



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - CECA**  
**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO PROFISSIONAL EM ENERGIA DA**  
**BIOMASSA**



**ÍCARO VICTOR VALÉRIO DE SOUZA SANTOS**

**BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DOS RESÍDUOS DA AGROINDÚSTRIA DE**  
**CITRUS EM CONSÓRCIO COM DEJETOS DE SUÍNOS**

RIO LARGO, AL

2016

ÍCARO VICTOR VALÉRIO DE SOUZA SANTOS

BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DOS RESÍDUOS DA AGROINDÚSTRIA DE  
CITRUS EM CONSÓRCIO COM DEJETOS DE SUÍNOS

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

Orientador: Prof. Dr. Elton Lima Santos

Co-orientador: Prof. Dr. Eduardo Lucena C. Amorim

Rio Largo, AL

Maio de 2016

*“A Deus pela sua infinita misericórdia.. Deus é amor!”*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, que em sua infinita misericórdia nunca me abandonou e sempre iluminou meus caminhos para que nada de mal me acontecesse.

A minha família, que sempre esteve presente em minha vida, em especial meus pais, que além de serem espelhos, me proporcionaram uma formação íntegra e justa, que foi fundamental para eu me tornar o que sou hoje.

A minha Namorada Cassia Ticiane pelo amor, incentivo, apoio incondicional, companheirismo e suporte emocional.

A minha amiga Thaíse Evilda que vem me acompanhando desde os tempos de graduação, obrigado pelo incentivo e companheirismo de sempre.

Ao meu Professor, Orientador e amigo Elton Lima Santos, que me vem orientando desde a graduação com seus ensinamentos que são de fundamental importância para minha carreira profissional.

Agradecer também ao co-orientador Eduardo Lucena por me ajudar bastante na minha pesquisa desde a montagem até o processamento dos resultados.

A minha amiga Norma Candido por toda paciência nos ensinamentos no laboratório onde realizei minha pesquisa.

Ao Laboratório de Resíduos Sólidos da Universidade Federal de Alagoas por abrir as portas para que eu pudesse fazer minhas pesquisas.

Aos meus colegas de mestrado pelo companheirismo durante esses dois anos de amplo aprendizado mútuo.

Ao Centro de Ciência Agrárias da Universidade Federal de Alagoas por sempre me acolher da melhor maneira possível, berço de todo meu conhecimento na área das ciências agrárias.

Ao programa de Pós-Graduação em Energia da Biomassa por tornar possível eu realizar esse mestrado.

E aos demais que de forma direta ou indireta tornou esse sonho possível, família, amigos e DEUS!!

## **LISTA DE TABELA**

Tabela 1 - Caracterização do resíduo de citrus

Tabela 2 - Composição do resíduo de suíno.

Tabela 3 - Tratamentos do experimento.

Tabela 4 - Análises feitas durante o experimento.

Tabela 5 - Valores de Sólidos Totais, Sólidos Totais Voláteis e Sólidos Totais Fixos

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Etapas da degradação Anaeróbia.

Figura 2 - Biodigestores no local de acondicionamento.

Figura 3 - Granja suinícola onde foram coletados os dejetos que serviram como inóculo.

Figura 4 - Biodigestor Experimental

Figura 5 - Gráfico com os valores médios de pH inicial e ao final de 60 dias de biodigestão anaeróbia.

Figura 6 - Gráfico da variação da Demanda Química de Oxigênio

Figura 7 - Gráfico da produção de metano ( $\text{CH}_4$ ) a partir do uso de resíduos de citrus com dejetos de suínos.

## RESUMO

Nos dias atuais, o cenário da matriz energética mundial e brasileira é de grande dificuldade, devido ao aumento da demanda pelos combustíveis fósseis o que causa instabilidades nos preços e no setor dos combustíveis, além de sérios riscos ambientais a toda população. O momento difícil vem impulsionando a procura por novas fontes de energia renováveis e limpas, como o biogás. Desta forma, este trabalho teve como objetivo avaliar a biodigestão anaeróbia a partir do resíduo da agroindústria do citrus utilizando como inóculo a água residual da suinocultura. Foram utilizados 12 reatores anaeróbios tipo batelada, alimentados com diferentes concentrações de resíduos de citrus sendo inoculadas com dejetos da suinocultura. Foram testadas 4 concentrações de resíduo de citrus (25%, 50%, 75% e 100%) durante 60 dias. Foi observado que o aumento da concentração de resíduos de citrus causou uma diminuição do pH e, conseqüentemente atividade metanogênica específica fato que pode ser atribuído a substância inibidora (D-limoneno) presente na casca do citrus, que quando não passam por um pré-tratamento podem afetar negativamente os trabalhos dos microorganismos metanogênicos. Entretanto, sugere-se a proporção de 25% de resíduo de citrus com 10% de inóculo de dejetos suínos para uma melhor produção de metano quando não houver pré-tratamento do citrus.

Palavras-chave: Biogás. Digestão Anaeróbia. Citrus. D-limoneno.

## ABSTRACT

Numbers Present Days , Scenario Energy Matrix Brazilian and global and of great difficulty , due to the increased demand For Fossil Fuels What causes instabilities and prices and not the Fuel Sector , in addition to serious environmental risks Every one population. O momento difícil vem impulsionando a procura por novas fontes de energia renováveis e limpas, como o biogás. Desta forma, este trabalho teve como objetivo avaliar a biodigestão anaeróbia a partir do resíduo da agroindústria do citrus utilizando como inóculo a água residual da suinocultura. 12 reactors were used anaerobic batch type, fed with different citrus residue concentrations being inoculated with swine manure. They were testadas 4 citrus residue concentrations (25 %, 50 %, 75 % and 100 %) for 60 days. It was observed that the concentration of citrus waste caused a pH decrease , and consequently methanogenic specific activity , which can be attributed to inhibitory substance ( D-Limonene ) present in the citrus peel , when not undergo a pre -treatment may adversely affect the work of methanogenic microorganisms. However, it is suggested that the proportion of 25% of citrus residue with 10% inoculum manure for improved methane production when no pre- treatment of citrus.

Keywords: Biogas. Anaerobic Digestion. Citrus. D-limonene.



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>13</b>
<b>3.1</b>	<b>Resíduos da agroindústria de Citrus .....</b>	<b>13</b>
<b>3.2</b>	<b>Resíduos da suinocultura .....</b>	<b>14</b>
<b>3.3</b>	<b>Digestão anaeróbia .....</b>	<b>17</b>
<b>3.4</b>	<b>Produção de Biogás .....</b>	<b>19</b>
<b>4.</b>	<b>Metodologia.....</b>	<b>21</b>
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>30</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>40</b>
<b>7.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>41</b>
<b>8.</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>43</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente o cenário da matriz energética mundial e brasileira é de grande dificuldade na oferta, devido ao aumento da demanda pelos combustíveis fósseis o que causa instabilidades nos preços e no setor dos combustíveis. O momento difícil vem impulsionando a procura por novas fontes de energia renováveis e limpa, e o Brasil tem se mostrando um país com grande potencial na produção de energia da biomassa (ESCOBAR et al., 2009).

Esse cenário surge como incentivo à substituição dos combustíveis fósseis por fontes renováveis, o que de sobremaneira aumenta o número de empresas e até mesmo fundos de investimento internacionais, que tem incentivado a utilização de resíduos das agroindústrias para produção de biomassa (TAVARES e TAVARES, 2015).

Além do que os combustíveis fósseis que tem contribuindo significativamente nas alterações negativas ao meio ambiente nos últimos anos (SOUZA et al., 2012). Desta forma, muitos resíduos que antes eram descartados pela agroindústria, atualmente estão sendo apontados como biomassa potencial para a produção de energia por métodos renováveis.

Pelizer (2007) ressalta que o resíduo agroindustrial, depois de gerado, necessita de destino adequado, pois, além de criar sérios problemas ambientais, representam também perdas de matérias-primas e energia, exigindo investimentos significativos em tratamentos para controlar a poluição. Sendo assim, a indústria de alimentos produz uma série de resíduos de alto valor de (re)utilização.

O Brasil é um país com grande vocação agroindustrial e rural, e particularmente o Estado de Alagoas, ao quais muitos municípios são evidência na produção primária, a exemplo da cadeia produtiva da laranja, onde se pode destacar como promissor para a utilização da biomassa residual para a produção energética, os resíduos de citrus.

Na década de 80, o Brasil conseguiu se manter entre os maiores produtores mundiais de laranja, com uma área plantada que supera mais de um milhão de hectares, onde a maior parte dessa produção é voltada para a fabricação de suco, segmento onde o país é líder mundial em exportação (NEVES et al., 2010).

Toda essa produção gera um grande volume de resíduos, que quando mal destinados podem causar graves problemas ambientais para a região que se concentra essa produção.

Alagoas tem a terceira maior produção citrus da região Nordeste, com produção de cerca de 213 mil toneladas anuais de laranja. Um grande diferencial da produção de citrus em Alagoas, é que sua produção é baseada no cultivo de laranja lima (*Citrus sinensis*) L. Osbeck se tornando assim o maior produtor dessa variedade de citrus no Brasil (COELHO, 2004).

Os resíduos oriundos do beneficiamento da laranja na indústria, muitas vezes podem ser desidratados e utilizados como matéria prima para extração de pectina (carboidrato presente no resíduo de citrus utilizado pela indústria alimentícia) ou também podem ser peletizados e utilizados para alimentação animal (MAMMA et al., 2008).

Segundo Bampidis e Robinson (2006) o resíduo de laranja produzido por indústria de suco é composto basicamente de casca (flavedo e o albedo), polpa (resíduos de vasos de suco), membranas e sementes. Portanto, um dos fatores que dificulta o aproveitamento desses resíduos é o fato de o resíduo ser muito úmido, inviabilizando muitas vezes seu transporte e armazenamento.

Portanto, frente a toda esta problemática, surge, na outra ponta, mais precisamente na Europa, um movimento voltado para as fontes alternativas de energias renováveis (BUTTERBY, 2009).

Assim, a utilização da tecnologia da biodigestão anaeróbia tem merecido destaque devido aos aspectos de saneamento e geração de energia (térmica e elétrica), além de estimularem a reciclagem orgânica e de nutrientes. De forma que, o biogás produzido pode ter o seu conteúdo energético aproveitado nos sistemas de produção rural e também no meio urbano, em aquecimento, iluminação, geradores de energia elétrica e em motores (SILVA e FRANCISCO, 2010).

Assim, a biodigestão anaeróbia representa uma solução para o tratamento de resíduos agroindustriais, e particularmente pode ser uma alternativa para a destinação dos resíduos de citrus, pois além promover a geração do biogás, utilizado como fonte de energia alternativa, permite também a reciclagem do efluente, que comumente é utilizado como biofertilizantes contendo um valioso valor biológico e potencial produtivo (AMARAL et al., 2004).

Logo, o presente estudo pretende avaliar a atividade metanogênica dos resíduos agroindustriais de citrus, de maneira que se possa produzir biogás a partir da

decomposição desses materiais que normalmente são descartados, prejudicando assim o meio ambiente.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 – Objetivo geral**

Avaliar o potencial energético da biodigestão anaeróbia a partir do resíduo da agroindústria do citrus utilizando como inóculo a água residual da suinocultura.

