás produzido.

Todos os dados apresentados foram formados a partir da média realizada proveniente da triplicata dos reatores em batelada na primeira fase e em duplicata na segunda fase.

5.1 Análises físico-químicas

Na tabela 9, pode-se observar que os valores do pH no momento inicial do experimento foi padronizado entre 7 e 7,5 que é o valor favorável para a metanogênese, segundo (Batista, 1981) e (Costa, 2009), arqueias produtoras de metano sobrevivem numa faixa estreita de pH (6,5 e 8,0). Na tabela é apresentado os valores da DQO inicial e final da primeira etapa, onde após a desmontagem foi possível calcular a eficiência do consumo da DQO e os resultados dos Sólidos Totais Fixos e Voláteis inicial e final.

Tabela 9: Resultados da avaliação físico-química nos substratos dos reatores da primeira etapa no momento de partida reacional e finalização experimental.

		T1	T2	T3	T4
Inicial	pH	7,39	7,55	7,19	7,59
	DQO (mg/L)	6186	4921	3655	2390
	ST (mg/L)	1,6753	1,7466	1,5893	910
	STV (mg/L)	1,426	1,540	1,386	724
	STF (mg/L)	248	206	202	186
Final	DQO (mg/L)	3680	2167	1627	1207
	ST (mg/L)	1,124	1,222	956	838
	STV (mg/L)	829	937	706	674
	STF (mg/L)	294	285	249	164

Eficiência	DQO %	41%	56%	55%	49%

Fonte: Dados da pesquisa (2015).

Conforme pode ser observado na tabela 9 o reator que expressou maior eficiência de consumo da DQO foi o T2, onde sua concentração de substrato era de 75%, no entanto teve um consumo elevado da matéria orgânica.

Já o reator que apresentou menor eficiência de consumo de DQO foi o reator T1. Segundo (Dold et.al., 1980), as partículas sólidas orgânicas adsorvidas são armazenadas e hidrolisadas. A capacidade de adsorção e sedimentação do lodo em reator sequencial em batelada é preponderante na remoção de material particulado. Segundo este pesquisador, os compostos liberados após a hidrólise são metabolizados pela biomassa presente no reator.

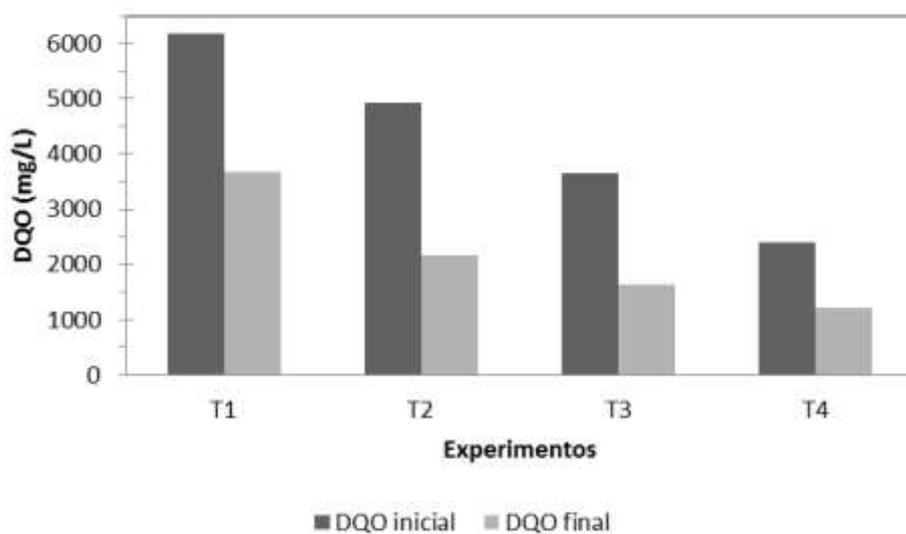


Figura 18: Concentração da demanda química de oxigênio (DQO) nos reatores anaeróbios durante o experimento da primeira etapa.

Fonte: Dados da pesquisa (2015).

Analisando a figura 18 observa-se que os reatores que obtiveram maior eficiência de consumo da DQO foram os T2 e T3, com concentrações de substrato consequentemente 75% e 50%, com eficiência de consumo de DQO a 56 e 55% respectivamente. Já o reator que apresentou menor eficiência foi o T1 com 100% de substrato, e eficiência do consumo de

DQO de 41%. O reator T4 com concentração de substrato a 25% apresentou uma eficiência de consumo de 49%.

Nos resultados das DQOs da segunda fase do experimento onde foi utilizado o inóculo da suinocultura, observou-se que a eficiência de consumo da DQO no reator T1 foi de 47%, maior do que a eficiência do reator T1, 41%, da primeira fase onde a concentração do substrato também foi de 100%. Já no reator T2 com concentração de substrato a 50%, sua eficiência de DQO foi de 68%, onde na primeira etapa do experimento o reator T3, também com 50% de concentração de substrato, teve a uma eficiência da DQO de 55%. Já no reator T3 que teve o substrato saturado a 300%, sua eficiência de DQO atingiu 86%. Observou-se que com maior a concentração do substrato e com o inóculo da suinocultura, a eficiência da DQO atinge uma maior porcentagem.

