



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

SAMY BARROS SOUZA IBRAHIM

Biodigestão anaeróbia do bagaço da cana-de-açúcar utilizando excretas de  
frango como inóculo

Rio Largo, AL  
2016

SAMY BARROS SOUZA IBRAHIM

**Biodigestão anaeróbia do bagaço da cana-de-açúcar utilizando excretas de frango como inóculo**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia da Biomassa da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Energia da Biomassa.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dra. Rosa Cavalcante Lira

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

Rio Largo, AL

2016

## TERMO DE APROVAÇÃO

SAMY BARROS SOUZA IBRAHIM

### **Biodigestão anaeróbia do bagaço da cana-de-açúcar utilizando excretas de frango como inóculo**

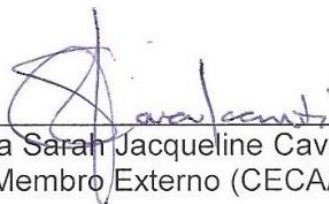
Esta dissertação foi submetida a julgamento como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre Profissional em Energia da Biomassa, outorgado pela Universidade Federal de Alagoas.

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


Aprovado em 24/08/2016



Prof<sup>a</sup>. Dra. Rosa Cavalcante Lira  
Orientador (CECA/UFAL)



Prof<sup>a</sup>. Dra Sarah Jacqueline Cavalcanti da Silva  
Membro Externo (CECA/UFAL)



Prof. Dr. Eilton Lima Santos da Silva  
Membro interno (CECA/UFAL)

Prof. Dr. Cícero Luiz Calazans de Lima  
Membro interno (CECA/UFAL)

*A minha mãe (in memoriam)*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao criador;

A minha esposa, companheira e amiga, Kelley Contieri Silveira Ibrahim, especial agradecimento.

Aos meus filhos, Pedro e Mariana Ibrahim, objetivos de luta;

Aos meus pais, irmão e demais consangüíneos extensivos, sogro, sogra e cunhada;

Aos meus confrades, diversão garantida;

Aos alunos Thalles e Juliana, futuros docentes;

Aos meus “orientadores”, Williane e Rodrigo. Sem vocês não seria possível;

Aos meus orientadores e co-orientadores, mestres essencialmente;

Aos colegas de Mestrado. Fizeram parte desta jornada.

As minhas colegas e amigas, Fernanda e Jessica. Permitiram que tudo acontecesse.

Aos que em mim acreditaram, obrigado.

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

Artigo 225, da Constituição Federal

## RESUMO

A busca por fontes renováveis de energia estabelece a cana-de-açúcar como importante matriz energética. A geração de bagaço deste insumo revela um resíduo de alto potencial para a produção de energia sustentável. Objetivando um melhor aproveitamento deste produto, esta pesquisa avaliou a produção anaeróbia do biogás gerado pelo bagaço da cana-de-açúcar quando utilizado como inóculo excretas de frango, em reatores anaeróbicos experimentais do tipo batelados. Foram utilizados seis reatores, divididos em dois tratamentos. O primeiro composto por bagaço de cana-de-açúcar *in natura* (03 reatores) e o segundo composto por bagaço de cana-de-açúcar tratado com NaOH (03 reatores). Em ambos os tratamentos utilizou-se excretas de frangos como inóculo. O tempo, em dias, de leitura dos gases gerados foi de 54 dias. Foi observado que os potenciais energéticos do bagaço de cana-de-açúcar tiveram como ponto de maior atividade metanogênica os dias aproximados em vigésimo quinto e vigésimo sexto, respectivamente para cada tratamento e, o tratamento 2, obteve um melhor resultado, produzindo o dobro de gás metano CH<sub>4</sub> em, praticamente, mesmo período de tempo.

**Palavras - chave:** Biogás. Bagaço de cana-de-açúcar. Energia sustentável.



## ABSTRACT

The search for renewable sources of energy sets the sugarcane as important energy sources. The bagasse generation of this input shows a high potential for the production of sustainable energy waste. Aiming to make better use of this product, this study evaluated the anaerobic production of biogas generated by bagasse from sugarcane when used as chicken excreta inoculum in experimental anaerobic reactors batelados type. six reactors, divided into two treatments were used. The first consists of bagasse sugarcane in natura (03 reactors) and the second consisting of bagasse sugarcane treated with NaOH (03 reactors). In both treatments are used as inoculum chicken excreta. The time, in days, of reading the generated gas was 54 days. It was observed that the potential energy of sugarcane bagasse had the point of greatest methanogenic activity approximate days in the twenty-fifth and twenty-sixth, respectively for each treatment, Treatment 2, obtained the best result, producing double CH<sub>4</sub> methane in virtually the same time period.

**Keywords:** Biogas. Bagasse sugarcane. Sustainable energy.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Processos de formação do biogás.....	24
Figura 02 - Esquema de geração de energia Renovável.....	25
Figura 03 - Reator (A) e Headspace (B).....	27
Figura 04 - Seringa “gastight” usada para a coleta do biogás.....	28
Figura 05 - Coleta (01), Travamento (02), Destravamento (03) e Aplicação (04) do biogás.....	31
Figura 06 - Acumulado de CH <sub>4</sub> em mmol.dia <sup>-1</sup> , produzido pelo bagaço de cana-de-açúcar <i>in natura</i> .....	35
Figura 07 - Acumulado de CH <sub>4</sub> em mmol.dia <sup>-1</sup> , produzido pelo bagaço de cana-de-açúcar tratado.....	36
Figura 08 - Potencialização metanogênica do CH <sub>4</sub> em reatores com bagaço de cana-de-açúcar <i>in natura</i> .....	37
Figura 09 - Potencialização metanogênica do CH <sub>4</sub> em reatores com bagaço de cana-de-açúcar tratado.....	37
Figura 10 - Demanda química de oxigênio, inicial e final, em reatores com bagaço de cana-de-açúcar <i>in natura</i> .....	38
Figura 11 - Demanda química de oxigênio, inicial e final, em reatores com bagaço de cana-de-açúcar tratado.....	39
Figura 12 - Eficiência na demanda química de oxigênio, em reatores com bagaços de cana-de-açúcar <i>in natura</i> e tratado.....	39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Moagem de cana-de-açúcar – Safra 2015/2016.....	16
Tabela 02 - Classificação, quanto ao tipo, dos projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) brasileiros registrados até 31 de dezembro de 2014.....	19
Tabela 03 - Descrição dos tratamentos experimentais.....	28
Tabela 04 - Caracterização do material utilizado.....	33
Tabela 05 - Caracterização dos <i>Lôdos</i> iniciais e finais.....	34