### **2.2 – Objetivos específicos**

- Realizar a caracterização físico-química do resíduo da agroindústria de citrus;
- Avaliar a influência de água residual da criação de suínos como inóculo na produção de metano;
- Avaliar a influência da concentração do substrato na produção de metano.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 - Resíduos da agroindústria de Citrus

O cultivo de laranja, introduzido no Brasil durante a colonização portuguesa, estava associada principalmente ao abastecimento da população de vitamina C, utilizada como antídoto do escorbuto que dizimava as tripulações dos navios naquele período. Devido às condições climáticas favoráveis, o cultivo foi facilmente adaptado ao Brasil (TEIXEIRA, 2009).

O gênero *citrus* surge como um dos mais importantes da cadeia vegetal, as espécies arbóreas cítricas estão dentre as espécies de maior valor no quesito de produção de frutos. Citrus é um gênero de plantas da família *Rutaceae*, ordem *Sapindales*, originárias do sudeste tropical e subtropical da Ásia.

A produção de laranjas, tangerinas, limões e limas têm aumentado rapidamente. O gênero *Citrus* é composto por numerosas espécies, que produzem frutos consumidos diariamente pelo mundo. Como exemplo pode citar a *Citrus sinensis* (Laranja), *Citrus paradisi* (Toranja), *Citrus deliciosa* (Mandarim), *Citrus limon* (Limão) e *Citrus aurantifolia* (Lima) (MDA, 2010).

O setor atualmente é altamente organizado e competitivo, a citricultura é uma das mais destacadas agroindústrias brasileiras. Responsável por 60% da produção mundial de suco de laranja, o Brasil é também o campeão de exportações do produto. Cerca de 50% da produção mundial de laranja e 80% da brasileira resultam em sucos industrializados (MAPA, 2010).

Os resíduos descartados das indústrias do segmento de alimentos, se bem manejados, poderia ser de grande utilidade para o homem e ao meio ambiente. Algumas frutas que possuem sementes são processadas para fabricação de alimentos e posteriormente descartadas sendo que poderiam ser utilizadas para minimizar o seu desperdício, Além da possibilidade de ter alto valor agregado quando processados e transformados em subprodutos como óleos vegetais (KOBORI e JORGE, 2005).

No entanto, grande parte desses resíduos gerados não passa por nenhum processo de beneficiamento devido ao alto custo econômico que isso gera. Argumentos, tais como altos custos de transporte, a falta de locais de depósito, são mais citados (TRIPODO et al., 2004).

A indústria de suco de laranja produz como subproduto o bagaço de laranja, que também é conhecida como polpa de laranja que compreende aproximadamente 50% do total da fruta. Após a extração do suco da fruta, obtém-se o bagaço, após duas prensagens a umidade do resíduo fica em torno de 65 a 75%, sendo depois submetida à secagem, da qual resulta até 90% de matéria seca, para então, ser peletizada e comercializada (TEIXEIRA, 2001).

Atualmente o uso principal dos resíduos da laranja é como complemento para a ração animal, tendo boa aceitação por bovinos e caprinos. Algumas limitações fazem com que estes resíduos tenham uma utilização restrita, entre elas a grande quantidade de água que contém o que acarreta problemas de coleta, transporte e armazenamento, ou seja, a questão da logística de manuseio e transporte muitas vezes inviabiliza a sua utilização (ALEXANDRINO et al., 2007).

Segundo Alexandrino (2007), devido ao elevado custo de desidratação e armazenamento, há interesse das empresas em desenvolver mercados para o bagaço cítrico úmido. Este interesse é maior, particularmente, para aquelas pequenas esmagadoras de laranja que produzem suco natural engarrafado ou para grandes empresas que não pretendem, em suas fábricas futuras, despendem o alto investimento necessário à secagem do bagaço de laranja.

Assis et al. (2007) relatou que o resíduo da indústria cítrica pode também ser utilizado para a produção de flavorizantes em alimentos e cosméticos, corantes naturais (carotenoides), antioxidantes (flavonas), biodiesel (ácidos graxos) e produção inseticidas naturais quando os autores avaliaram o resíduo da indústria produtora do suco de laranja tangerina mucorte (*Citrus reticulada*), essa região utiliza esse resíduo no solo.

### **3.2 - Resíduos da suinocultura**

O Brasil possui o quarto plantel de suínos do mundo, sendo a suinocultura um setor que contribui de maneira significativa para a economia do país. No entanto, é um setor com baixa qualidade ambiental, poluindo as águas, os solos, afetando a qualidade do ar através da emissão de maus odores, e pela proliferação descontrolada de insetos, ocasionando desconforto ambiental às populações (BELLI et al., 2001).

Os impactos da suinocultura sobre os recursos ambientais, principalmente sobre o solo e a água, são imensos, na medida em que as práticas produtivas tradicionais têm

negligenciado a aplicação de medidas de conservação ambiental que a atividade requer (OLIVEIRA, 2004).

A cadeia produtiva da suinocultura gera resíduos desde a criação até a industrialização. O efluente líquido gerado antes de ser disposto no ambiente, normalmente é tratado por meio de sistemas de lagoas de estabilização que, na maioria das vezes, não retiram por completo o excesso de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, provocando sérios problemas de eutrofização (REIDEL et al., 2004).

Existem hoje diversas alternativas tecnológicas de aproveitamento da biomassa para geração de energia. Uma das alternativas que vem despertando grande interesse é a tecnologia de biodigestão anaeróbia de resíduos animais, pela implantação de biodigestores (KUNZ e OLIVEIRA, 2006).

Dessa maneira, o grande desafio consiste na definição de um sistema que seja capaz de harmonizar a continuidade das atividades desta importante cadeia produtiva com o uso racional dos recursos naturais e a preservação da qualidade ambiental nas regiões de maior concentração de suínos (OLIVEIRA, 2004).

De acordo com Diesel et al.(2002), considera-se que o manejo dos dejetos é parte integrante de qualquer sistema produtivo de criação de animais e deve estar incluído no planejamento da construção ou modificação das instalações. Assim sendo, a seleção de um sistema de manejo dos dejetos é baseado em vários fatores, tais como: potencial de poluição, necessidade de mão-de-obra, área disponível, operacionalidade do sistema, legislação, confiabilidade e custos.

Os principais gases emitidos pelos sistemas de criação de suínos são dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), considerados promotores do efeito estufa (OLIVEIRA et al., 2004).

Apesar do resíduo da produção de suínos ser contaminante para o meio ambiente, por outro lado possui substâncias que podem ser utilizadas para formação de biomassa. Vários estudos apontam a utilização o resíduo suíno como um dos mais ricos com relação à potencial de biomassa.

Mees et al.(2009) estudaram a estabilização da biomassa de aguapé através da compostagem com águas residuárias de suínos e resíduos de frigorífico. Segundo Moraes e Júnior, a biodegradabilidade de dejetos da bovinocultura e suinocultura pode ser avaliada por metodologia simplificada, o que permite a verificação da aplicabilidade de processos anaeróbicos.



Enquanto que Coldebella et al.(2008) avaliaram a viabilidade da geração de energia elétrica através de um motor gerador utilizando biogás da suinocultura, e concluiu que o uso de biodigestores em propriedades rurais, além ser uma excelente alternativa para o tratamento dos dejetos gerados pelas atividades do agronegócio, torna-se economicamente viável quando o biogás e biofertilizantes são utilizados adequadamente.

O ensaio de atividade metanogênica específica (AME) de um lodo constitui-se uma importante avaliação para o monitoramento do processo anaeróbio, além de servir como um parâmetro de controle de estabilidade de reatores. Pode auxiliar na determinação das condições de partida de um reator, bem como da evolução e de possíveis alterações na qualidade da biomassa. O teste de atividade microbiana pode ser utilizado para quantificar e qualificar o potencial da biomassa na conversão de substratos solúveis em metano e gás carbônico (CHERNICHARO, 2007).

Duda e Oliveira (2012) estudaram a composição do lodo proveniente de reatores que tratam água residual de suínos e chegaram à conclusão de que houve o crescimento equilibrado das populações hidrolíticas, acidogênicas, acetogênicas e metanogênicas acetoclásticas e hidrogenotróficas no lodo do reator UASB e do filtro anaeróbio, necessárias para a degradação de um resíduo orgânico complexo com predominância de carboidratos e proteínas, como as águas residuárias de suinocultura.

Portanto, desenvolvimento de tecnologias para o tratamento e utilização dos dejetos como matriz energética é o grande desafio para as regiões com alta concentração de suínos. A restrição de espaço é a necessidade de atender cada vez mais as demandas de energia, de água de boa qualidade e alimento tem colocado alguns paradigmas a serem vencidos, os quais se relacionam principalmente à questão ambiental e a disponibilidade de energia (BARROS, 2007).

De maneira que a digestão anaeróbia, em biodigestores, provavelmente é o processo mais viável para conversão dos dejetos dos suínos em energia térmica ou elétrica, perde exclusivamente carbono na forma de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> (diminuindo a relação Carbono/Nitrogênio da matéria orgânica), o que resulta em um resíduo final melhor para uso como adubo orgânico em função da mineralização do nitrogênio e da solubilização parcial de alguns nutrientes (SILVA, 2010).

### **3.3–Digestão anaeróbia**

Nas últimas décadas tem se intensificado bastante a utilização do processo de digestão anaeróbia visando o tratamento de resíduos sólidos orgânicos das mais diversas origens, seja ela, industrial, rural ou urbana, visando o beneficiamento energético e conseqüentemente uma redução dos impactos ambientais (PIÑAS et al., 2015).

Uma das grandes vantagens da geração do biogás em biodigestores quando comparados com outras formas convencionais e consolidados de produção de energia, tais como, a produção de álcool a partir da cana-de-açúcar e de óleo extraídos de outras culturas, é a não competição com a produção de alimentos, que demanda grandes extensões de terra, a energia é limpa e gerada a partir dos dejetos que na sua maioria são descartados e prejudicam o meio ambiente (MIRANDA, 2009).

A biodigestão anaeróbia é o processo de decomposição de matéria orgânico submetidos a um ambiente de anaerobiose (ausência de oxigênio) gerando um composto constituído na sua maioria de metano e dióxido de carbono, mais conhecido como biogás e um resíduo líquido rico em minerais que pode ser utilizado como biofertilizantes. (SANDERSON, K. 2013)

Uma das vantagens da utilização de biodigestores no tratamento da fração orgânica putrescível é a utilização de espaços relativamente pequenos e não causam maus odores, além da facilidade maior de operação por se tratar de um sistema mais simples (FELIZOLA, 2006). O produtor ainda terá um ganho ambiental, pois deixará de utilizar combustível fóssil por um renovável, diminuindo assim o impacto ambiental que sua propriedade poderia causar contribuindo assim para a conservação do meio ambiente.

No processo de biodigestão anaeróbia ocorre a deterioração da matéria orgânica complexa, que necessita contar com a atuação de microrganismos procarióticos anaeróbios facultativos, bactérias de origem fermentativas, acetogênicas e arqueas metanogênicas, que são de fato os responsáveis por todas as fases deste processo (NASCIMENTO, 2009).

Esse processo de biodigestão anaeróbia pode ser dividido em quatro fases ou etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. Durante o processo os microrganismos específicos atacam os materiais orgânicos complexos (proteínas, gorduras e carboidratos) transformando-os em compostos orgânicos simples (aminoácidos, ácidos graxos e açúcares) que são metabolizados por outros

microrganismos específicos então transformados em biogás (KUNS, 2006).