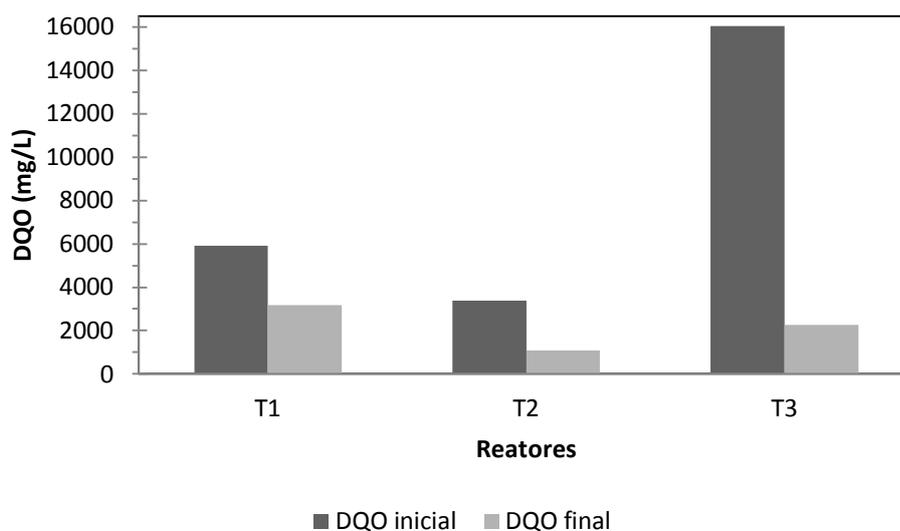


Figura 19: Concentração da demanda química de oxigênio (DQO) nos reatores anaeróbios durante o experimento da segunda etapa.

Fonte: Dados da pesquisa (2015).

Proporcionalmente abaixo do ensaio com dejetos bruto de suinocultura, realizado por (Angonese et al., 2006), que observou redução de 77% no valor da demanda química de oxigênio – DQO que iniciou com 49.953 mg/L e foi reduzida para 11.240 mg/L.

Estercos que possuem alta quantidade de água e frações resistentes apresentam menor rendimento em metano por sólidos voláteis e DQO, do que substratos facilmente degradáveis, como outros resíduos orgânicos (Moller et al., 2004).

Segundo (IPCC, 2006) os processos de tratamento anaeróbio podem apresentar elevada eficiência de conversão de DQO em metano com uma mínima produção de biomassa.

5.2 Produção de Metano

Nos resultados obtidos na primeira fase do experimento, foi possível observar que o reator com concentração de substrato a 100% atingiu uma maior taxa de produção de metano por mmol de CH₄ por litro de *headspace*, o que equivale a um volume de 5,54E-03 mmol CH₄ /L *headspace*. Na tabela 10 podemos observar os resultados das análises dos dados através do software Origin e o modelo aplicado foi o de Gompertz.

T1 – Concentração de substrato a 100% = 5,54E-03 mmol CH₄/L *headspace*

T2 – Concentração de substrato a 75% = 5,20E-03 mmol CH₄/L *headspace*

T3 – Concentração de substrato a 50% = 5,19E-03mmol CH₄/L *headspace*

T4 – Concentração de substrato a 25% =5,15E-03 mmol CH₄/L *headspace*

Tabela 10: Aplicação dos dados da 1a fase no Origin

	B	T1	T2	T3	T4
a	9,25E-03	8,42E-03	9,55E-03	9,16E-03	9,21E-03
xc	737,34797	606,74779	761,75518	732,75494	741,57939
k	0,00152	0,00179	0,00148	0,00154	0,00152
R²	0,99486	0,99047	0,99458	0,99485	0,99497
Soma dos resíduos	0,00000	5,99E-07	3,04E-07	2,85E-07	2,75E-07
Máxima prod CH4 (mmol CH4/L)	5,17E-03	5,54E-03	5,20E-03	5,19E-03	5,15E-03

headspace)

Volume (mL CH₄)	0,127	0,136	0,128	0,127	0,126
Tempo (dias)	30,72	25,28	31,74	30,53	30,90
Temperatura (°C)	26	26	26	26	26
Concentração do substrato	0%	100%	75%	50%	25%
	B	T1	T2	T3	T4

Fonte: Dados da pesquisa (2015).

A figura 20 do gráfico 1 relaciona a máxima taxa de produção de metano por mmol/L *headspace* da Primeira Fase de acordo com cada reator, sendo possível observar também o tempo em dias em que houve a taxa máxima de produção de CH₄.

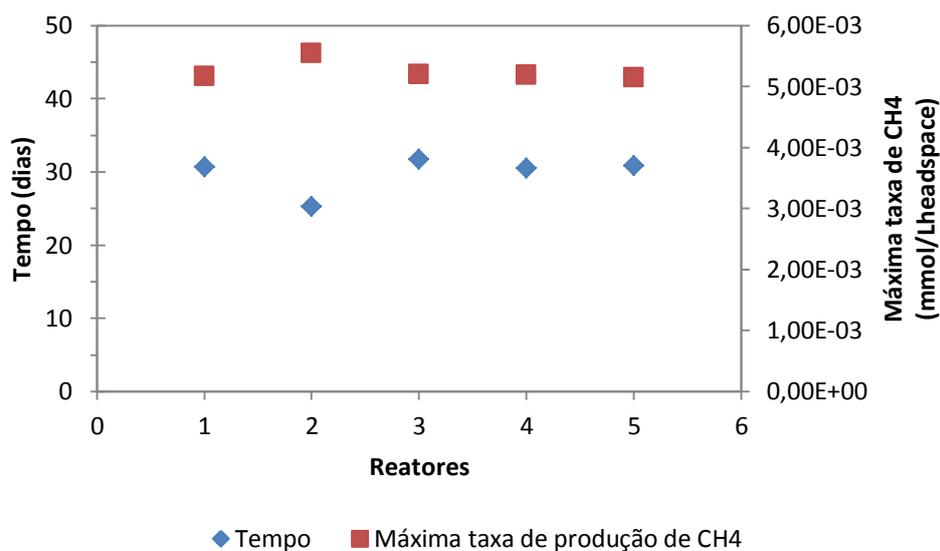


Figura 20: Gráfico 1. Máxima taxa de produção de metano por mmol/L headspace da primeira fase.

Fonte: Dados da pesquisa (2015).