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AL	Alagoas
CH <sub>4</sub>	Metano
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CTEC	Centro de Tecnologia
DQO	Demanda Química de Oxigênio
g	Gramas
H <sub>2</sub>	Hidrogênio Molecular
H <sub>2</sub> S	Ácido Sulfídrico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas
Kg	Quilograma
KWhs	Quilowatt-hora
L	Litros
m <sup>3</sup>	Metros Cúbicos
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MCTI	Ministério de Ciências, Tecnologia, Inovações e Comunicação
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
ml	Mililitro
mmol	Milimol
MS	Matéria Seca
N	Nitrogênio
NH <sub>3</sub>	Amônia
°C	Grau Celsius
PB	Proteína Bruta
pH	Potencial Hidrogeniônico

ST	Sólidos Totais
STF	Sólidos Totais Fixos
STV	Sólidos Totais Voláteis
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
UNICA	União da Indústria da Cana de Açúcar

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>Cultura da cana-de-açúcar.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b>Aspectos botânicos e morfológicos da cana-de-açúcar.....</b>	<b>16</b>
<b>2.3</b>	<b>O bagaço da cana-de-açúcar.....</b>	<b>17</b>
<b>2.4</b>	<b>O bagaço da cana-de-açúcar X geração de energia.....</b>	<b>18</b>
<b>2.5</b>	<b>Avicultura – Resíduos.....</b>	<b>20</b>
<b>2.6</b>	<b>O biocombustível.....</b>	<b>22</b>
<b>2.7</b>	<b>Biogás.....</b>	<b>23</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>26</b>
<b>3.1</b>	<b>Local do experimento.....</b>	<b>26</b>
<b>3.2</b>	<b>Coleta e caracterização do bagaço de cana-de-açúcar e da excreta de frango.....</b>	<b>26</b>
<b>3.3</b>	<b>Montagem do experimento.....</b>	<b>26</b>
<b>3.4</b>	<b>Tratamentos experimentais.....</b>	<b>27</b>
<b>3.5</b>	<b>Coleta do Biogás.....</b>	<b>28</b>
<b>3,6</b>	<b>Caracterização do material utilizado.....</b>	<b>29</b>
<b>3.7</b>	<b>Análise do Biogás produzido – CH<sub>4</sub>.....</b>	<b>31</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>33</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>40</b>
	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>41</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A procura por fontes de energia que possam substituir os combustíveis fósseis trouxe ao Brasil uma oportunidade única. Por se tratar de um potencial produtor de matérias primas, o país vem buscando alternativas na utilização dos resíduos agroindustriais para adotar políticas de energia sustentável e renovável.

A substituição dos combustíveis fósseis objetiva, não só uma fonte alternativa, mas, também, a produção de uma energia ecologicamente correta. Neste cenário, desponta o bagaço da cana-de-açúcar.

Exímio produtor desta cultura, o Brasil teve, segundo o IBGE (2015), somente em 2015, uma produção de 750.107.378 toneladas de cana-de-açúcar. Apesar de estimar uma ligeira queda nos seus números de cultivos, cerca de 2,6%, o órgão ainda estima uma produtividade de 730.919.055 toneladas para 2016.

De acordo com a União da Indústria da Cana-de-Açúcar (UNICA, 2015), somente em 2015, o Brasil plantou 10.870.647 hectares desta cultura. Apesar da alta concentração de plantio ser observada na região centro-sul, o nordeste detém 1.248.932 hectares nesta cadeia.

A previsão de produção da cana-de-açúcar, para o nordeste, é de 53 milhões de toneladas. Deste total, Pernambuco responderá por 13 milhões e Alagoas anotar, em média, 18,5 milhões de toneladas (SINDAÇÚCAR, 2016).

É possível, ao analisar esses números apresentados, perceber que essa grande área cultivada possivelmente gera grande número de resíduos também.

Neste contexto, Pelizer (2007) ressalta a importância da adequação do destino para os resíduos agroindustriais. Frisa que além de criar sérios problemas ambientais, os resíduos representam perdas de matérias-primas e energia.

Diferentes processos biotecnológicos estão sendo desenvolvidos para utilizar estes resíduos na produção industrial, gerando produtos de grande valor econômico. A estratégia consiste em transformar a matéria-prima em bens úteis sem causar danos ao ambiente, colocando os subprodutos e emissões como insumos para outros produtos (ISRAEL, 2005).

O bagaço da cana-de-açúcar, resíduo de grande volume da agroindústria sucroalcooleira, desperta interesse pela sua quantidade e valor energético. Usinas e destilarias fazem uso deste insumo, convertendo o bagaço em energia e vapor,

queimando-o nas caldeiras e atendendo parte da suas demandas de energia (KW<sub>h</sub>s).

Segundo Van Haandel & Lettinga (1994), em estudos realizados com o bagaço de cana, demonstraram ser possível apresentar uma eficiência de conversão química em elétrica variando em torno de 33% (reatores de combustão interna) e de 50% (turbinas).

Outra forma de utilização deste resíduo é através da digestão anaeróbia. Neste processo o bagaço tem seu material orgânico convertido em biogás.

O processo anaeróbio tem sofrido modificações nos últimos anos, mas, os estudos que visam entender as quantidades, substratos e inóculos adequados para melhor alcançar a eficiência e a qualidade do biogás, têm sido motivos de várias pesquisas.

Esta pesquisa objetivou determinar o ponto de maior atividade metanogênica de bagaço de cana-de-açúcar, tratado e não tratado com hidróxido de sódio, utilizando as excretas de frango como inóculo.



## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Cultura da cana-de-açúcar

O Brasil cultiva a cana-de-açúcar, desde os tempos do seu descobrimento, sendo os primeiros canaviais implantados com mudas trazidas de outros continentes pelos colonizadores. Embora exista divergência com relação à origem geográfica, segundo um consenso geral entre os historiadores, a cana-de-açúcar é oriunda do Sudoeste Asiático, Java, Nova Guiné e também da Índia (FAHL et al., 1998).