### **Hidrólise**

É nessa fase que é hidrolisada toda matéria orgânica complexa presente no substrato da matéria, transformando assim esse substrato em complexos orgânicos mais simples, facilmente digeridos por outro grupo de bactéria na próxima fase (OLIVEIRA, 2004).

### **Acidogênese**

A segunda fase é também conhecida como fase ácida, espécies anaeróbias estão envolvidas dessa fase e ajudam na retirada do oxigênio dissolvido presente no meio, fator que pode influenciar de maneira negativa o processo. É nessa fase que os monômeros formados na primeira fase darão origem aos ácidos orgânicos simples (como ácido acético, propiônico, láctico, fórmico, ou mesmo acetatos e hidrogênio) através da ação das bactérias saprófitas, nessa fase há uma pequena produção de gás carbônico e hidrogênio provenientes de uma degradação intermediária (OLIVEIRA, 2004).

### **Acetogênese**

Na acetogênese o material resultante da Acidogênese é transformado em ácido etanóico, hidrogênio e gás carbônico por bactérias acetogênicas. Esse é uma das fases mais delicadas do processo, pois é necessário manter o equilíbrio para que a quantidade de hidrogênio gerado seja consumida pelas archeas responsáveis pela metanogênese (RIZZONE, 2012).

### **Metanogênese**

Segundo Miranda, na última fase, chamada de gaseificação ou metanogênese, os subprodutos (ácidos) formados na fase anterior são digeridos pelas *archeas* metanogênicas, microorganismos de suma importância no processo de produção de metano. Dois grupos de bactérias se destacam na produção de metano, o primeiro grupo utiliza o acetato (*Methanosarcina spp. e Methanotrix spp.*) enquanto que o segundo grupo utiliza o hidrogênio (*Methanobacterium spp. e Methanococcus spp.*). Devido à formação de micro bolhas de metano e dióxido de carbono em torno da *archea* metanogênica durante a produção de biogás, a última fase é quem dita o ritmo de toda cadeia de reações, pois há um isolamento da mistura impedindo o contato direto da mesma com a mistura em digestão.

### 3.4 Produções de Biogás

A produção de energia elétrica a partir da biomassa, atualmente, é muito defendida como uma alternativa importante para países em desenvolvimento, que apresentam falhas no fornecimento de energia. Considerado um dos principais causadores de problemas ambientais no agronegócio, os dejetos gerados na criação de animais estão sendo aproveitados para a geração de gás combustível e fertilizante, onde esta matéria orgânica é utilizada como substrato para bactérias metanogênicas (bactérias formadoras de gás metano) responsáveis pela produção de biogás (COLDEBELLA ET al., 2008).

Segundo Royae et al. (2011), do ponto de vista agrícola, a substituição dos derivados combustíveis à base de petróleo pode economizar com a ausência de gastos no transporte de bujões de gás. O biogás pode e deve contribuir para uma melhoria considerável na qualidade de vida nessas regiões. Nas áreas rurais é comum até hoje a utilização de fogões à lenha e tratores movidos a diesel. Com a chegada do biogás, os fogões não emitirão fumaça e nem os tratores poluirão tanto o ambiente.

O processo de fermentação anaeróbia é comumente encontrado na natureza, mas pode ser realizado em grandes volumes de dejetos e controlado por meio de um equipamento conhecido como biodigestor ou reator anaeróbio. Nesse processo as bactérias metanogênicas atuam sobre os ácidos orgânicos para produzir biogás (FARRET, 1999).

O biogás é constituído de vários gases, mas os principais componentes são o metano ( $\text{CH}_4$ ), que corresponde a cerca de 65%, e o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), que corresponde a cerca de 35% da mistura. Encontramos também nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), oxigênio ( $\text{O}_2$ ) e gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), cada um destes correspondendo a no máximo 1% da mistura (METZ, 2013).

Com isso o poder calorífico do biogás também varia conforme sua composição, sendo aproximadamente de 22.500 a 25.000  $\text{kJ.m}^{-3}$ , assumindo que o metano possua 35.800 $\text{kJ.m}^{-3}$ . Com o tratamento e remoção do  $\text{CO}_2$  o poder calorífico do biogás se potencializa já que 60% do poder calorífico do gás provem do metano (SALOMON e LORA, 2005).

O metano causa impacto 21 vezes maior que o gás carbônico em termos de aquecimento global (SILVA e FRANCISCO, 2010).

Atualmente existe um grande número de sistemas de tratamento anaeróbios de resíduos agroindustriais como: reatores anaeróbios de manta de lodo (UASB), reatores anaeróbios tubulares para tratamento de esgoto de águas residuais, sistema de circulação interna, filtro de fluxo horizontal com bambu para águas residuais de mandioca e lagoas anaeróbias (RAJBHANDARI e ANNACHHATRE, 2004).

A produção do biogás, a partir da biomassa, começa a se processar por volta de 20 dias, aumentando até chegar ao máximo na terceira semana e conseqüentemente diminuindo lentamente durante o período de fermentação e, para não ocupar o biodigestor nas fases de produção mínima, que pode atrapalhar o bom andamento de todo o processo, é viável programá-lo para um período de produção de 5 a 6 semanas (ARRUDA et al., 2002).

Alterações do pH no interior do biodigestor podem afetar drasticamente as bactérias envolvidas no processo. A média do valor do mesmo varia entre 6,0 a 8,0, tendo o pH 7,0 como ponto ótimo. Isso ocorre naturalmente quando o processo se dá em condições normais (NEVES, 2010).

Avaliando a produção de biogás a partir de dejetos de origem animal, Santos e Nardi (2013) concluíram que a produção do biogás e do biofertilizantes pelo sistema de biodigestão agrega valor à propriedade rural, seja pelo fator financeiro, como pela integração às mais variadas atividades que se desenvolvem no meio rural, trazendo geração de energia.

Praciano et al. (2014) utilizando energia proveniente do biogás gerado a partir do resíduo de produção de caprino também encontraram resultados positivos. Segundo o autor, a geração de energia elétrica por meio de biogás proveniente de resíduos de 80 caprinos é viável tecnicamente, pois é possível gerar energia elétrica suficiente para atender demanda energética de um hectare de melão no perímetro irrigado Jaguaribe-Apodi-RN, proporcionando sustentabilidade energética para a agricultura familiar.

A partir desses e outros resultados percebe-se que é possível através de diversas metodologias, transformarem os resíduos da agroindústria, que comumente voltam à natureza sem nenhum tratamento, causando grandes prejuízos para o meio ambiente, em energia limpa e renovável, contribuindo assim não só para o meio ambiente, como também aumentando à qualidade de vida das populações do campo.

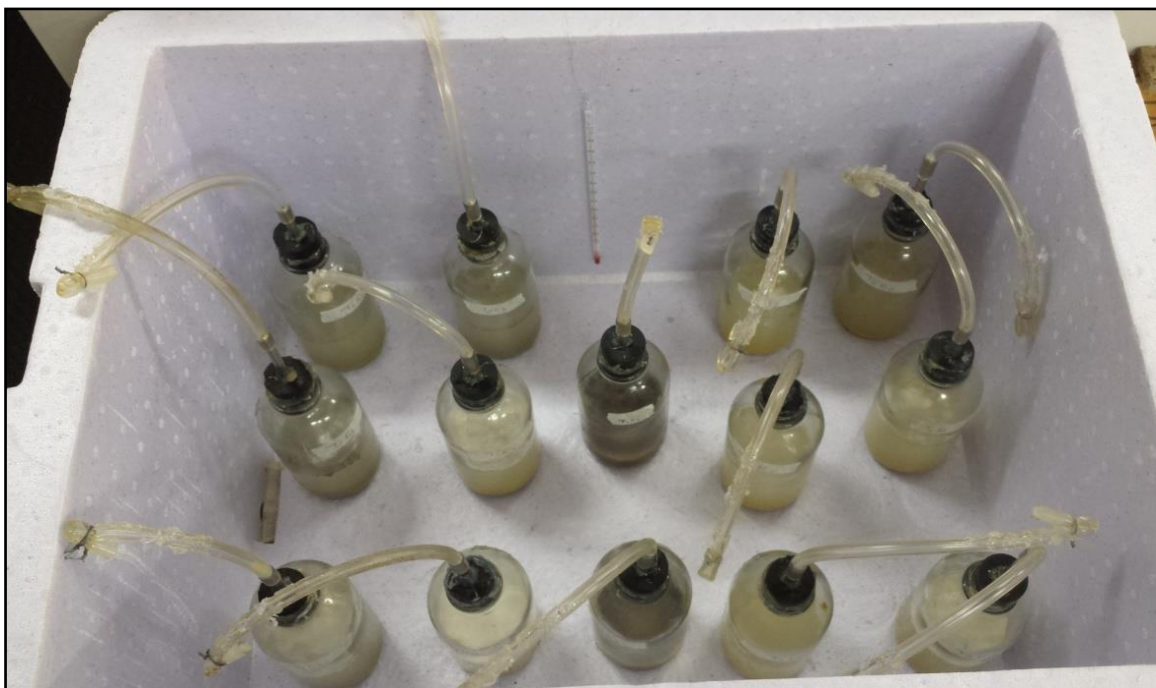
## 4. Metodologia

### 4.1 – Caracterização da área experimental

O experimento foi montado e conduzido no Laboratório de Saneamento Ambiental do Centro de Tecnologia (CTEC) da Universidade Federal de Alagoas.

Foi utilizada para condução e desenvolvimento da pesquisa, uma bateria com 12 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*”. Os frascos utilizados como biodigestores eram de vidro e a tampa de borracha com um cano metálico. A anaerobiose foi instalada pela substituição de todo ar atmosférico presente no *headspace* dos frascos pelo aborbulhamento de nitrogênio nos frascos.

O tempo de execução do experimento foi de 60 dias, onde durante esse período foi medido os valores qualitativos de biogás produzido por cada reator.



**Figura 2** - Biodigestores experimentais no local de acondicionamento.

Para evitar a variação de temperatura, fator que pode influenciar diretamente na produção de metano, os biodigestores foram acondicionados em uma única caixa isotérmica com tampa, a temperatura dentro da caixa se manteve estável em torno de 26°C.

#### 4.2– Coleta e caracterização do resíduo de citrus

O resíduo de citrus utilizado ou também chamado de bagaço da laranja foi cedido pela indústria de suco da Cooperativa dos Produtores de Laranja (COOPLAL), localizada no Município de Santana do Mundaú, zona da mata de Alagoas. O material, com umidade média inicial de 93% (b.u.), foi acondicionado, inicialmente, em sacos de polietileno e armazenado em freezer a temperatura média de -15°C.

Após coletado, foram feitos os ensaios para determinação dos parâmetros físico-químicos, para avaliar a possibilidade de tratamento do mesmo. Foi feita análise de acidez, sólidos solúveis, glicose, umidade, cinzas, fibra, nitrogênio, fósforo, sólidos.

**Tabela 1** - Caracterização do resíduo de citrus

<b>Parâmetros</b>	<b>Resíduo de citrus</b>
pH	3,55
DQO (mg/L)	10.895,08
Nitrogênio Total (NTK) (mg/L)	1.937,43
Glicose	0,142
Umidade (%)	93,0
Cinzas (%)	4,40
Fibra Bruta (%)	24,0
Sólidos solúveis (brix)	5,43

Fonte: Autor, 2015

#### **Potencial Hidrogeniônico (pH)**

O pH foi medido instrumentalmente com medidor potenciométrico com eletrodo de calomelano. O pHmetro foi pré-calibrado com precisão de duas casas decimais (CETESB, 2009, APHA, 2012).