Nos resultados obtidos na segunda fase do experimento, foi possível observar que o reator T3 com concentração saturada de substrato a 300% atingiu uma maior taxa de produção de metano por mmol de CH₄ por litro de *headspace*, o que equivale a um volume de 3,50E+00 mmol CH₄ /L *headspace*, o que equivale a 85,92 mL, no entanto só no 62º dia, atingiu sua máxima taxa de produção de CH₄. O reator que atingiu primeiro o ponto máximo de produção de metano foi o reator T2, 20º dia, no entanto foi o que produziu menos CH₄ 2,56E -02 mmol/CH₄ /L *headspace*. O segundo reator que atingiu o ponto máximo de produção de metano foi o T1 no 36º dia e sua taxa máxima de produção de CH₄ foi de 5,78E -03 mmol/CH₄ /L *headspace*.

T1 – Concentração de substrato a 100% = 5,78E-03 mmol CH₄/L *headspace*

T2 – Concentração de substrato a 50% = 2,56E-02 mmol CH₄/L *headspace*

T3 – Concentração de substrato a 300% = 3,50E +00 mmol CH₄/L *headspace*

Konzen (1983), citou que 1m³ de esterco de suínos produz em torno de 50m³ de biogás, ou seja, aproximadamente 0,051 m³ de biogás por kg de dejetos, sendo 1m³ de biogás equivalente a 0,66 litros de diesel ou 0,7 litros de gasolina, conforme citado por (Oliveira, 1993). Na segunda etapa do experimento, utilizando 100mL da água residual dos dejetos suinocultura, foi possível produzir 0,142mL de CH₄ no T1, 0,627mL de CH₄ no T2 e 85,92 mL de CH₄ no T3.

A produção média diária de biogás foi de 31,5 m³, equivalente a 0,63 m³ m⁻³ do biodigestor. Já (Zhang et al., 1990) em estudo realizado com dejetos de suínos, encontrou valores de 0,57 m³ m⁻³ de biodigestor.

O carbono biodegradável nos alimentos para animais é digerido no rúmen e no intestino dos bovinos. Assim, esterco de bovino possui menor potencial para produção de biogás comparado ao esterco de suínos ou de aves. Segundo (Weiland, 2001) a concentração de CH₄ no biogás de bovinos é menor.

Na tabela 11 abaixo encontram-se os resultados da segunda fase do experimento, aplicado no programa de estatística Origin.

Tabela 11: Aplicação dos dados da 2a fase no Origin

	Gompertz	Gompertz	Gompertz
	T1	T2	T3
a	2,62E-03	3,36E-02	7,68E+00
xc	8,80E+02	485,23159	1504,92251
k	6,00E-03	0,00207	0,00124
R ²	0,99509	0,97801	0,9954
Soma dos resíduos	5,52E-06	3,05E-05	4,38E-04
Máxima prod CH ₄ (mmol CH ₄ /L headspace)	5,78E-03	2,56E-02	3,50E+00
Volume (mL CH ₄)	0,142	0,627	85,923
Tempo	36,65	20,22	62,71
Temperatura (°C)	26	26	26
Concentração do substrato	100%	50%	300%
	T1	T2	T3

Fonte: Dados da pesquisa (2015).

A figura 21 do gráfico 2 abaixo relaciona a máxima taxa de produção de metano por mmol/L *headspace* de acordo com cada reator, sendo possível observar também o tempo em dias, na segunda etapa.

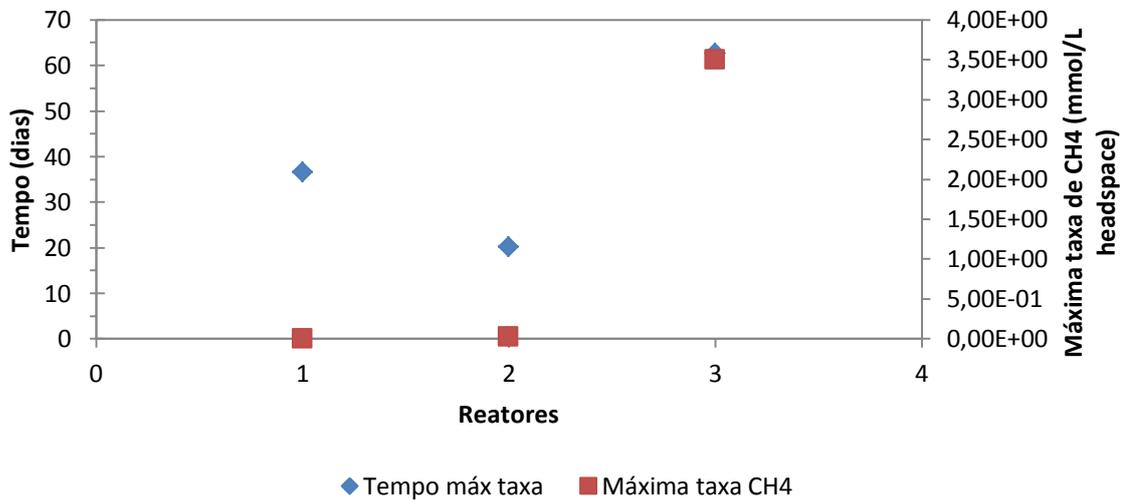


Figura 21: Gráfico 2. Relaciona a máxima taxa de produção de metano por mmol/L *headspace* de acordo com cada reator, sendo possível observar também o tempo em dias, na segunda etapa.

Fonte: Dados da pesquisa (2015).

5.3 Comparação entre mesmas concentrações de substrato e inóculos diferentes

Nas concentrações a 100% de substrato em relação a DQO, os reatores Tratamento 1 fase 1 e Tratamento 1 fase 2, o reator que teve uma maior taxa de produção de CH₄ foi o reator da segunda fase com inóculo de suinocultura produzindo 5,78 E -03 mmol CH₄/L *headspace* no 36° dia. Já o reator da primeira fase com inóculo da ovinocultura produziu 5,54 E -03 mmol CH₄/L *headspace* no 25° dia. Foi possível observar uma maior eficiência nos reatores compostos com inoculo da suinocultura, devido a um maior número de matéria orgânica e bactérias metanogênicas encontradas nos dejetos residuais da granja suinícola.