Segundo Lima (1984), a primeira espécie introduzida no Brasil foi *Saccharum officinarum* L., que foi trazida da ilha da madeira, em 1502. Essa espécie era uma cana reconhecida como nobre ou cana tropical, caracterizada pelo seu alto teor de açúcar, porte elevado, colmo grosso e pouco teor de fibras. Devido a essas características *S. officinarum* foi cultivada nos três primeiros séculos da colonização, provavelmente uma única variedade, que no século XIX recebeu o nome de cana “Creoula” ou “Mirim” ou ainda “Cana da terra”, para distinguir dos novos cultivares importados que começaram a chegar no país.

Atualmente, a política nacional para a produção da cana-de-açúcar se orienta na expansão sustentável da cultura, com base em critérios econômicos, ambientais e sociais. O programa Zoneamento Agroecológico da cana-de-açúcar (ZAECaná) regula o plantio da cana, levando em consideração o meio ambiente e a aptidão econômica da região. A partir de um estudo minucioso, são estipuladas as áreas propícias ao plantio com base nos tipos de clima, solo, biomas e necessidades de irrigação (MAPA, 2016).

Segundo a União da Indústria de cana-de-açúcar (ÚNICA, 2015), estima-se para a safra brasileira de 2015/2016, a quantidade de 666.824 toneladas de cana-de-açúcar que serão destinadas para a moagem. Deste total, 16.382 toneladas serão produzidas pelo Estado de Alagoas (Tabela 01).

**Tabela 01 - Moagem de cana-de-açúcar – safra 2015/2016**

	<i>Destaque</i>	<i>Cana-de-açúcar (mil toneladas)</i>
<b>Região Centro-Sul</b>	São Paulo	368.323
	Goiás	73.522
	Minas Gerais	64.853
<b>Total para toda Região Centro-Sul</b>		<b>617.709</b>
	<i>Destaque</i>	<i>Cana-de-açúcar (mil toneladas)</i>
<b>Região Norte-Nordeste</b>	Alagoas	16.382
	Pernambuco	11.394
	Paraíba	5.586
<b>Total para toda Região Norte-Nordeste</b>		<b>49.115</b>
<b>Brasil</b>		<b>666.824</b>

Fonte: UNICA (2015).

A relevância da cana-de-açúcar no agronegócio brasileiro é indiscutível e apesar do Brasil destacar-se por toda sua tecnologia já empregada nas diferentes etapas de produção, a pesquisa científica ainda tem muito a contribuir para a maximização do processo produtivo, desde a lavoura até a indústria (COSTA, 2005).

## **2.2 Aspectos botânicos e morfológicos da cana-de-açúcar**

Segundo Caieiro et al (2010), a cana-de-açúcar é uma planta monocotiledônea e alógama, de reprodução sexuada, que pode ser multiplicada assexuadamente por propagação vegetativa, quando cultivada comercialmente.

Classificada de acordo com Cronquist (1981) a cana-de-açúcar pertence a:

- Divisão: Manoliophyta
- Classe: Magnoliopsida
- Ordem: Graminales
- Família: Poaceae
- Gênero: *Saccharum*
- Espécies: *Saccharum officinarum*, *Saccharum spontaneum*, *Saccharum sinensis*, *Saccharum barberi* e *Saccharum robustum*.

As variedades comerciais da cana-de-açúcar são híbridas do gênero *Saccharum*, sendo denominada, desta forma, por *Saccharum* spp. (CASTRO & KLUGE, 2001).

Conforme Bacchi (1983), a cana-de-açúcar apresenta a seguinte descrição morfológica:

1. As raízes são fasciculadas podendo atingir até 4 m de profundidade;
2. Os colmos são compostos de nós e entrenós (internódios). Em cada nó, há uma gema que é disposta alternadamente em torno do colmo. O desenvolvimento das gemas resulta em brotos ou colmos primários, dos quais surgirão os perfilhos posteriormente. Por meio desse processo, ocorre a formação da touceira da cana-de-açúcar e a população de colmos que será colhida;
3. A inflorescência e sementes da cana-de-açúcar, sob determinadas condições de fotoperíodo, temperatura e umidade, floresce emitindo uma panícula ou flecha;
4. A flor da cana-de-açúcar é hermafrodita, com um só óvulo;
5. Os pistilos são terminados por estigmas de cor roxa avermelhada, que dão aspecto plumoso característico à panícula;
6. A semente da cana-de-açúcar é na realidade um fruto do tipo cariopse de forma elíptica com 1,5 mm de comprimento por 0,5 mm de diâmetro transversal.

### **2.3 O bagaço da cana-de-açúcar**

Segundo Medeiros (1992), o bagaço de cana-de-açúcar *in natura* é definido como resíduo dos colmos da cana-de-açúcar, resultado da extração máxima do conteúdo celular rico em açúcares solúveis. Portanto, o bagaço de cana-de-açúcar reúne fragmentos grosseiros da parede celular e conteúdo celular não extraído na moagem da cana-de-açúcar, cujo componente principal é representado pelo açúcar não extraído durante o processo de moagem, aproximadamente 2 a 3%, e alto teor de componentes da parede celular (carboidratos estruturais), em torno de 70 a 85%, dos quais a celulose é o principal (44 a 50%), seguida da hemicelulose (24 a 30%) e da lignina (10 a 20%).

De acordo com Alcarde (2009), o bagaço da cana-de-açúcar é o maior resíduo da agroindústria brasileira. Aproximadamente 280 quilos de bagaço por tonelada de cana são produzidos no processo industrial. Sendo suas principais aplicações: combustível para caldeira, produção de celulose e na alimentação de gado confinado.

Furtado et al (2009), no entanto, afirmam que em torno de 95% de todo o bagaço produzido no Brasil são queimados em caldeiras para geração de vapor produzindo, como resíduo, a cinza de bagaço cuja disposição não obedece, na maior parte dos casos, a práticas propícias, podendo configurar sério problema ambiental.