Para correção de pH foi utilizado H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> aumentar o valor e NaOH para diminuir o valor do pH quando necessário.

#### **Demanda Química de Oxigênio (DQO)**

O DQO é a quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica de uma amostra por um forte agente químico (dicromato de potássio) em meio acidificado é denominada DQO. As medições foram realizadas no comprimento de onda 620nm pelo espectrofotômetro HACH, modelo DR-2500, após digestão a 150 °C por 120

minutos (APHA, 2012).

### **Nitrogênio Total (NTK)**

A metodologia foi efetivada de acordo com a metodologia indicada por APHA (1999) e se baseia no método da digestão ácida.

Este método converte, em meio ácido através da digestão, o nitrogênio orgânico que está presente na amostra em nitrogênio inorgânico (íon amônio,  $\text{NH}_4^+$ ).

### **Fósforo Total**

O fósforo apresenta-se nas águas sob três formas diferentes. Os fosfatos orgânicos são a forma em que o fósforo compõe moléculas orgânicas. Os ortofosfatos são representados pelos radicais, quase combina com cátions formando sais inorgânicos nas águas. Os polifosfatos, ou fosfatos condensados, polímeros de ortofosfatos que por hidrólise convertem-se rapidamente em ortofosfatos nas águas naturais (CETESB, 2009). A determinação foi realizada pelo método espectrofotométrico do 23anádio-molibdato de amônia em comprimento de onda 400 nm (APHA, 2012).

### **Sólidos Totais – ST**

Para determinação dos sólidos totais, foi mensurado o peso ( $P^0$ ) da cápsula de porcelana após sair da mufla a  $550^\circ\text{C}$  por 1 hora, seguida por esfriamento em dissecador e pesadas. Em seguida, foi Transferida para a cápsula 50 mL da amostra bruta, medidos em proveta de 100 mL e colocado em estufa a temperatura de  $103\text{-}105^\circ\text{C}$  durante aproximadamente 24 horas (APHA, 1999). Retirada da estufa foram colocadas em dissecador até esfriarem e a cápsula foi novamente pesada, obteve-se assim o peso seco ( $P^1$ ), sendo determinados pela equação 1.

Equação 1 – Equação para cálculo da concentração dos ST

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

### **Sólidos Totais Voláteis – STV**

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 dissecador e pesadas em balança de precisão, obtendo-se assim o peso, (APHA, 1999), sendo calculados pela equação 2.

Equação 2 – Equação para cálculo da concentração dos STV

$$\text{STV} \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{(\text{P}_1 - \text{P}_2) \cdot 10^6}{V_{\text{amostra}}}$$

### **Sólidos Totais Fixos – STF**

Os sólidos totais fixos são a porção do resíduo que resta após a calcinação a 550°C por 1 hora (APHA, 1999), e foram calculados pela equação 3 abaixo:

Equação 3 – Equação para cálculo da concentração dos STF

$$\text{STF} \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{(\text{P}_2 - \text{P}_0) \cdot 10^6}{V_{\text{amostra}}}$$

### **Glicose**

A glicose foi quantificada através do método calorimétrico do 3,5-INITROSALICILICO (DNS), descrito segundo (MILLER, 1959), utilizando na análise das amostras, diluindo com água destilada e adicionando o reagente de DNS, levando ao aquecimento e analisando a absorvidade de composto formado em 540nm.

### **Umidade**

A técnica gravimétrica com emprego do calor é a mais utilizada e baseia-se na determinação da perda de peso do produto submetido ao aquecimento, até peso constante. O resíduo obtido no aquecimento direto é chamado de resíduo seco e, em geral, o processo mais utilizado é o aquecimento direto da amostra a 105°C.

### **Cinzas**

As cinzas de um alimento correspondem ao resíduo obtido por incineração em temperaturas de 550 a 570°C. As cinzas não podem conter pontos de carvão e são

geralmente brancas ou acinzentadas.

### **Fibras**

Fibra é o resíduo orgânico obtido em certas condições de extração e além da celulose, lignina e hemicelulose, areia e outras substâncias minerais presas aos tecidos celulares.

O teor de fibras em alimentos varia de acordo com a sua origem. As frutas e seus produtos podem apresentar de 0,1 a 6,8%; leguminosas, de 2 a 4%; cereais e seus produtos de 0 a 2,2%.

O método abordado simula *in vitro* o processo da digestão *in vivo*, constando fundamentalmente de uma digestão em meio ácido, seguida por uma digestão em meio alcalino. O resíduo destas digestões representa a “fibra bruta” e o resíduo da incineração desse material a “fração fibra” do produto analisado.

### **4.3 – Coleta e caracterização do resíduo de suínos**

O resíduo de suínos foram coletados de uma granja comercial localizada na região metropolitana de Maceió-AL (Figura 03).

**Figura 3.** Granja suinícola onde foram coletadas os dejetos que serviram como inóculo



Fonte: Autor, 2015

Após coletada, a amostra foi acondicionada em um recipiente fechado e mantido em um freezer a uma temperatura média de -15°C, evitando assim que houvesse alterações significativas nas suas propriedades físico-químicas.

**Tabela 2** - Caracterização do resíduo de suíno

Parâmetros	Afluente	Eficiência (%)
Temperatura °C	23	-
pH	7,59	-
DQO (mg/L)	8.626,96	76,64
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	2.472,27	84,86
Nitrogênio Total (NTK) (mg/L)	1.937,43	-
Alcalinidade a Bicarbonato (mg/L)	4.318,80	-
Ácidos Voláteis Totais (AVT) (mg/L)	276,4	-
Nitrogênio Amoniacal Total (mg/L)	1.097,90	-
Fósforo (P) (mg/L)	165,53	-
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	23.901,89	-

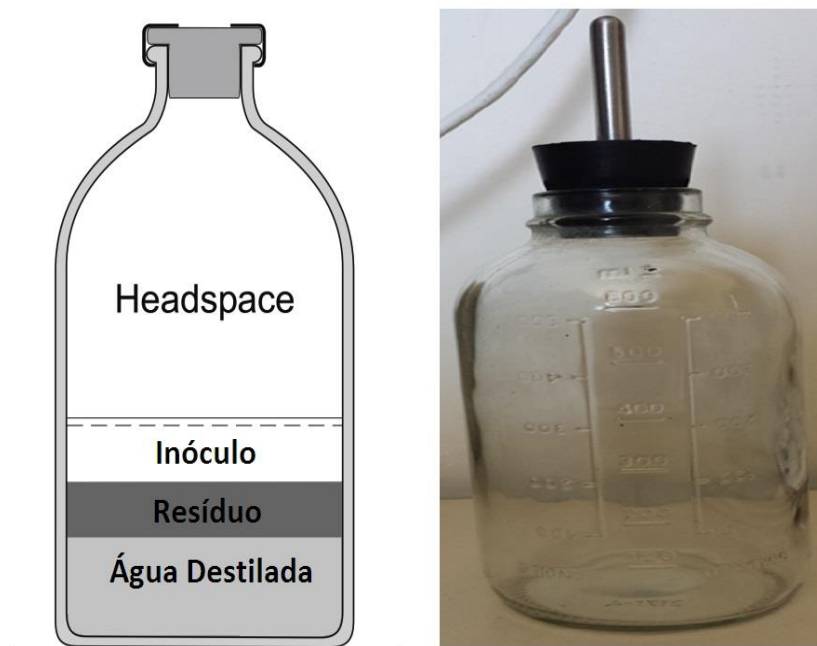
Fonte: Autor, 2015

#### 4.4 – Montagem e *design* experimental dos biodigestores

O experimento foi conduzido utilizando-se 12 reatores experimentais (biodigestores) do tipo batelada, também é conhecido como biodigestor de fluxo hidráulico descontínuo.

Foi utilizada, como reator, vidrarias de laboratório com capacidade volumétrica de 600 mL, sendo 300mL reacional, e 300 mL destinado ao *headspace*. Os recipientes de vidro foram hermeticamente fechados com tampa tipo “rolha” de borracha com uma abertura que possui um pequeno canal de metal onde foi acoplada a mangueira de silicone, por onde as amostras de gases eram coletadas através da seringa “*gastight*” com trava (Figura 4).

**Figura 4: Desenho e fotografia do Biodigestor experimental utilizado**



**Fonte: Autor, 2015**

Foram testados quatro modelos reacionais (tratamentos) com três repetições cada, onde no tratamento 1 foi introduzido 100% de resíduo de citrus (RC), o tratamento 2 foi composto de 75% de RC, o tratamento 3 foi composto de 50% de RC e o tratamento 4 foi composto de 25% RC. Em todos os tratamentos foi utilizado como inóculo 10% do volume reacional, composto de dejetos de suínos. O volume e porcentagem do substrato utilizado nos biodigestores estão descritos na tabela 3.

**Tabela 3 - Descrição dos tratamentos do experimento**

Treatamentos	Inóculo	Resíduo de citrus	Água destilada
T1	10% (30 mL)	100% (8,10g)	270 mL
T2	10% (30 mL)	75% (6,10g)	270 mL
T3	10% (30 mL)	50% (4,05g)	270 mL
T4	10% (30 mL)	25% (2,02g)	270 mL

**Fonte: Autor, 2015**

#### **4.5 – Análises do biogás**

As análises das amostras de biogás que eram coletados nos biodigestores foram analisadas através de cromatografia gasosa, conforme a metodologia sugerida por Maintinguer et al. (2008). Foram coletadas amostras do substrato na fase líquida inicial

e final para que fossem aferidos os valores DQO, sólidos totais, sólidos voláteis, sólidos totais fixos e pH.

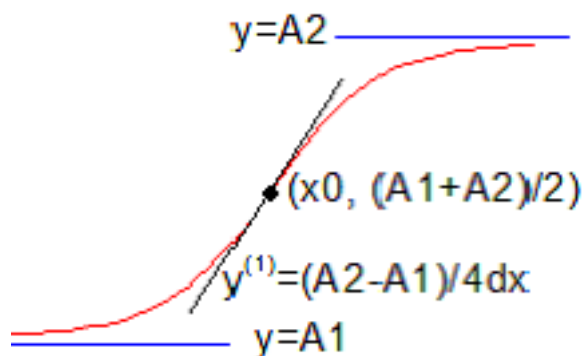
#### 4.5.1 - Determinação de Metano

A primeira coleta de gás foi realizada três dias após a montagem e início das reações nos biodigestores experimentais. Para a determinação da produção de metano e composição do biogás foi utilizado um cromatógrafo a gás (Shimadzu GC-2010-Plus®), equipado com detector de condutividade térmica. A coluna utilizada foi a Supelco Carboxen 1010 Plot (de 30 m de comprimento de diâmetro interno de 0,53 mm).

Posteriormente, os resultados da produção de metano foram agrupados, onde os gráficos obtidos e os dados de atividade metanogênica específica foram ajustados para o modelo de Boltzmann, seguindo as recomendações de Florentino et al. (2010).

Equação 1 - Linear de Boltzmann

$$Y = \frac{A_1 - A_2}{1 + e^{(x-x_0)/dx}} + A_2$$



Onde:

Valor inicial:  $A_1 = 0$

Valor final:  $A_2 = 1$

Centro:  $x_0 = 0$

Constante de tempo:  $dx = 1$

#### 4.6 - Frequência das análises

Na tabela 4, estão representadas as análises realizadas e suas respectivas frequências de mensurações.