Nas concentrações a 50% do substrato em relação a DQO, os reatores Tratamento 3 fase 1 e Tratamento 2 fase 2, o reator que apresentou maior taxa de produção de CH₄ foi o reator T2 da segunda fase com o inóculo da suinocultura produzindo 2,56 E -02 mmol CH₄/L *headspace* no 20° dia. Já o reator da primeira fase com inóculo da ovinocultura produziu 5,19 E -03 mmol CH₄/L *headspace* no 30° dia. Entre esses dois reatores, foi possível observar uma produção mais rápida por volta do vigésimo dia de experimento, e um aumento bastante

significativo de quase 500 % na produção do metano em relação ao reator com dejetos da ovinocultura em uma concentração de substrato igual a 50%, mudando apenas o inóculo pelo da suinocultura. Mais uma vez foi possível observar a eficiência do lodo residual da suinocultura em relação ao lodo residual da ovinocultura, para a produção do metano.

Tabela 12: Comparação entre mesmas concentrações de substrato e inóculos diferentes.

		Tempo (dias)	Máx. Taxa de produção mmol CH4/L headspace
100%	T1 Fase 1	25,28116	5,54 E -03
100%	T1 Fase 2	36,64966	5,78 E -03
50%	T3 Fase 1	30,53146	5,19 E -03
50%	T2 Fase 2	20,21798	2,56 E -02

Fonte: Dados da pesquisa (2015).

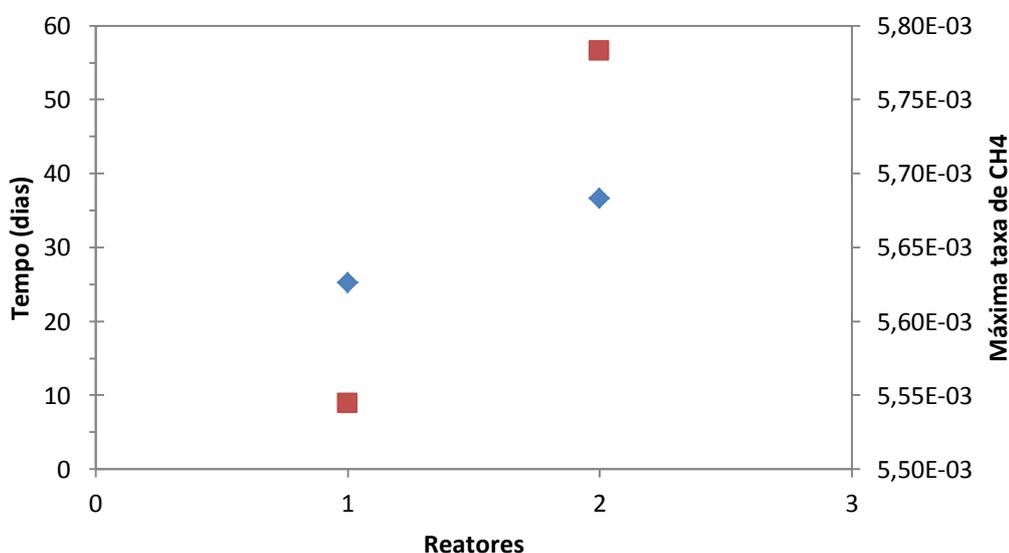


Figura 22: Gráfico 3: Gráfico comparativo de reatores com concentração de substrato a 100% em diferentes inóculos

Fonte: Dados da pesquisa (2015).

Reatores concentração a 50% - T3 fase 1 e T2 fase 2. Azul = Tempo em dias
Vermelho = Máxima taxa de produção.

Na figura 23 do gráfico 4 apresenta o comparativo dos resultados entre tratamentos com a mesma concentração do substrato.

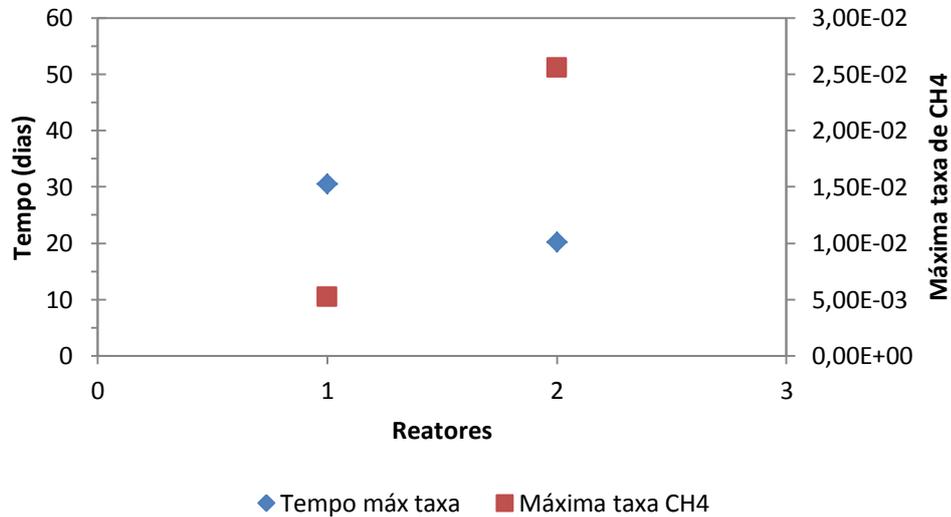


Figura 23: Gráfico 4: Gráfico comparativo de reatores com concentração de substrato a 50% em diferentes inóculos

Fonte: Dados da pesquisa (2015).