#### **2.4 O bagaço da cana-de-açúcar x geração de energia**

A utilização do bagaço da cana-de-açúcar para geração de energia está no fato do Brasil possuir vasta riqueza natural, topografia e relevo favorável à produção agrícola, sendo que o país se mantém na liderança da produção de etanol desde o início dos anos de 1990. Isso se deve, principalmente, à vasta bagagem de conhecimento e tecnologia sobre a cana-de-açúcar, no que se refere ao melhoramento genético da planta, combate a pragas, técnicas agrícolas e de colheita, impactos da cultura no meio ambiente, e tecnologias de fabricação do etanol, incluindo-se a hidrólise e fermentação (VASCONCELOS, 2003).

Macedo (2001) estimou que as usinas de açúcar possam liberar de 30% a 50% do bagaço produzidos nos processos industriais da cana para serem utilizados em vias alternativas de geração de energia.

Segundo a Agencia Nacional de Energia Elétrica, existem hoje, 387 usinas termelétricas utilizando bagaço de cana-de-açúcar em operação no Brasil. Este dado representa a potencia instalada de 9.933.550 KWs, sendo responsável por 25,9% do total energético produzido pelas termelétricas brasileiras (ANEEL, 2016).

A geração de energia a partir da biomassa aumenta a perspectiva de negociação de projetos para a comercialização de créditos de carbono. O Brasil é o segundo país, depois da Índia, em número de projetos para comercialização de créditos de carbono. O negócio que mais tem atraído investidores estrangeiros ao

país é o de co-geração de energia a partir da biomassa. O segmento já representa a maior parte dos projetos brasileiros nesse mercado, e se estima, conforme Tabela 02, que seu potencial de redução de emissões alcance anualmente 372.620.117 milhões de toneladas de carbono no país (MCTI, 2014).

**Tabela 02 - Classificação, quanto ao tipo, dos projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) brasileiros registrados até 31 de dezembro de 2014.**

TIPO DE PROJETO	NÚMEROS DE PROJETOS	PARTICIPAÇÃO (%)
Hidroelétrica	90	27,0
Biogás	64	19,2
Usina Eólica	54	16,2
Gás de Aterro	50	15,0
Biomassa Energética	41	12,3
Substituição de Combustível Fóssil	9	2,7
Metano Evitado	8	2,4
Outros	17	5,1

Fonte: MCTI (2015).

Martins (2009) considera como principal vantagem econômica, na produção de energia elétrica a partir do bagaço de cana-de-açúcar, o fato desse processo se tornar uma fonte de renda, quando utilizado, sob as regras do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), para a comercialização de créditos de carbono em bolsas de valores.

Segundo Paoliello (2008), o aproveitamento energético do bagaço de cana-de-açúcar, não se constitui em prática recente. A co-geração já é amplamente utilizada pelas usinas e outros setores industriais, visando, principalmente, suprir as necessidades próprias de energia. Existem usinas, inclusive, que disponibilizam o excedente de energia produzida para companhias distribuidoras de energia elétrica.

Diversos autores relatam a importância da geração de eletricidade, a partir do uso de resíduos da cana-de-açúcar. Martins (2009) considera como aspectos positivos:

- a) O atendimento da necessidade nacional de geração de energia

- elétrica a partir de novas fontes energéticas;
- b) A produção de energia elétrica com tecnologia totalmente limpa, de fonte renovável, que contribui para a preservação ambiental;
  - c) A produção de energia elétrica, sobretudo na época de menor pluviosidade, que coincide com a safra sucroalcooleira;
  - d) A inclusão de um novo agente de produção de energia elétrica, contribuindo, assim, para a consolidação do novo modelo de mercado competitivo;
  - e) O ganho de competitividade no setor sucroalcooleiro mundial, uma vez que será agregado novo produto de receita estável a partir do melhor aproveitamento de um produto residual;
  - f) A utilização de tecnologia totalmente nacional, preservando empregos locais e desonerando a balança de pagamentos do País.

## **2.5 Avicultura – Resíduos**

As indústrias de frangos, no Brasil, estabeleceram-se como um segmento moderno nos anos 1970, graças à política agrícola de crédito subsidiado e a instalação de frigoríficos, além das articulações entre grupos nacionais e empresas estrangeiras produtoras de linhagens (RIZZI, 1993).

Em 2004 o Brasil conquistou a liderança mundial nas exportações de frango, quando ultrapassou os Estados Unidos, que é o maior produtor de frangos do mundo. As exportações brasileiras e o seu aumento foram motivados pela Influenza Aviária, cujo surto, ocorrido desde o final de 2003, prejudicou a produção e causou o sacrifício de mais de 120 milhões de aves na Ásia (MARTINS, 2005).

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Brasileiro (MAPA, 2016), o País se tornou o terceiro produtor mundial e líder em exportação. Atualmente, a carne nacional chega a 142 países e a taxa de crescimento de produção da carne de frango, por exemplo, deve alcançar 4,22%, anualmente, nas exportações, com expansão prevista em 5,62% ao ano, o Brasil deverá continuar na liderança mundial.

Em Alagoas, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, foram registrados em 2014, o índice de 7.028.078 cabeças de galináceos, representando o efetivo total desta cultura neste último senso (IBGE, 2014).

Como nas demais atividades agropecuárias, a avicultura de corte gera uma quantidade muito grande de resíduos (excretas, cama de frangos e aves mortas) que, se bem manejados, poderão tornar-se, não apenas uma importante fonte de renda e agregação de valor à atividade, mas, também, um modelo de produção sustentável que vem se tornando cada vez mais uma exigência de mercado. Para tanto, é necessário que haja a adoção de um sistema de tratamento desses resíduos a fim de evitar possíveis contaminações do ambiente (ANGONESE et al., 2006).

O uso de biodigestores para o tratamento de resíduos obtidos em avicultura permite a integração de sistemas como apontado por Mahadevaswamy & Venkataraman (1986), os quais estudaram um sistema integrado de biodigestão anaeróbia para produção de biogás a partir do resíduo de frangos e utilização do efluente para produção de alga *Spirulina platensis*.

Um destino sustentável para o resíduo de frango é reaproveitá-lo na produção de biogás e de biofertilizantes, o que vem ao encontro da necessidade atual em se desenvolver novas fontes renováveis de energia (PALHARES, 2004; AIRES et al., 2009).

Estudos feitos por LUCAS JR. et al. (1993) sobre a utilização de inóculo adicional no desempenho de biodigestores operados com resíduos de frangos de corte demonstraram o aumento do potencial e antecipação da produção de biogás quando se utilizou este inóculo.