**Tabela 4** - Frequência das análises realizadas durante o experimento.

<b>Análise</b>	<b>Frequência</b>
pH	Inicial e Final
DQO	Inicial e Final
Conteúdo do biogás (CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> )	A cada dois dias
Sólidos Totais (ST), Sólidos voláteis totais (SVT) e Sólidos fixos	Inicial e Final

**Fonte: Autor, 2015**

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados encontrados, foi observado no presente experimento uma redução dos ST, STV, STF em todos os tratamentos quando comparados os valores no início e após os 60 dias de operações dos reatores, corroborando com Leite et al. (2009) que estudando o tratamento anaeróbico de resíduos sólidos orgânicos com duas concentrações de sólidos (alta e baixa) também verificou uma diminuição na concentração de sólidos totais após o período de bioestabilização (Tabela 5).

**Tabela 5** - Valores de Sólidos Totais, Sólidos Totais Voláteis e Sólidos totais Fixos (mg/L).

<b>Tratamentos</b>	<b>Valores médios</b>	<b>ST</b>	<b>STV</b>	<b>STF</b>
100% RC	inicial	4113,00	3462,00	651,00
	final	4008,00	3458,00	550,00
75% RC	inicial	2728,00	2350,00	378,00
	final	2309,33	2273,00	362,33
50% RC	inicial	2367,50	1643,75	723,75
	final	1837,00	1463,00	374,00
25% RC	inicial	2047,75	1462,75	585,00
	final	903,00	543,00	360,00

**Fonte: Autor, 2015**

RC = resíduo de citrus

Steil (2010) avaliando três tipos de inóculos (dejetos de galinha de postura, frango de corte e suínos) na biodigestão anaeróbia também observou uma diminuição nos valores de sólidos totais ao final do período experimental em todos os tratamentos. Assim como Amaral et. al. (2004) que também verificaram uma diminuição significativa nos valores de sólidos quando estudaram a biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica.

Já de acordo com Leite e Povinelli (1999), o tratamento de digestão anaeróbia aplicando altas concentrações de sólidos, torna-se uma alternativa promissora de destinação para esses tipos de resíduo, porém, devem ser levados em consideração os aspectos técnicos, econômicos, sociais e ambientais de cada caso onde for aplicado. Pois, esse processo de tratamento pode ser influenciados por vários fatores, que são inerentes ao substrato.

Foi observado por Amorim et al. (2004) estudando a biodigestão anaeróbia de dejetos caprinos obtidos nas diferentes estações do ano, que não se verificou diferença significativa na redução dos valores de sólidos totais e sólidos totais voláteis (36% de consumo), ou seja, as estações do ano não interferiram no consumo dos sólidos pelos microrganismos, nas condições experimentais avaliadas.

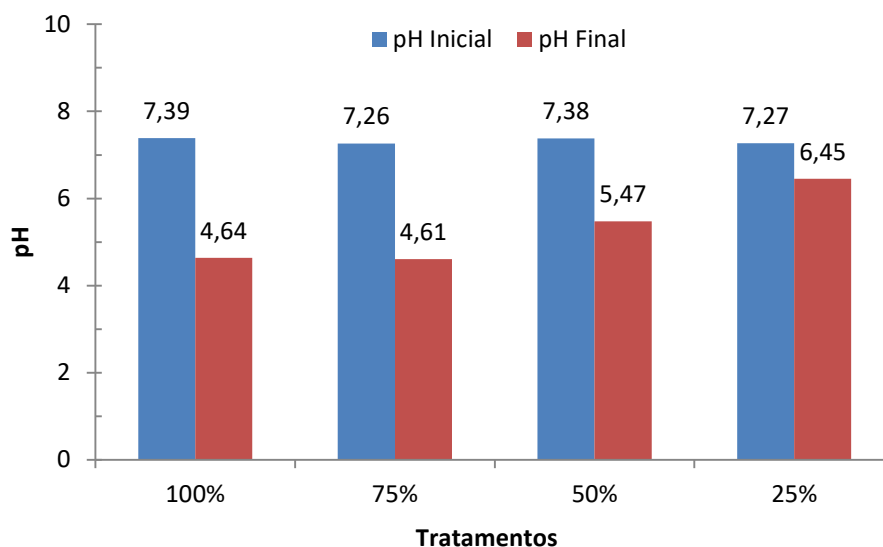
Apesar disso, Al-Masri (2001) correlacionou as alterações na produção de gás com as variações na redução de sólidos totais e voláteis durante o período de fermentação anaeróbia, comprovando uma influência direta e muito significativa desses valores na produção de biogás. Leite e Povinelli (1999), avaliando a digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos identificaram que o comportamento de ST não expressa de maneira satisfatória os mecanismos envolvidos na digestão anaeróbia dos resíduos sólidos orgânicos por muitas vezes estarem presentes matérias de natureza complexa em sua composição.

De modo geral, no presente estudo pode se constatar uma alta eficiência na redução dos ST, STV e STF, no processo de biodigestão anaeróbia testado, sabendo-se que a redução desses valores é de extrema importância no que tange a diminuição dos efeitos negativos dos efluentes da agroindústria de citrus, que poderiam ser contaminantes nos corpos água naturais, podendo afetar negativamente sua qualidade e o seu uso.

De acordo com os resultados demonstrados na figura 5, foram verificadas diferenças expressivas nos resultados de pH ao final do experimento, para as diferentes concentrações de resíduos de citrus avaliados. Deste modo, observou-se que ao final dos 60 dias de avaliação os biodigestores com maior teor do resíduo de citrus no substrato foram os que obtiveram os resultados de pH menores.



**Figura 5** - Gráfico com os valores médios de pH inicial e ao final de 60 dias de avaliação da biodigestão anaeróbia.



**Fonte: Autor, 2015**

Vale salientar que no início das mensurações o pH das amostras foram corrigidos para próximo da neutralidade ( $\text{pH} = 7,0$ ) para que todos os reatores trabalhassem sobre as mesmas condições experimentais, diferenciando-se apenas o volume de resíduo de citrus que cada tratamento recebeu. Visto que, o resíduo de citrus, originalmente, possui um pH mais baixo que o inóculo utilizado.

No entanto, Barbosa (2015), num estudo avaliando um modelo de biodigestor de alimentação contínua para o Nordeste brasileiro com uso de dejetos de suínos como único substrato de digestão verificou poucas diferenças em relação ao pH do afluente e efluente, sendo a média de entrada 7,59 e do valor médio de pH da saída de 6,6.

Chernicharo (2007) relata que o pH entre 6.5 e 7.5 é o considerado ótimo para o máximo desempenho dos microrganismos dos micros produtores de metano. Assim como também Fulford (1998) onde destaca que o pH entre 6,0 e 8,0 pode ser considerado como uma faixa de pH ideal para o processo de biodigestão anaeróbia com a finalidade da produção de metano. Nesse estudo, apenas o tratamento com 25% de resíduos de citrus ficou com o pH dentro da faixa indicada pelos autores.

Os valores iniciais de pH são próximos aos valores encontrados por Forgács (2012), e permanecem dentro da faixa ideal para as bactérias metanogênicas (FANNIN,

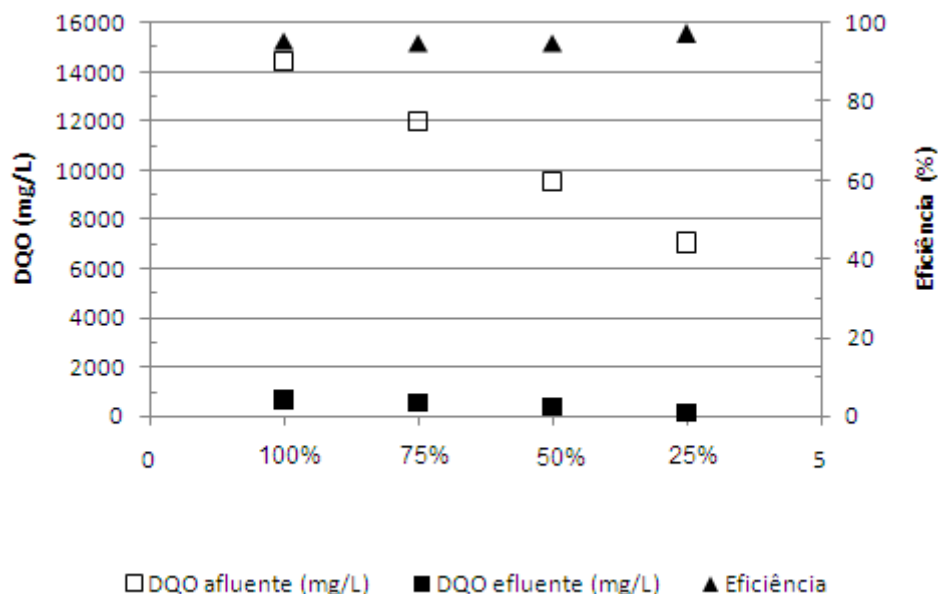
1987; WHEATLEY, 1990). Assim também como corroborado com os valores encontrados por Martin et al. (2010) que estudando a viabilidade da digestão anaeróbia de resíduos de casca de laranja derivado da indústria cítrica sob condições mesofílicas e termofílicas após um pré-tratamento para extrair o limoneno sem adição de aglutinante e neutralizante, pois esses autores relatam a dificuldade na ação das bactérias devido a essa substância presente no resíduo de citrus, o que prejudica o desenvolvimento das bactérias e conseqüente a maior efetividade da produção metanogênica.

Deubleine Steinhauer (2008) sugerem que um aumento exacerbado nos valores de pH na digestão anaeróbia pode conduzir à inibição da metanogênese, porém, segundo Kroeker et al. (1979) a inibição do processo de metanogênese é geralmente indicada por uma redução no estado estacionário da taxa de produção de gás metano e a acumulação orgânica de ácidos, o que ocasiona a acidificação do meio. O que provavelmente pode ter ocorrido no presente estudo, visto que a diminuição ascendente do pH a medida que a concentração do resíduo de citrus aumentava no substrato.

Vale destacar ainda, que nos processos avaliativos de biodigestão anaeróbia, o comportamento da Demanda Química de Oxigênio (DQO), medida que indica de forma indireta o teor de matéria orgânica do resíduo.

Desta forma, a concentração de DQO no substrato afluente apresentou variações entre 14.404 a 4.599 mg/L. No efluente essa variação foi de 658 a 199 mg/L, onde o tratamento 4, ou seja, que continha 10% de inóculo e 25% de resíduo de citrus foi o que obteve a melhor taxa de remoção de nutrientes entre todos os tratamentos avaliados, com uma taxa de 97% ao final do período experimental. Porém, os valores dos demais tratamentos não apresentaram diferenças expressivas, sendo que a média geral permaneceu em torno de 95% de eficiência (Figura 6).

**Figura 6** - Gráfico da variação da Demanda Química de Oxigênio



Segundo Reis (2012), a taxa de remoção de DQO está diretamente ligada com a temperatura, de forma que ele observou quedas na remoção de DQO em períodos que a temperatura ambiente diminuía, ainda segundo esse mesmo autor, esse fato pode estar ligado à menor taxa de decomposição anaeróbia nesses períodos.

Felizola et al. (2006) estudando o processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos de baixa concentração, utilizando um reator de compartimento, alcançou uma eficiência média de remoção de 78%, valores próximos ao encontrados por Reis (2012), que trabalhando com resíduos orgânicos e apresentou remoções máximas de 71%, no entanto ainda abaixo dos valores encontrados no presente estudo, o que demonstra uma efetividade na diminuição do DQO com o uso do resíduo de citros em qualquer das concentrações utilizadas.