5.4 Produção de Metano (CH₄)

O monitoramento da produção de metano (CH₄) nos reatores anaeróbios na fase experimental foi realizado três vezes na semana, nos horários entre 10 e 12 horas, durante todo o experimento.

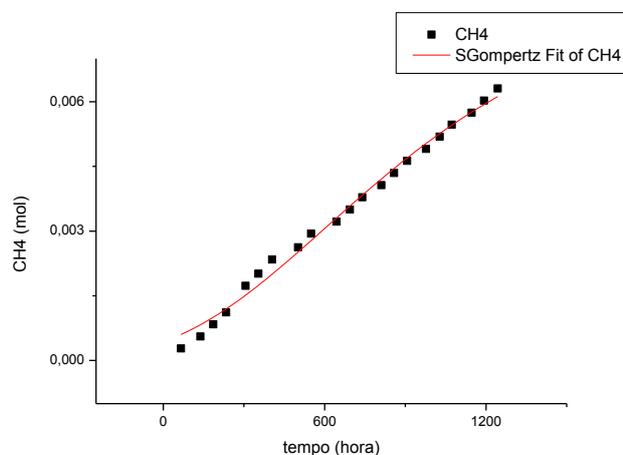


Figura 24: Gráfico 5: Curva sigmoide do reator T1 fase 1.

Fonte: Dados da pesquisa (2015).

O Tratamento branco (testemunha) da primeira fase, foi composto exclusivamente pelo inóculo de ovinocultura, sem adição do substrato utilizado no experimento. Desta forma, a produção de metano registrada neste reator equivale à capacidade produtiva unicamente do inóculo dos dejetos de ovino. O reator branco (testemunha) apresentou uma máxima produção de metano de $5,17E-03$ mmol/CH₄ /L *headspace*, como pode ser observado na tabela 10, em mL 0,127mL obtida no dia 30,72.

Segundo (Primavesi, 2004), faz parte da natureza fisiológica dos herbívoros ruminantes produzirem metano durante o processo de digestão, onde são transformados em média 6% da energia bruta dos alimentos em metano.

Já produção acumulada de metano (CH₄) no reator Tratamento 1 da primeira fase, foi de $5,54E-03$ mmol/CH₄ /L *headspace* sendo superior ao Tratamento 2, Tratamento 3 e Tratamento 4 que apresentaram $5,20E-03$, $5,19E-03$ e $5,15E-03$ mmol/CH₄ /L *headspace* respectivamente (tabela 10). Os valores são inferiores aos encontrados por (Costa, 2012) e por (Fukayama, 2008), que obtiveram respectivamente $1,024$ m³ e $0,986$ m³, utilizando reatores em batelada de 60L.

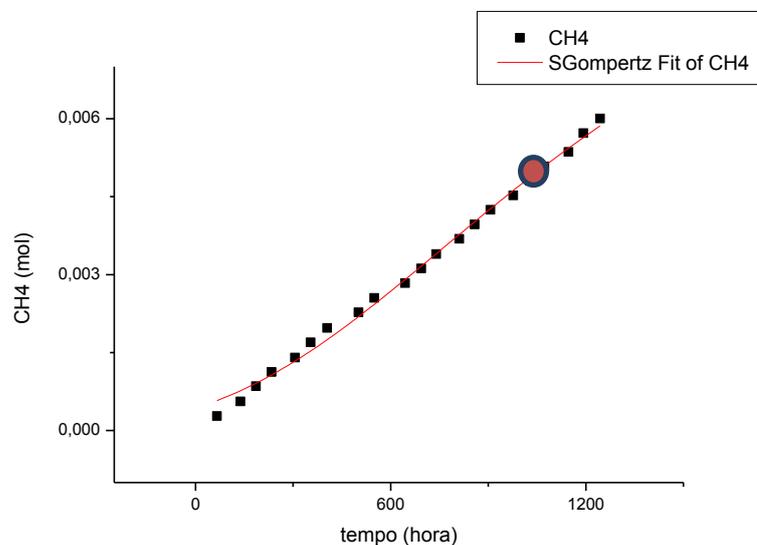


Figura 25: Gráfico 6: Curva sigmoide do reator T2 fase 1.

Fonte: Dados da pesquisa(2015).

Na figura 25 do gráfico do reator Tratamento 2 fase 1, foi possível observar uma curva sigmoide contínua, onde seu ponto de inflexão é atingido por volta do 25 dia, ou 740 horas, como marca no gráfico acima.

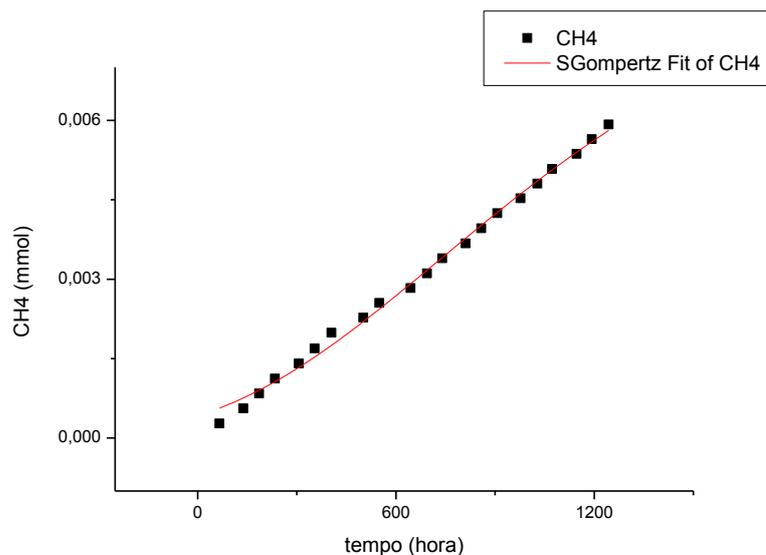


Figura 26: Gráfico 7: Curva sigmoide do reator T3 fase 1.