Salminen & Rintala (2002) realizando levantamento sobre os potenciais de geração de metano a partir dos resíduos de abatedouros e da criação de aves relataram a importância do aproveitamento desses resíduos com potenciais de 0,20 - 0,25 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>.kg<sup>-1</sup> de carcaça de aves; 0,10 - 0,15 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>.kg<sup>-1</sup> de cama de frango; 0,05 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>.kg<sup>-1</sup> de pena; 0,10 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>.kg<sup>-1</sup> de sangue, e 0,30 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>.kg<sup>-1</sup> de vísceras, pés e cabeça.

Segundo Tessaro (2011), mais recentemente, têm sido pesquisadas formas de utilização do resíduo de frango para a geração de energia. A sua conversão em energia pode ser feita através de diferentes processos, dependendo



do material e do tipo de energia desejada. Entre estes processos, a fermentação talvez seja o processo mais viável e, em alguns casos, a combustão direta é alternativa interessante.

A produção de biogás e biofertilizantes, em biodigestores, por meio do processo da biodigestão anaeróbia, permitem reduzir custo nas granjas e/ou unidade industrial e poderá contribuir para a redução de impactos ambientais da cadeia de produção, além de continuar gerando renda com a venda de biofertilizantes, com alto valor agrônômico (GIROTTO et al, 2003).

## **2.6 O biocombustível**

Os biocombustíveis são obtidos através da transformação e fermentação de fontes biológicas não-fósseis como óleos vegetais, cereais e resíduos agroindustriais e podem ser utilizados em substituição ou misturados com os combustíveis convencionais (RODRIGUES, 2010).

Knight (2007) afirma que o Brasil obtém três vezes mais energia da biomassa que a média dos países e cinco vezes mais que a maioria dos países europeus. Considerando que uma das matérias-primas mais abundantes no Brasil, para produção do biocombustível, é a cana-de-açúcar, e que a planta tem grande capacidade de biomassa, o cenário brasileiro é animador.

No caso brasileiro, estima-se que o bagaço de cana-de-açúcar excedente, se fosse utilizado na produção do biocombustível, permitiria duplicar a produção deste combustível no país sem aumentar as áreas de plantio (BETANCUR, 2005; PEREIRA JR., 2006).

Dias (2011) observa que a utilização integral da cana-de-açúcar para a produção de biocombustível, por meio do pré-tratamento e hidrólise de excedentes de bagaço e palha de cana-de-açúcar, revela-se como uma boa solução para problemas como competição do uso da terra para produção de alimentos e a ampliação de produção de cana através do desmatamento.

## 2.7 Biogás

O biogás é proveniente da atividade dos microorganismos (fermentação) e composto por uma mistura de diversos gases, entre eles o metano, o dióxido de carbono, o hidrogênio e o dióxido de enxofre. O biogás é inflamável devido ao metano, gás mais leve que o ar, sem cor e odor. O que causa o odor no biogás é o dióxido de enxofre que, mesmo em quantidades pequenas, é perceptível pelo olfato e bastante corrosivo (OLIVEIRA, 2004).

Diferentes materiais orgânicos podem ser utilizados na produção do biogás. Resíduos da agricultura e agroindústria, desde os mais diversos compostos até os excrementos e fezes de animais e esgotos. O desenvolvimento das bactérias tem como resultado a quebra do composto orgânico que é transformado em biogás e biofertilizantes livre de bactérias nocivas e zoonoses (MURARO, 2006).

São conhecidos diferentes processos químicos de produção de biogás, porém o processo de fermentação é ainda o mais utilizado por ser mais econômico. Essa vantagem deve-se, principalmente, ao grande número de matérias-primas naturais baratas (açucaradas e amiláceas, principalmente) que podem ser utilizadas (SCHMIDELL et al., 2001).

Para que ocorra a fermentação da matéria orgânica, os microorganismos precisam de um ambiente favorável para seu crescimento e desenvolvimento com ausência de compostos químicos tóxicos (sabão, detergente); temperatura adequada; presença de matéria orgânica (dejetos); ausência de ar. Assim, se houver alguma interferência nesses fatores poderá ocasionar uma redução na produção de biogás (SEIXAS; MARCHETTI, 1981).

A biodigestão anaeróbia ocorre em câmaras fechadas, fornecendo ao meio a condição necessária para que os microorganismos possam digerir a matéria orgânica presente (TARRENTO e MARTINEZ, 2006).

Ocorre em quatro estágios: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (Figura 01), pela ação de populações microbianas específicas (STEIL, 2001).

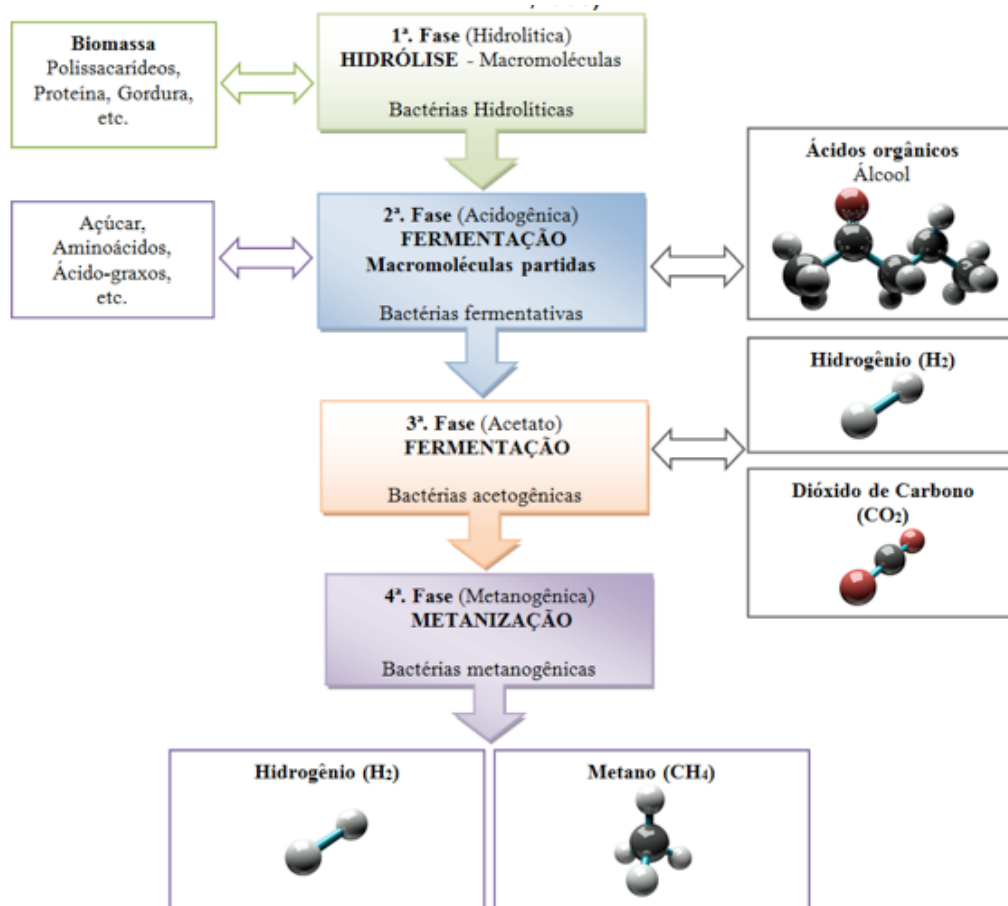
Na hidrólise, a matéria orgânica é transformada por enzimas excretadas por bactérias fermentativas em açúcares, aminoácidos e peptídeos (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994).