Corroborando esses resultados, Leite et al. (2003) estudando a bioestabilização de resíduos sólidos orgânicos encontraram valores próximos ao que consta neste trabalho, os autores conseguiram uma taxa de 90% ao analisar uma amostra retirada com 180 dias de digestão.

Enquanto que Filho et al. (2002) avaliaram a digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos integrados com lodo de tanque séptico, e também conseguiram um

valor de 90% de eficiência em remoção no primeiro mês, porém esse valor caiu para 65% ao final do período experimental que foi de 4 meses.

Mazareli (2015) também utilizou água residual de suinocultura como inóculo a fim de investigar a co-digestão anaeróbia de resíduos vegetais em reatores horizontais de leito fixo e conseguiu uma ótima taxa de remoções de DQO que chegou a 96%, o que também corrobora com os resultados no presente estudo, quando evidenciado o tratamento com a maior taxa de remoção, ou seja, com 25% de resíduo de citrus.

Já Silva et al. (2013) testando a digestão anaeróbia de resíduos vegetais com baixa concentração de sólidos em reator compartilhado, conseguiram uma taxa de remoção de 54,1%, o que é satisfatória do ponto vista ambiental, mas inferior ao usualmente encontrado em condições experimentais, porém os autores argumentam que o pH teve uma variação ao longo do experimento o que afetou tanto a produção de gás como consumo da matéria, fato que também foi observado nessa pesquisa, visto que foi observada uma diminuição nos valores de pH à medida que se se aumentava a concentração de resíduos de citrus.

Mayer (2012) estudando a influência de diferente inóculos no tratamento anaeróbico de resíduos orgânicos observou um melhor resultado nos dois tratamentos que tinham inóculo lixiviado na sua constituição com uma taxa de 58% e 64%, enquanto que os dois tratamentos que receberam efluente de UASB como inóculo apresentaram valores de remoção de 27% e 33%.

O processo de digestão anaeróbia dos resíduos orgânicos pode ser otimizado e até acelerado a partir da utilização de métodos que contribuam para a obtenção de uma partida rápida e equilibrada, com o uso de inóculos apropriados (Barcelos, 2009). Assim, como empregado no presente estudo o inóculo de dejetos de suínos, é um dos mais propícios para o uso em biodigestores, sendo barato, abundante e altamente eficiente para acelerar os processos de biodigestão anaeróbia, como confirmado em todos os tratamentos, em que continham o inóculo.

Desta forma, Cheng et al. (2008) estudando fatores inibidores do processo de digestão anaeróbia destacaram que a diferença entre os inóculos, composição dos resíduos, métodos experimentais e condições experimentais influenciam diretamente na ação das bactérias do meio. Além disso e diante da problemática desses inibidores esses mesmos autores relatam ainda que a co-digestão com outros resíduos, a adaptação dos microrganismos para substâncias inibidoras e a incorporação de meios para remover ou

neutralizar substâncias tóxicas antes da digestão anaeróbia pode melhorar significativamente a eficiência do tratamento.

Em relação aos resultados encontrados da produção metanogênica no presente estudo, constatou-se que valores inferiores da produção de metano ( $\text{CH}_4$ ) foram sendo observados, a medida que aumentava-se a quantidade de resíduos de citrus nos reatores. Os resultados da produção de metano de cada tratamento podem ser observados na Tabela 6.

**Tabela 6** - Dados encontrados através da equação de Boltzman.

BOLTZMAN				
	T1	T2	T3	T4
A1	-17,51543	-11,08181	-4,24579	-12,29708
A2	72,00282	88,9337	80,09693	124,3508
x0	850,98577	989,0911	747,8095	834,8392
dx	607,17949	484,7723	268,6215	348,429
R <sup>2</sup>	0,99795	0,99818	0,99876	0,99737
Máxima taxa prod CH <sub>4</sub>	0,03686	0,05158	0,07850	0,09805
Tempo	27	39	38	56
Temperatura (°C)	26	26	26	26

O reator 04 apresentou a maior taxa de produção de metano com um valor de 0,09805 L/ $\text{CH}_4$ , enquanto que o reator apresentou a menor com valor de 0,03686 L/ $\text{CH}_4$ , nota-se que quanto maior a concentração de resíduos nos reatores menor foi a produção de metano no experimento. Os gráficos de produção de etanol de cada reator estão em anexo.

De forma geral, o sucesso de um processo anaeróbio em reatores, depende fundamentalmente da manutenção de uma biomassa com elevada atividade microbológica e sua resistência a choques (FLORENTINO et al. 2010).

Sendo assim, a diminuição da produção de metano observada, a medida que aumentou-se o teor de resíduos de citrus, pode ter sido ocasionada pela maior quantidade de substâncias inibidoras do crescimento das bactérias presentes no meio proveniente deste substrato, principalmente o limoneno, como já relatado por outras pesquisas com o uso dos resíduos de citrus (WIKANDARI et al., 2015; MARTIN et al., 2010). Pois, o tratamento com 100% com resíduo de citrus foi o que obteve os menores valores de metano, o que também pode ter ocorrido por conta da alta diluição do substrato.

Segundo Gerhardt et al. (2012), o limoneno é uma substância presente na casca de laranja, tem como característica a inibição bacteriana. Essa característica pode acabar

prejudicando o desenvolvimento das bactérias metanogênica e conseqüentemente influenciando negativamente a produção de biogás.

Deste modo, Pourbafrani et al. (2010), avaliando o potencial como biocombustível e a produção de limoneno e pectinado resíduo cítrico identificaram que uma tonelada de resíduo com 20% de peso seco pode produzir 39,64 L de etanol, 45 m<sup>3</sup> metano, 8,9 L de limoneno, e 38,8 kg de pectina. Destacando assim, o alto conteúdo dessa substância presente no material estudado.

No entanto, Mizuki et al. (1990) advertiram que para melhorar a digestão anaeróbia e a produção de metano a partir do resíduo de casca de laranja é importante fazer um pré-tratamento para remoção do óleo da casca por destilação a vapor ou aeração, diminuindo assim o efeito inibidor que o excesso desse óleo causa ao meio anaeróbio. Fato que não foi utilizado no presente estudo, o que poderia ter influenciado diretamente nos resultados encontrados.

Outras estratégias de diminuição deste efeito prejudicial do limoneno às bactérias metanogênicas foram testados por Forgács et al. (2011), que pesquisaram o desenvolvimento de processos de diminuição da toxicidade da casca de laranja a partir da extração do limoneno, utilizando a explosão de vapor, e conseguiram diminuir 94,3% da concentração de limoneno inicial, obtendo assim, uma elevada produção de metano nas amostras que receberam um pré-tratamento, correspondendo um valor 426% maior em comparação com as amostras que não receberam os pré-tratamentos.

Contudo, Park e Chang (2000) relataram que o efeito tóxico do limoneno sobre *Saccharomyces cerevisiae*, ocorre rompimento da membrana celular resultando em extravasamento dos conteúdos celulares e o desequilíbrio no metabolismo energético da glicólise.

O inóculo utilizado, dejetos de suínos, é um inóculo amplamente utilizado como formador e estimulador do crescimento de bactérias metanogênicas para processo de biodigestão anaeróbia, sendo assim, visto que o tratamento em que a menor concentração de resíduos de citrus foi proporcionalmente o que apresentou a maior produção de metano, podendo estar correlacionado com o fato de que ao passo que se aumentava a concentração de resíduos, aumentava também a concentração de limoneno no meio, prejudicando assim a ação das bactérias responsáveis pela produção de metano.

Sendo assim, Kuns e Oliveira (2006) avaliando o aproveitamento de dejetos de animais para geração de biogás observaram que os resíduos de granjas de suínos possuem um potencial de geração de biogás superior, quando comparados aos de aves e bovinos, portanto, a produção de biogás a partir do resíduo suíno é altamente viável, entretanto, deve ser levado em consideração o destino final dos efluentes dos biodigestores para se evitar o impacto ambiental deste no meio ambiente.

Informação essa corroborada por Martins e Paulo (2005) que afirmam que é economicamente viável a utilização do biogás produzido a partir dos resíduos da suinocultura, como fonte para geração de energia elétrica, além da preservação ambiental, pois os dejetos que poderiam ser fonte poluidora tornam-se um recurso energético renovável, gerando economia aos produtores que investirem nessa tecnologia.

Machado (2012) estudando o tratamento e aproveitamento de dejetos de suínos identificou que os biodigestores diminuem significativamente o poder poluente do efluente de suíno, porém, não foi considerada economicamente viável a utilização desses resíduos como fertilizante, e verificou-se uma produção média de 3.984 m<sup>3</sup>/dia de biogás

Barcelos (2009) avaliando a eficiência de três inóculos diferentes (esterco bovino, suíno e rúmen bovino) sobre a digestão anaeróbia de resíduos orgânicos sólidos domésticos, relatando que, após 167 dias de avaliação o reator com inóculo de rúmen bovino foi o mais eficiente, com uma produção média de 144 litros de metano, seguido pelo reator de esterco bovino (122litros) e esterco suíno (117 litros).

Wikandari et al. (2014), realizaram um experimento utilizando bioreatores de membrana, esses reatores além de fazer digestão da matéria orgânica, também fazem um trabalho de biofiltração direta do composto, é comumente utilizados em tratamento de esgoto doméstico, desta forma, as bactérias mais sensíveis à produção de metano foram encapsuladas em membranas, ao passo que as bactérias que digerem a matéria orgânica continuavam livremente suspensas no meio de cultura, sendo assim, como um experimento controle biodigestores semelhantes foram montados contendo a quantidade idêntica apenas de células livres, os biorreatores de membrana se mostraram mais eficiente para a produção de metano a 0,33 Nm<sup>3</sup>. kg<sup>-1</sup>, enquanto o reator de célula livre tradicional reduziu a sua produção de metano a 0,05 Nm<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup>. Aproximadamente 73%

do rendimento teórico metano foi conseguida utilizando o bioreator de membrana, tornando a prática mais viável do que as apresentadas pelo tratamento controle.

Backes (2011) estudou o efeito da suplementação com glicerina (3, 6 e 9%) no processo de digestão anaeróbia e geração de energia a partir de resíduos de suínos e bovinos de leite, os melhores índices produtivos foram observados nos tratamentos que receberam adição de 6% de glicerina bruta, concluindo que, a glicerina pode ser utilizada como suplemento na digestão anaeróbia de dejetos de suínos e bovinos de leite, desde que observada à proporção máxima e intervalos entre adições.

Mesmo considerando que ocorreu uma eficiente produção metanogênica no presente estudo com utilização dos resíduos de citrus em consorcio com os dejetos de suínos, de modo geral, sugere-se utilizar algum tipo de pré-tratamento nos resíduos de citrus para a obtenção de uma condição ótima para o desenvolvimento dos microrganismos metanogênicos, isto é necessário devido, principalmente a substâncias que são bactericidas, o que prejudica efetivamente a produção de metano.



## 6. CONCLUSÕES

Os resíduos de citrus podem ser considerados como bons substratos para o processo de digestão anaeróbia.

O inóculo utilizado (dejetos de suínos) mostrou-se eficiente na remoção de compostos poluentes em conjunto com o substrato residual da agroindústria de citrus.