Fonte: Dados da pesquisa (2015).

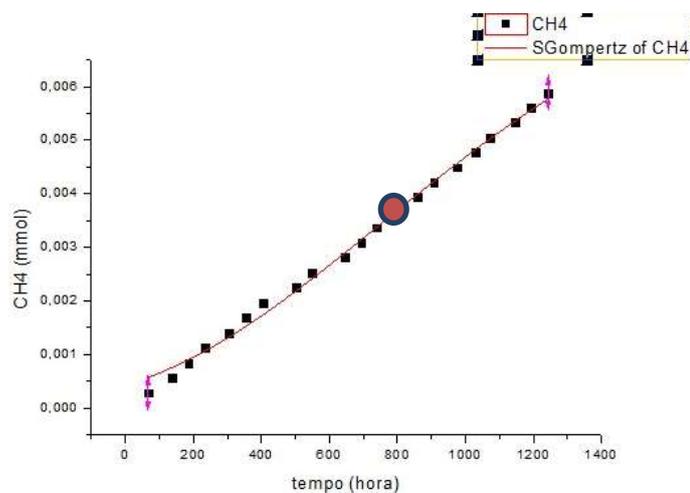


Figura 27: Gráfico 8: Curva sigmoide do reator T4 fase 1.

Fonte: Dados da pesquisa (2015).

No gráfico do Tratamento 4 Fase 1, o ponto de inflexão marcado em horas se dá por volta de 858 horas, em torno de 30 dias, ponto onde ocorre a maior taxa na produção do metano CH_4 .

A variação da produção nos diferentes substratos, assim como o volume total dos reatores utilizados e proporção da matéria orgânica de origem animal presente em ambos os estudos, pode ter contribuído para a diferença no quantitativo produzido.

Os gráficos 9 e 10 a seguir mostram os dados observados no Origin, e a curva da taxa de produção em cada reator.

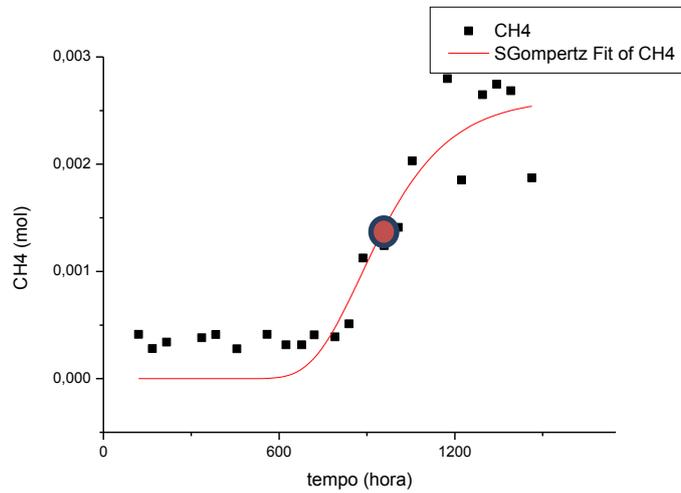


Figura 28: Gráfico 9: Concentração média de CH4 (mol) ao longo do tempo no reator T1 Fase 2 com ajuste linear e ponto de inflexão.

Fonte: Dados da pesquisa (2015)

No gráfico do Tratamento 1 Fase 2 o ponto de inflexão é marcado por volta de 959 horas, e sua curva apresenta uma sigmóide bem definida.

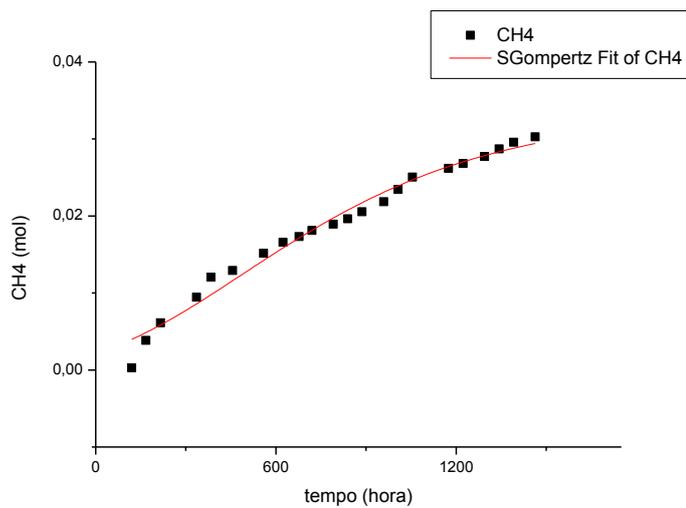


Figura 29: Gráfico 10: Concentração média de CH4 (mol) ao longo do tempo no reator T2 Fase 2 com ajuste linear e ponto de inflexão.

Fonte: Dados da pesquisa (2015)

No gráfico do Tratamento 2 Fase 2, a máxima taxa de produção de metano se dá aos 20 dias, em média 559 horas, logo após o início da formação da linha sigmoidal no gráfico.

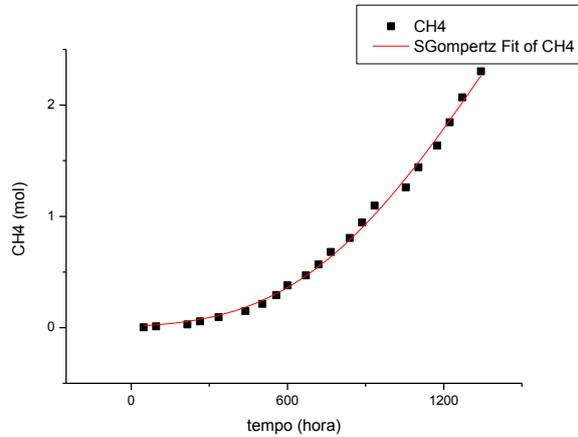


Figura 30: Gráfico 11: Concentração média de CH4 (mol) ao longo do tempo no reator T3 Fase 2 com ajuste linear e ponto de inflexão.