A acidogênese tem grande importância, pois é quando o oxigênio dissolvido é removido. Nesse estágio, os produtos da hidrólise são absorvidos pelas bactérias fermentativas e excretados na forma de substâncias orgânicas simples como ácidos graxos voláteis, alcoóis, ácido lático e compostos minerais como  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , etc. (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994).

Na acetogênese, ocorre a formação de ácidos acético e propiônico, com grande geração de hidrogênio e abaixamento do pH (CHERNICHARO, 1997).

Na metanogênese, ocorre a formação de metano por bactérias metanogênicas acetoclásticas (utilizadoras de acetato) e metanogênicas hidrogenotróficas (utilizadoras de hidrogênio) (STAMS, 1994).

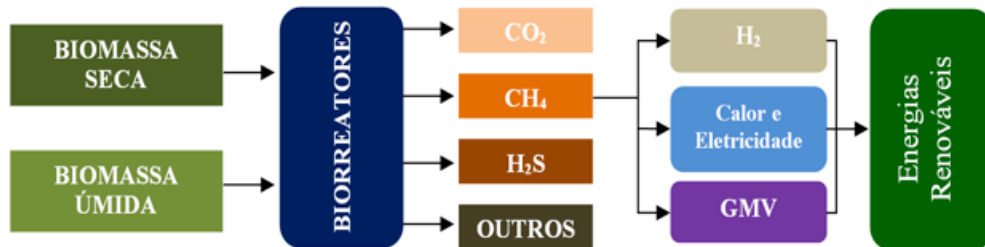
**Figura 01 - Processos de formação do biogás.**



Fonte: LETTINGA, HULSHOF; ZEEMAN, 1996.

O processo de geração do biogás, apesar de ocorrer normalmente na natureza, pode ser controlado através de biodigestores construídos para esta finalidade (Figura 02).

**Figura 02 - Esquema de geração de energia Renovável.**



Fonte: VATTAMPARAMBIL (2012).

Os modelos de biodigestores mais difundidos no mundo foram desenvolvidos e aperfeiçoados na China e na Índia. Nas décadas de 50 e 60, no auge da Guerra Fria, a China comunista optou por uma política de descentralização energética, visando tornar auto-suficientes pequenas vilas e centros agrícolas, enquanto que os indianos, assolados pela miséria e sem auto-suficiência em petróleo, foram obrigados a utilizar seus conhecimentos para suprir a carência de fome e energia (BARREIRA, 2011).

No Brasil, as pesquisas para a utilização do biodigestor ganharam impulso na década 80 e foram realizadas, principalmente, na região sul, onde se concentram grandes criadores de suínos, aves e bovinos. Entretanto, foi na região nordeste que houve interesse dos pesquisadores em aproveitar a biomassa gerada nas pequenas e médias propriedades rurais, devido ao clima quente (temperaturas médias anuais acima de 25°C), que favorece o desenvolvimento e atividade dos microorganismos anaeróbios (SOUZA;LAGE FILHO, 2014).

## **3 METODOLOGIA**

### **3.1 Local do experimento**

O experimento foi conduzido no Laboratório de Saneamento Ambiental do Centro de Tecnologia (CTEC) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), município de Maceió, no ano de 2016.

### **3.2 Coleta e caracterização do bagaço de cana-de-açúcar e da excreta de frango**

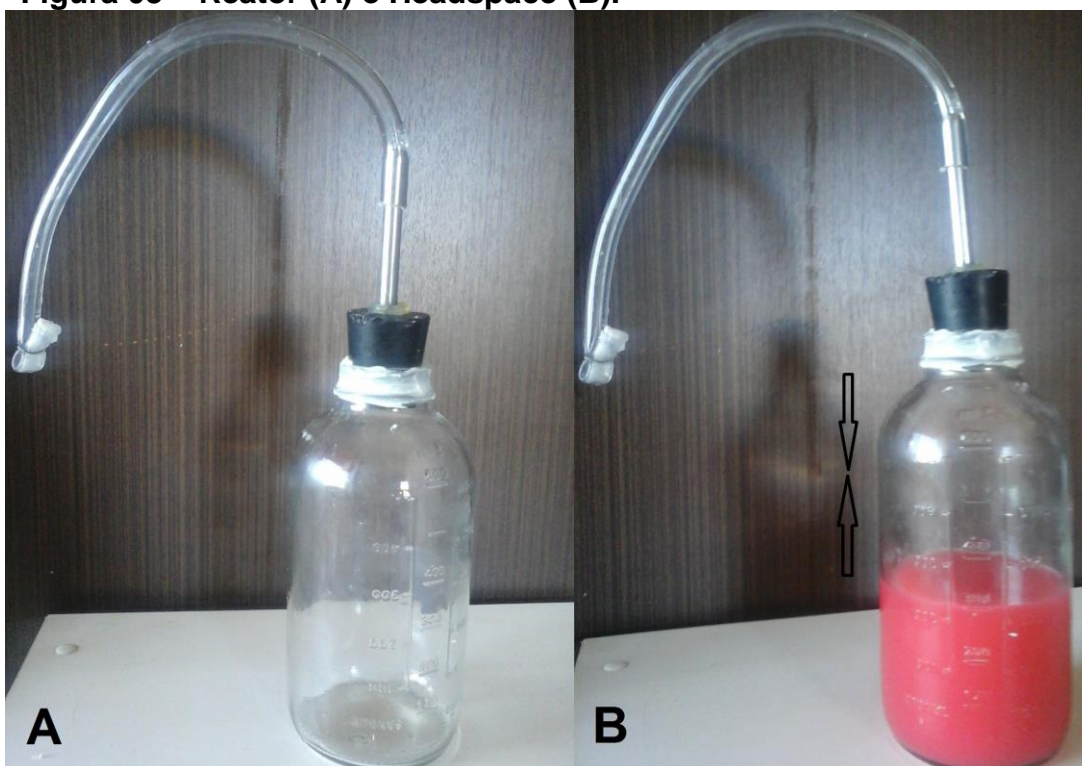
A coleta do bagaço de cana-de-açúcar foi feita na Usina Utinga Leão, localizada no município de Rio Largo/AL. O material consistiu em uma quantidade aproximada de 5 kg de bagaço de cana-de-açúcar, moída pouco antes da coleta, através do processo industrial de moagem para produção de etanol e açúcar. O tamanho das partículas tinha de 4 a 5 cm e foram imediatamente armazenados em um recipiente plástico para serem deslocados ao laboratório experimental de análise de alimentos do CECA/UFAL.