O processo de biodigestão anaeróbia mostrou-se potencialmente interessante para a produção de metano, podendo ser assim uma alternativa ambientalmente racional e barata para o tratamento desses resíduos.

Sugere-se a proporção de 25% de resíduo de citrus com 10% de inóculo de dejetos suínos para uma melhor produção de metano.

## 7. ANEXOS

Gráfico 1 - Produção de metano no reator 01.

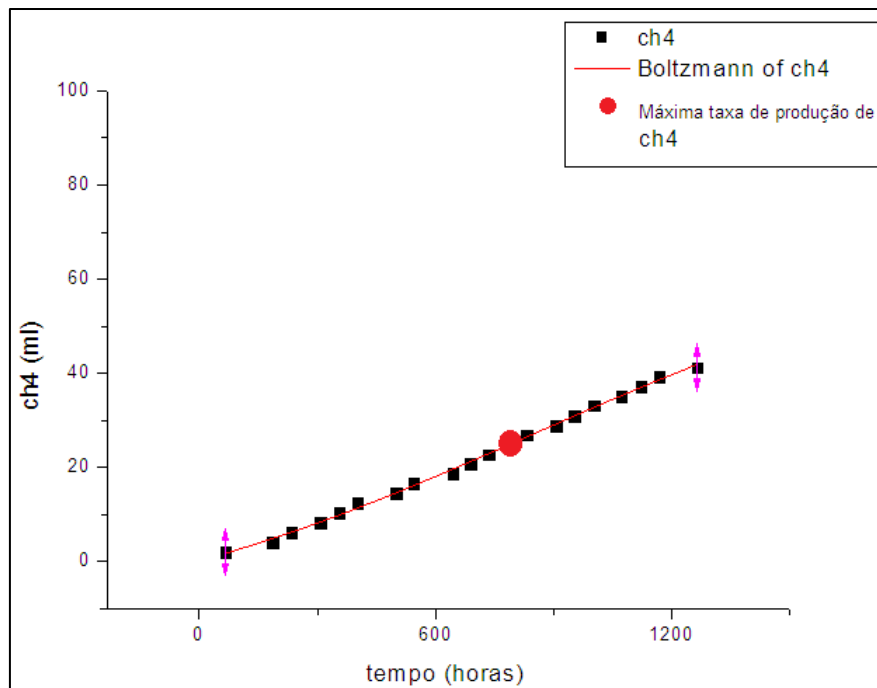


Gráfico 2 - Produção de metano no reator 02.

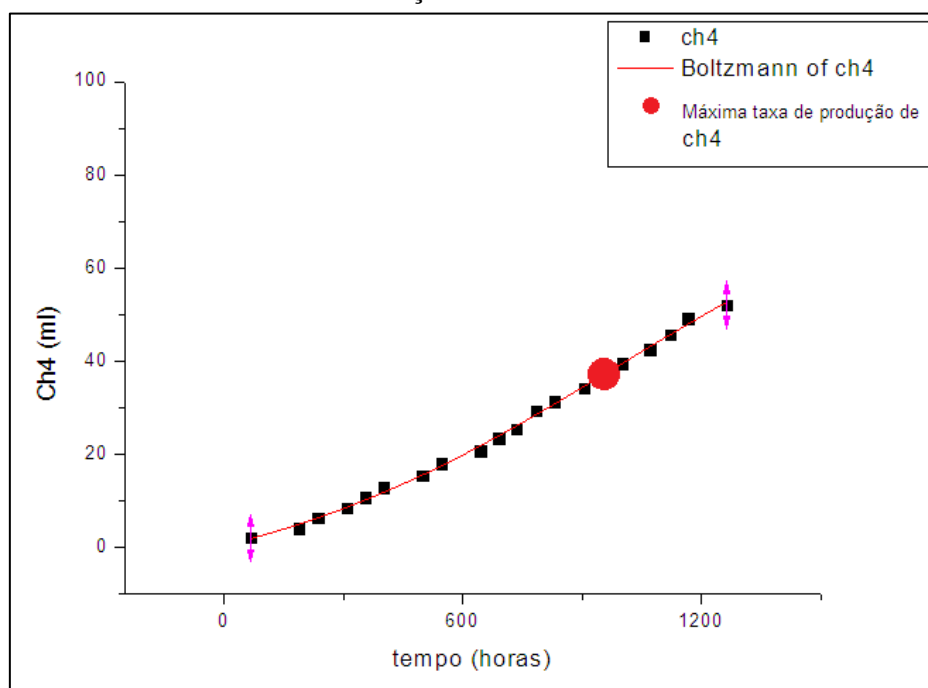


Gráfico 3 - Produção de metano no reator 03.

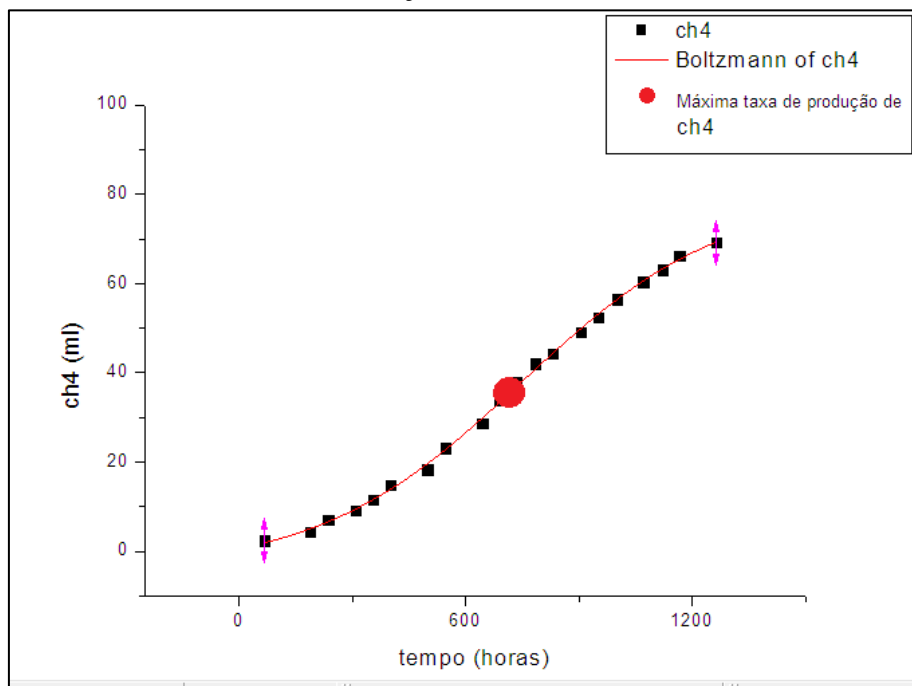
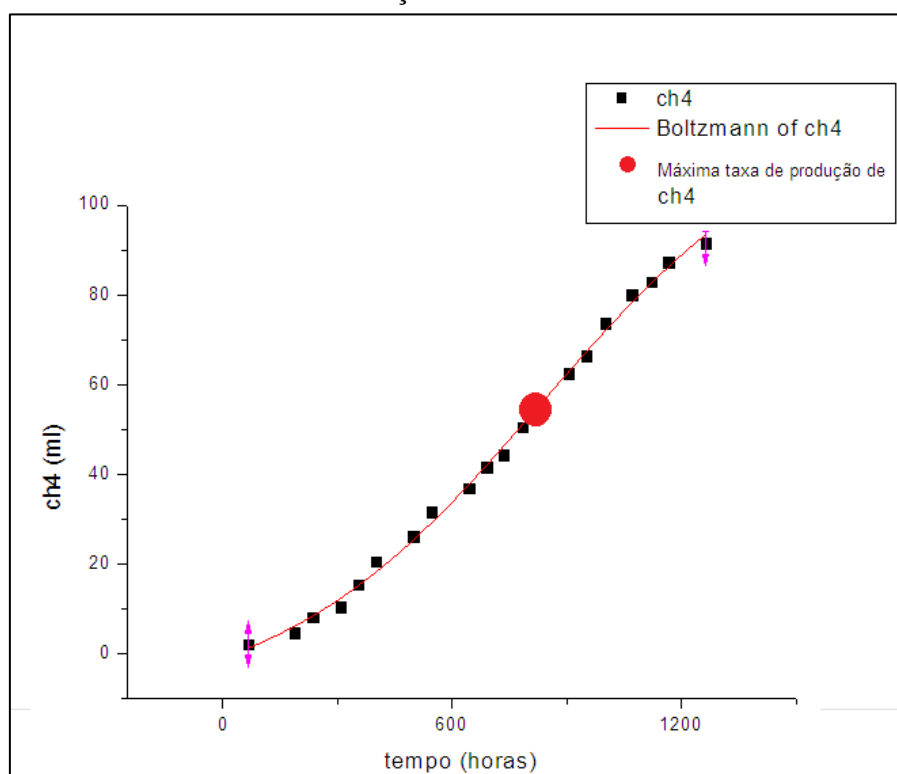


Gráfico 4 - Produção de metano no reator 04.



## 8. REFERÊNCIAS

ALEXANDRINO, A.M. et al. Aproveitamento do resíduo de laranja para a produção de enzimas lignocelulolíticas por *Pleurotostreatus*. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v.27 n.2, 2007.

AL-MASRI, M.R. Changes in biogás production dueto diferentratios of some animal andagriculturalwastes. **Bioresource Technology**. 77. p. 97-100, 2001.

AMARAL, C. M. C et al Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. **Ciência Rural**, v.34, n.6, p.1897-1902, 2004.

AMORIM, A.C.; JÚNIOR, J.L.; RESENDE; K.T. Biodigestão anaeróbia e dejetos de caprinos obtidos nas diferentes estações do ano. **Engenharia Agrícola**. v. 24, n.1, p.16-24, 2004.

ARRUDA, M.H.; AMARAL, L.P.; PIRES, O.P.J.; BARUFI, C.R.V. Dimensionamento de Biodigestor para Geração de Energia Alternativa. **Revista Científica de Agronomia**, ano I, n. 2, 2002.

ASSIS, P.P.; NETO, O.J.; ROSA, S.J.; PACHECO, S.; SOUZA, A.M.; FURTADO, A.A.L.; DUTRA, A.S. **Alternativas de utilização dos resíduos gerados na indústria produtora de suco de tangerina murcote (*Citrusreticulata*)**. Departamento de Química, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ. 2007.

BAMPIDIS, V.A.; ROBINSON, P.H. Citrus by-products as ruminant feeds: A review. **Animal Feed Science and Technology**, v.128, p.175-217, 2006.

BACKES, M. G. **Avaliação do processo de digestão anaeróbia na geração de energia a partir de dejetos suínos e bovinos de leite com suplementação de glicerina residual bruta oriunda da produção de biodiesel**. 2011. Dissertação.

(Mestrado em Ambiente e Desenvolvimento) - Centro Universitário Univates, Lajeado, 2011.

BARCELOS, B.R. **Avaliação de diferentes inóculos na digestão anaeróbia da fração orgânica de resíduos sólidos domésticos.** (Dissertação de Mestrado) Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos – Universidade de Brasília. 89f. 2009.

BARROS, E.V. A matriz energética mundial e a competitividade das nações: bases de uma nova geopolítica. **Engevista**, v. 9, n. 1, p. 47-56, 2007.

BUTTERBY,R., FERREIRA, K.C.A **Energia Eólica como Alternativa Sustentável para o Centro-Oeste:** UNIFAN, p.38-46. 2009. Disponível online em <<http://www.imb.go.gov.br/pub/conj/conj10/artigo05.pdf>>. Acesso em 20 de abril de 2016.