Fonte: Dados da pesquisa (2015)

No gráfico do Tratamento 3 Fase 2, a curva da sigmóide apresenta-se ainda em crescimento, devido a grande quantidade de matéria orgânica nesse reator, o ponto de inflexão do gráfico se dá em 1463 horas, levando mais tempo, embora apresentando a maior quantidade na taxa de produção do metano, $3,50E+00\text{mmolCH}_4/\text{L headspace}$.

Para (Lucas Júnior, 1994), o potencial de produção de metano a partir dos dejetos de ruminantes deve sofrer variações em função da qualidade nutricional da alimentação dos animais.

6. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos no experimento deste trabalho, foi possível chegar as seguintes conclusões:

Diante das análises realizadas em todo o experimento, chegamos a algumas conclusões referentes as concentrações testadas do substrato a partir da acerola, na qual foi de fundamental importância variá-las até chegar a um resultado.

Em relação aos inóculos utilizados no experimento, os dejetos da suinocultura apresentaram melhor desempenho comparado aos dejetos da ovinocultura, devido a um índice favorável à fermentação anaeróbia devido a grande quantidade de bactérias metanogênicas presentes, produzindo assim maior quantidade de metano. E em relação ao substrato, concluiu-se que quanto mais concentrado, mais matéria orgânica as bactérias metanogênicas terão para degradar, mesmo levando mais tempo para a degradação, produzirá mais metano.

Como sugestão para futuros trabalhos, sugiro utilizar o substrato de forma mais concentrada e utilizar um inóculo o qual apresente um número maior de bactérias metanogênicas para que haja uma produção elevada do metano.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J.I.L.; LOPES, J.G.V.; OLIVEIRA, F.M.M. Produtor de acerola. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, Instituto Centro de Ensino Tecnológico, 2002. 40p

ALVES, R.E. Características das frutas para exportação. In: GORGATTI NETTO, A.; ARDITO, E.F.G.; GARCIA, E.E. (Eds.) Acerola para exportação: procedimentos de colheita e pós-colheita. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1996. p.9-12. (Série Publicações técnicas FRUPEX, 21).

ANGONESE, A.R.; CAMPOS, A.T.; ZACARKIM, C.E.; MELISSA S.; MATSUO, M.S.; CUNHA, F. Eficiência energética de sistema de produção de suínos com tratamento dos resíduos em biodigestor. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.10, n.3, p.745-750, 2006.

ARAÚJO, P.S.R. Acerola. Campinas: Fundação Cargill, 1994. 81p.

ASTN (Associação das Indústrias Processadoras de Frutos Tropicais); APEX (Programa Setorial Integrado de Promoção de Exportações de Sucos Tropicais). Brasília, 2001. Disponível em: . Acesso em: 14 dez. 2003

AUGENSTEIN, D.; BENEMANN, J.; HUGHES, E. Electricity from biogas. In: National Bioenergy Conference, 6., 1994, Nevada. *Anais...* Reno - Sparks: Judy Farell, 1994. p.1.237-40.

BARRETO, A. C.; CAMPOS, C. M. M. Avaliação de um sistema de irrigação auto propelido aplicando água residuária de suinocultura. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 33, Edição Especial, p. 1752-1757, 2009.

BATISTA, L. F. Construção e operação de biodigestores. Brasília, DF: Embrater, 1981. (Manual técnico).

CAMERON, M.D. Field study of gross rates of N mineralization and nitrification and their relationships to microbial biomass and enzyme activities in soils treated with dairy effluent and ammonium fertilizer. *Soil Use Manag*, 15:188-194, 1999

CARPENTIERI-PÍPOLO, V.; PRETE, C. E. C.; GONZALEZ, M. G. N. POPPER, I. O. Novas cultivares de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.). In: NEVES, M. V. M. das. Polpa de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) adicionada de extrato comercial de própolis: avaliação físico-química e sensorial. 2009. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação Em Ciência E Tecnologia De Alimentos, Departamento de Ciências Domésticas, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife- PE, 2009.

CARRAN, R.A. & THEOBALD, P.W. Effects of excreta return on properties of a grazed pasture soil. *Nutr. Cycling Agroecosys.*, 56:79-85, 2000.

CARRINGTON, C.M.S.; KING, R.A.G. Fruit development and ripening in Barbados cherry, *Malpighia emarginata* D.C. *Scientia Horticulturae*, Amsterdam, v.92, n.1, p.1-7, 2002.

CARVALHO, R.A. Análise econômica da produção de acerola no município de Tomé-Açú, Pará. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. 21p. (Documento, 49)

CASSINI, S.T. (Coord.). Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do Biogás. Rio de Janeiro: ABES/Rima, 2003. 210p. (Projeto PROSAB).

CÓRDOVA KV, Gama, TMMTB, Winter GMG, Freitas RJS. Características físico químicas da casca do maracujá amarelo (*Passiflora edulisflavicarpadegener*) obtida por secagem. *Boletim Ceppa*, Curitiba, v. 23.n. 2, p. 221-230, jan/ jun. 2005.

COSTA, L. V. C. Biodigestão anaeróbia da cama de frango associada ou não ao biofertilizante obtido com dejetos de suínos: produção de biogás e qualidade do biofertilizante. 2009. 89f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista- Unesp, Jaboticabal, 2009.

COUTO, L. C.; COUTO, L.; WATZLAWICK, L. F.; CÂMARA, D. Vias de valorização energética da biomassa. *Biomassa & Energia*, v. 1, n. 1, p. 71-92, 2004.

DOLD, P. L., EKAMA, G. A., MARAIS, G. R. *A general model for the activated sludge process*. *Prog. Wat. Tech.*, v. 12. P. 47-77, 1980.