As excretas de frango tiveram origem do Setor de Avicultura do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas/UFAL, localizado no município de Rio Largo/AL. Os frangos tinham até 10 dias de idade, e foram alimentados com ração à base de milho e soja. As coletas das excretas foram feitas duas vezes ao dia durante cinco dias e foram acondicionadas em um refrigerador para imediato congelamento.

### **3.3 Montagem do experimento**

Foi utilizada para desenvolvimento da pesquisa uma bateria com 06 unidades de biodigestores (reatores) experimentais, tipo batelada, com capacidade de 600 mL, sendo o volume reacional correspondente a 300 mL de substrato e 300 mL de "Headspace" (Figura 3). A anaerobiose foi instalada pela substituição de todo ar atmosférico presente no Headspace dos reatores pelo aborbulhamento de nitrogênio.

**Figura 03 – Reator (A) e Headspace (B).**



Fonte: Autor (2016).

Os reatores foram hermeticamente fechados utilizando-se uma rolha emborrachada contendo uma haste metálica, onde foi acoplada uma mangueira de silicone. A terminação da mangueira foi isolada com cola siliconada e dobrada pra impedir a saída do gás que seria produzido.

Os reatores foram fechados, imediatamente ao acondicionamento do material que seria fermentado, e somente foram abertos no encerramento do experimento.

### **3.4 Tratamentos experimentais**

Foram testados dois tratamentos com três repetições. Considerou-se o bagaço de cana-de-açúcar como substrato e as excretas de frango como inóculo.

O tratamento 01 consistiu em 20 gramas de bagaço de cana-de-açúcar *in natura* moído e desidratado, 10 gramas desidratadas e moídas de excretas de frango e água destilada até completar 300 ml, 50% do volume do reator. Já o tratamento 02 foi composto por 20 gramas de bagaço de cana-de-açúcar *in natura* moída e desidratada, 10 gramas desidratadas e moídas de excretas de frango e

solução de água destilada a 4% de NaOH, até completar 300 ml, correspondendo a 50% do volume do reator (Tabela 03).

**Tabela 03 - Descrição dos tratamentos experimentais**

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

Fonte: Autor (2015).

### 3.5 Coleta do Biogás

A coleta do biogás foi feita através de uma seringa “gastight”, com trava, que transpassava a mangueira de silicone implantada nos bicos dos recipientes, e eram feitas com a frequência de três dias por semana – segunda, quarta e sexta feiras. (Figura 04). Após a coleta o orifício utilizado para aspirar o gás era imediatamente fechado com a cola siliconada.

**Figura 04 - Seringa “gastight” usada para a coleta do biogás.**



Fonte: Autor (2016).



### 3.6 Caracterização do material utilizado

O tempo de execução do experimento foi de 60 dias, onde, durante esse período, foram aferidos os valores de  $\text{CH}_4$  ( $\text{mmol.dia}^{-1}$ ) produzido por cada reator tipo batelada.

A temperatura observada durante toda a execução do experimento foi, em média, de  $26\text{ }^\circ\text{C}$ , e controlada contra mudanças drásticas e repentinas com o acondicionamento dos reatores em uma caixa de isopor.

Foram analisados, para caracterização dos materiais utilizados como substrato e inoculo, os teores de matéria seca (MS), das cinzas (APHA, 1992), e da proteína bruta (PB) e do nitrogênio (N), através do Método de Kjeldahl, segundo Silva (2003).

Para a caracterização dos Lodos iniciais e finais, além dos itens anteriores, foram observados sólidos totais (ST), sólidos totais voláteis (STV), sólidos totais fixos (STF), pH, demanda química de oxigênio (DQO) e eficiência do DQO (APHA, 2002).

**a) Matéria seca:** Determinação da perda de peso do produto submetido ao aquecimento, até peso constante. Foi utilizado o aquecimento direto da amostra a uma temperatura de  $105^\circ\text{C}$ .