CHERNICHARO, C.A.L. **Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico em águas residuárias.** 3ª.edição, Belo Horizonte: DESA/UFMG, v. 5, 359 p, 2007.

COELHO, Y.S. **Citricultura em Alagoas: Referência Nacional na Produção de Laranja “Lima”.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. EMBRAPA Mandioca e Fruticultura - Citros em Foco N° 25. Cruz das Almas – BA. 2004.

COLDEBELLA, A.; SOUZA, S. N. M.; FERRI, P.; KOLLING, E. M. Viabilidade da geração de energia elétrica através de um motor gerador utilizando biogás da suinocultura. **Informe Gepec**, v. 12, n 2, 2008.

DEUBLEIN, D. E.; STEINHAUSER, A. **Biogas from waste and renew ablere sources: An introduction.** Ed. Wiley-VCH. 472p. 2008.

DIESEL, R.; MIRANDA, C. R.; PERDOMO, C. C. **Coletânea de Tecnologias Sobre Dejetos Suínos.** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, n. 14, p. 30, ago. 2002.

DUDA, R. M.; OLIVEIRA, R. A. Atividade metanogênica específica de lodo proveniente de reatores anaeróbios, em série, tratando águas residuárias de suinocultura. **Ciência & Tecnologia**, v. 4, 2012.

ESCOBAR, J.C.; LORA, E.S.; VENTURINI, O.J.; YANEZ, E.E.;CASTILLO, E.F.; ALMAZAN, O. Biofuels: Environment, technology and food security. **Renewable and Sustainable Energy Reviews.** v. 1, n.3, p.1275–1287, 2009.

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

FELIZOLA, C.S.; LEITE, V.D.; PRASAD, S. Estudo do processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento de biogás. **Agropecuária Técnica**. V. 27, n.1, 2006.

FILHO, P.B.et al. Digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos integrados com lodo de tanque séptico associado ao tratamento de lixiviado em reator UASB. **Anais... XXVIII Congresso Interamericano de ingeniería sanitaria y ambiental**. Cancún. México. 2002.

FLORENTINO, H. O.; BISCARO, A. F. V.; PASSOS, J. R. S. Funções sigmoidais aplicadas na determinação da atividade metanogênica específica – AME. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 28, n. 1, p. 141-150, 2010.

GHANIMEH, S.; EL FADEL, M.; SAIKALY, P.; Mixing effect on thermophilic anaerobic digestion of source-sorted organic fraction of municipal solid waste. **Bioresource Technology**, v. 117, p. 63–71, 2012.

KOBORI, C.N; JORGE, N. Caracterização dos óleos de algumas sementes de frutas para aproveitamento de resíduos industriais. **Ciências e Geotecnologia**, v. 29, n. 5, p. 1008-1014, 2005.

KROEKER, E.J., SCHULTE, D.D., SPARLING, A.B., LAPP, H.M., Anaerobic treatment process stability. **Journal of the Water Pollution Control Federation** 51, 718–727. 1979.

KUNZ, A; OLIVEIRA, P.A.V. Aproveitamento de dejetos animais para geração de biogás. **Revista Política Agrícola**. n. 3, 2006

LEITE, V.D.; POVINELLI, J. Comportamento dos sólidos totais no processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos e industriais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.2, p.229-232, 1999.

LEITE, V. D. et al Tratamento anaeróbico de resíduos sólidos orgânicos com alta e

baixa concentração de sólidos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V.13, n.2, p.190-196, 2009.

LEITE, V.D. et al **Bioestabilização de Resíduos Sólidos Orgânicos**. In: CASSINI, S.T. (Coord.). Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento de biogás. Rio de Janeiro: PROSAB, p. 96-119.2003.

MAINTINGUER, S.I. et al. Fermentative hydrogen production by microbial consortium. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 33, p. 4309-4317, 2008.

MAMMA, D., KOURTOGLOU, E., CHRISTAKOPOULOS, P., Fungal multienzyme production on industrial by-products of the citrus-processing industry. **Bioresource Technology**. v. 99, 2373–2383. 2008.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA (MAPA). **Citrus**. Disponível em:<<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/citrus>>. Acesso em: 20 jun. 2011.

MARTÍN, M.A et al. Biomethanization of orange peel waste. **Bioresource Technology**. v. 101, n. 23, p.8993–8999. 2010.

MAYER, M.C. **Estudo da influência de diferentes inóculos no tratamento anaeróbio de resíduos sólidos orgânicos**. Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande-PB. 2013.

MAZELI, R.C.S. **Co-digestão anaeróbia de resíduos vegetais e águas residuárias de suinocultura em reatores horizontais de leito fixo e alta taxa**. UNESP (Dissertação de Mestrado). Faculdade De Ciências Agrárias e Veterinárias. 91f. 2015.

MEES, J.B.R. et al. Estabilização da biomassa de aguapé através da compostagem com águas residuárias de suínos e resíduos de frigorífico. **Revista Semina: Ciências Agrárias**. v. 30, n. 3, 2009.

METZ, H. L. **Construção de um biodigestor caseiro para demonstração de produção de biogás e biofertilizantes em escolas situadas em meios urbanos.** Universidade Federal de Lavras (monografia de especialização em fontes alternativas de energia) Minas Gerais, 40f. 2013.

MIRANDA, A.P; **Suíños em diferentes fases de crescimento alimentados com milho ou sorgo: desempenho, digestibilidade e efeitos na biodigestão anaeróbia.** UNESP. Jaboticabal – SP. Fevereiro. 2009.

NASCIMENTO, R. **Estudo da cinética de biodegradação de efluente com alta concentração de ácidos graxos;** 2009, 99 f; Dissertação (Engenharia Química: Desenvolvimento de Processos); Centro de Engenharias e Ciências Exatas; Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, PR, 2009.

NEVES, V.L.V. **Construção de biodigestor para produção de biogás a partir da fermentação de esterco bovino.** Faculdade De Tecnologia De Araçatuba. Araçatuba – São Paulo. 2010.

NEVES, M.F. et al. **O retrato da citricultura brasileira.** 1. ed. Ribeirão Preto. v. 1. 137p. 2010.

OLIVEIRA, C. Futuro da biomassa no Brasil. **Revista da Madeira.** n.130, 2012. Disponível em <<http://cenbio.iee.usp.br/atlasbiomassa.htm>>, acesso em 05 de maio de 2012.

OLIVEIRA, P.A.V. Produção e aproveitamento do biogás. In: OLIVEIRA, P.A.V. et al. **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: Manual de boas práticas.** Concórdia: Gestão Integrada de Ativos Ambientais, 2004. Cap. 4, p. 42-55.

OLIVEIRA, P.A.V.; HIGARASHI, M.M. **Geração e Utilização de Biogás em Unidade de Produção de Suínos.** Concórdia - SC: Embrapa Suínos e Aves, 2006. 42 p.



OLIVEIRA, P.A.V. ; HIGARASHI, M. M.;NUNES, M.L.A. Efeito Estufa. **Suinocultura Industrial**, São Paulo, v. 25, n. 7, ed. 172, p. 16 - 20. 2003.

PARK, J.K.; CHANG, H.N. Microencapsulation of microbial cells. **Biotechnology Advances**, v.18, p.303–319. 2000.

PELIZER, L.H., PONTIERI, M.H., MORAES, I.O. Utilização de resíduos agroindustriais em processos biotecnológicos como perspectiva de redução do impacto ambiental. **Journal of Technology Management & Innovation**, v. 2, n. 1. 2007.

PIÑAS, J. A.V.; VENTURINI, O. J.; LORA, E. E. S. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.4, p. 13-30, 2015.

POURBAFRANI, M.; et al. Production of biofuels, limonene and pectin from citrus wastes, **Bioresource Technology**. v. 101, n. 11, p. 4246–4250, 2010.

PRACIANO, A.C. et al. Desenvolvimento de sistema energético por biogás proveniente de resíduos de caprino para suporte e sistema de irrigação para a cultura do melão. **Anais...II INOVAGRI International Meeting**, 2014.

RAJBHANDARI, B.K.; ANNACHHATRE, A.P. Anaerobic ponds treatment of starch waste water: case study in Thailand. **Bioresoure Technology**.v.95, p.135–143. 2004.

REIDEL, A. **Pós-tratamento de efluentes de agroindústria em sistema com aguapé *Eichhorniacrassipes* (Mart. Solms) e sua utilização na piscicultura**. (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2004.

REIS, A.S. **Tratamento de resíduos sólidos orgânicos em biodigestor anaeróbico**. Universidade Federal de Pernambuco. Núcleo de Tecnologia. Caruaru. 2012.

RIZZONI, L.B.; TOBIAS, A.C.T.; BIANCHI, M.; GARCIA, J.A.D. Biodigestão anaeróbia no tratamento de dejetos de suínos. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**. n. 18, 2012.

ROYA, B.; et al. Biogás – uma energia limpa. **Revista Eletrônica Novo Enfoque**, v. 13, n. 13, p. 142–149. 2011.

SALOMON, K.R.; LORA, E.E.S. Estimativa do potencial de geração de energia elétrica para diferentes fontes de biogás no Brasil. **Biomassa & Energia**, v.2, n.1, p.57-67, 2005.

SANTOS E. L. B.; JUNIOR, G. N. Produção de biogás a partir de dejetos de origem animal. **Tekhne e Logos**, v.4, n.2, 2013.

SILVA, N. P.; FRANCISCO, A. C. Geração de energia elétrica a partir de dejetos suínos: um estudo de caso em uma propriedade rural na região oeste do estado do Paraná. **Nucleus**, v.7, n.2, out.2010

SILVA, W. R.. et al. Digestão Anaeróbia de Resíduos Vegetais com Baixa Concentração de Sólidos em Reator Compartimentado. **Gaia Scientia**. n. 7. v.1, p.42 – 49. 2013.

SOUZA, E. A. et al. Biomass Residues as Fuel for the Ceramic Industry in the State of Alagoas: Brazil. **Wasteand Biomass Valorization**. v. 3, n.2, p. 191 - 196, 2012.

STEIL, L. **Avaliação do uso de inóculos na biodigestão anaeróbia de resíduos de aves de postura, frangos de corte e suínos**. Universidade Estadual Paulista. Araraquara – SP. 2001.

TAVARES, M.A.M.E.; TAVARES, S.R.L. Perspectivas para a participação do Brasil no mercado internacional de pellets. **Holos**, v. 5. 2015.

TEIXEIRA, J.C., Utilização da polpa cítrica na alimentação de bovinos leiteiros. Parte I. **Milkbizz Technology**, v. 1, n. 3, p.25-28. 2001.

TRIPODO, M.M., et al. Citrus waste recovery: a new environmentally friendly procedure to obtain animal feed. **Bioresour Technol**. 91, 111–115.

WIKANDARI, R. et al. Improvement of Biogas Production from Orange Peel Waste by Leaching of Limonene. **Bio Med Research International**. v. 2015, p.1-6, 2015.

GERHARDT, C. et al. Aproveitamento da casca de citros na perspectiva de alimentos: prospecção da atividade antibacteriana. **Anais...4º** Simpósio de Segurança Alimentar. Gramado –RS. 2012.

Sanderson, K. Avaliação Da Eficiência Da Glicerina Bruta, Proveniente Da Produção De Biodiesel, Na Obtenção De Biogás Em Co-digestão Com Dejetos Suínos. Cascavel. Paraná. Fevereiro, 2013.