EL AICH, A.; WATERHOUSE, A. Small ruminants in environmental conservation. *Small Ruminant Research*, Thessaloniki, v.34, n.3, p.271-87, 1999.

FARRET, F. A. Microcentrais a Biogás. In: FARRET, F. A. Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica. Santa Maria: Editora/UFSM, 1999.

GIUNTINI, E.B.; LAJOLO, F.M.; MENEZES, E.W. Potencial de fibra alimentar em países iberoamericanos: alimentos, produtos e resíduos. *Arch. Latinoam. Nutr.*, Caracas, v. 53, n.1, p. 1-7, 2003

GOLDEMBERG, J.;Lucon, O. Energia e meio ambiente no Brasil. *Estudos Avançados*, v.21, n.59, p.7-20, 2007.

GUBLER, N. Erfolgsfaktoren für Biogasanlagen-eineuropäischer Vergleich. Diplomarbeit an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich. Institut für Agrarwirtschaft. Zürich, 2006.

HAYNES, R.J. & WILLIAMS, P.H. Influence of stock camping behavior on the soil microbiological and biochemical properties of grazed pastoral soils. *Biol.Fertil.Soils*, 28:253-258, 1999.

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

IPCC. Climate change 1994: radiative forcing of climate change and an evaluation of the IPCC IS92 emission scenarios. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 339p.

JÚNIOR, B. C. Embrapa – Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais. 2. ed. Foz do Iguaçu: FAO. 2009.

LUSTE, S.; LUOSTARINEN, S.; SILLANPAA, M. Effect of pre-treatments on hydrolysis and methane production potentials of by-products from meat-processing industry. *Journal of Hazardous Materials*, v.164, p.247-255, 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 19 mar. 2015.

METCALF; EDDY. *Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse*. 4.ed. rev. New York: McGraw-Hill, 2003. 1819p.

NOGUEIRA, R.J.M.C.; MORAES, J.A.P.V.; BURITY, H.A. et al. Efeito do estágio de maturação dos frutos nas características físico-químicas de acerola. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.37, n.4, p.463-470, 2002.

OLIVEIRA, P. A. V. *Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos*. EMBRAPA Centro Nacional Suínos e Aves /, Concórdia, , 1993. p.1-188, Circular Técnica. n.27.

OLIVEIRA, R. A. Efeito da concentração de sólidos suspensos do afluente no desempenho e características do lodo de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo tratando águas residuárias de suinocultura. São Carlos: USP. 1997. 359p. Tese Doutorado

OLIVEIRA, P. A. V.; NUNES, M. L. A. *Sustentabilidade ambiental da suinocultura Workshop sobre Tecnologias para a Remoção de Nutrientes de Dejetos de Origem Animal Embrapa Suínos e Aves 2005*

OLIVEIRA, F.C. Disposição de “resíduo orgânico” e composto de lixo urbano num Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005. 247p. (Tese de Doutorado).

PAIVA, J. R.; ALVES, R. E.; BARROS, L. M. Melhoramento genético da aceroleira (*Malpighia emarginata* D.C.) na Embrapa Agroindústria Tropical. In: FREITAS, C. A. S. ET

al. Acerola: produção, composição, aspectos nutricionais e produtos. Revista Brasileira de Agrociência, Pelotas-RS, v. 12, n. 4, p.395-400, 2006.

PNUD. Programme des Nations Unies pour le développement. Production d'électricité à partir de biomasse: bagasse et déchets de canne à sucre 2004.

PRIMAVESI ET AL. Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.39, n.3, p.277-283, mar. 2004.

REVISTA AGROPECUÁRIA Brasil: Quarto maior produtor e exportador de carne suína do Mundo. Disponível em: <http://www.revistaagropecuaria.com.br/2013/05/03/brasilquartomaiorprodutoreexportadordecarnesuinadomundo/> Acessado em 15/11/2014.

RITZINGER, R.; RITZINGER, C. H. S. P. Acerola: aspectos gerais da cultura. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004. 2 p.(Embrapa Mandioca e Fruticultura. Acerola em Foco, 9).

RIZZONI , L.B. BIODIGESTÃO ANAERÓBIA NO TRATAMENTO DE DEJETOS DE SUÍNOS. Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária, Garça, Jan 2012. Disponível em: <http://www.revista.inf.br/veterinaria18/revisao/RV04.pdf>. Acessado em 08 de Setembro de 2014.

SABBAG, O.J., Tarsiano, M.A.A; Corrêa, L.S. Análise da produção e comercialização do Maracujá Amarelo no Mercado Brasileiro de Fruticultura, 17. 2002, Belém. Os novos desafios da Fruticultura Brasileira. Anais. Belém: SBF/EMBRAPA, 2002.

SAHA, S.L. Promoting use of the biogas in India. *Electrical India*, Calcutta, v.34, n.1, p.13-16, 1994.

SANDI D, Chaves JBP, Souza ACG, Silva MTC, Parreiras JFM. Correlações entre características físico-químicas e sensoriais em suco de maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* VAR. *flavicarpa*) durante o armazenamento. Ciência de Tecnologia e Alimentos. 2003

SEMENSATO, L.R. Caracterização físico-química de frutos genótipos de acerola (Malpighiasp.), cultivados em Anápolis-GO, processamento e estabilidade de seus produtos. Goiânia, 1997. 74f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiânia.

SEVRIN – REYSSAC J.; La Noüe, J.; Proulx, D. Le recyclagedulisier de porc par lagunage. Paris: Lavoisier. 118p. 1995. Éditions Technique & Documentation.

SCHULTZ, G. Boas Práticas Ambientais na Suinocultura. Porto Alegre: SEBRAE/RS, 2007.

SPEECE, R.E. Anaerobic biotechnology:for industrial wastewater. Nashville: Archae, 1996. 394p.

ANEXOS