**b) Cinzas:** Resíduo obtido por incineração em temperaturas de  $550^\circ$  a  $570^\circ\text{C}$ .

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

**d) Sólidos Totais (ST):** Foi aferido o peso inicial ( $P_o$ ) da amostra, assim que foi retirada da Mufla a uma temperatura de  $550^\circ\text{C}$ , após 60 minutos. Resfriou-se essa amostra e mensurou-se o peso. Em seguida, transferiu-se para a cápsula 50 mL da amostra bruta, medidos em proveta de 100 mL 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, obtendo-se assim o peso seco ( $P_1$ ), sendo determinados pela Equação 01:

$$ST \text{ (mg/l)} = (P_1 - P_0) \cdot 10^6 / V_{\text{Amostra}}$$

Onde:

$P_1$ : Peso seco

$P_0$ : Peso inicial

V: Volume

**e) Sólidos Totais Voláteis (STV):** Após pesada, a amostra foi retirada da estufa e submetida à calcinação em Mufla a 550°C por 60 minutos, sendo retiradas e resfriadas em dessecador, pesadas em balança de precisão, e, obtendo-se assim, o peso final ( $P_2$ ). Cálculos expressos pela Equação 02:

$$STV \text{ (mg/l)} = (P_1 - P_2) \cdot 10^6 / V_{\text{Amostra}}$$

Onde:

$P_1$ : Peso seco

$P_2$  : Peso final

V: Volume

**f) Sólidos Totais Fixos (STF):** Porção do resíduo após a calcinação a 550°C por 1 hora (APHA, 1992). Expresso pela Equação 03:

$$STF \text{ (mg/l)} = (P_2 - P_0) \cdot 10^6 / V_{\text{Amostra}}$$

Onde:

$P_2$  : Peso final

$P_0$  : Peso inicial

V: Volume

**g) pH - Potencial Hidrogeniônico:** Foi utilizado o potenciômetro com eletrodo de calomelano para aferir o pH das amostras iniciais e finais. Durante todo o processo de análise não foi feita nenhuma correção de pH.

**h) DQO - Demanda Química de Oxigênio:** As medições foram feitas através do espectrofotômetro HACH, modelo DR-2500, com comprimento de onda 620 nm, após a digestão da matéria orgânica a 150°C por 120 minutos.

### 3.7 – Análise do biogás produzido – CH<sub>4</sub>

Foi utilizada a metodologia aplicada por Maintinguer et al. (2008), utilizando-se para a determinação da produção e composição do biogás produzido o Cromatógrafo Gasoso *Shimadzu GC-2010-Plus*<sup>®</sup>. O aparelho possui detector de condutividade térmica, e coluna *Supelco Carboxen 1010 Plot*<sup>®</sup> de 30 m de comprimento e diâmetro interno de 0,53 mm.

As coletas de gases produzidos nos reatores eram feitas através de uma seringa “gastight” (1 ml) com trava, e posteriormente aplicadas no Cromatógrafo (Figura 05).

**Figura 05 - Coleta (01), Travamento (02), Destravamento (03) e Aplicação (04) do biogás.**



Fonte: Autor (2016).

Iniciaram-se as coletas ao quinto dia após fechar definitivamente os reatores. Tentou-se manter a regularidade de leitura em três vezes por semana, totalizando assim um total de 54 dias de operação dos reatores.

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

$$Y = [(A_1 - A_2) / ((1 + e^{(x-x_0)/d_x})/d_x)] + d_x$$

Onde:

A<sub>1</sub>: Valor inicial = 0

A<sub>2</sub>: Valor final = 1

x<sub>0</sub>: Centro = 0

d<sub>x</sub>: Constante de tempo = 1

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

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

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quanto à caracterização do bagaço de cana-de-açúcar e das excretas de frangos, utilizados para abastecer os reatores, foram observados, conforme Tabela 04, valores poucos distintos para a matéria seca, proteína bruta e nitrogênio, quando comparado os dois resíduos. No entanto, notou-se apenas uma diferença mais acentuada nos valores de cinzas, 20,08% e 7,36% para bagaço de cana-de-açúcar e excretas de frango, respectivamente.

**Tabela 04 - Caracterização do material utilizado**

	Excreta de frango	Bagaço de cana-de-açúcar
Matéria seca (MS)	77,36 %	95,36 %
CINZAS (MS)	20,08 %	7,36 %
Proteína Bruta (MS)	9,68 %	9,38 %
N (MS)	1,55 %	1,50 %

Fonte: Autor (2016).

Diferentes valores para as análises bromatológicas do bagaço de cana-de-açúcar foram registrados por pesquisadores. Esse fator deve-se as diferenças entre variedades de cana-de-açúcar, idade de corte e outros fatores que interferem nestes resultados.

Carvalho et al (2009) registraram os valores de matéria seca existentes no bagaço de cana-de-açúcar em 40%. Resultados semelhantes foram observados por Carvalho et al (2006), que registraram 40,11%. Já Cândido et al (1999), no entanto, aferiram valores de 69,6% para a matéria seca presente no bagaço da cana-de-açúcar.

Ao analisar as cinzas do bagaço de cana-de-açúcar, Fredericci et al (2012) afirmam que na literatura são indicados vários teores de cinzas obtidos da queima do bagaço de cana-de-açúcar, variando de 2,4% a 10% em peso. Estando, portanto, 7,36%, observado nesta pesquisa, corroborando com o que afirma Fredericci et al (2012).

Carvalho et al (2006) observaram teores de proteína bruta de 2,32%,

quando caracterizou a composição química bromatológica do bagaço da cana-de-açúcar.

Cândido et al (1999) afirmaram que considera, como nível mínimo de proteína bruta para melhor desempenho das atividades fermentativas, o valor de 7%.

Os teores observados de nitrogênio foram de 1,55% e 1,50% para a excreta de frango e o bagaço de cana-de-açúcar respectivamente. Devido a teores registrados de nitrogênio semelhantes entre os resíduos, sugere-se que, talvez, a necessidade das excretas de frango, como inóculo fornecedor de N, não fosse necessário. No entanto, devido a seu alto teor de microorganismos necessários ao processo fermentativo, continuou sendo inoculado na formação dos Lodos reacionais.

Analisando os Lodos iniciais e finais coletados, tanto dos reatores contendo bagaço de cana-de-açúcar *in natura* quanto dos reatores contendo bagaço de cana-de-açúcar tratado, observou-se os seguintes valores (Tabela 05).

**Tabela 05 - Caracterização dos Lodos iniciais e finais**

	Lôdo inicial		Lôdo final	
	<i>Bagaço de cana in natura</i>	Bagaço de cana tratado	<i>Bagaço de cana in natura</i>	Bagaço de cana tratado
Matéria seca	87,52 %	84,31 %	88,16 %	86,94 %
CINZAS	6,05 %	47,42 %	8,76 %	48,04 %
Proteína Bruta	6,71 %	4,89 %	7,11 %	5,93 %
N	1,07 %	0,78 %	1,14 %	0,95 %
ST (mg/l)	42.932,22	96.712,30	37.231,70	63.871,88
STV (mg/l)	24.902,97	46.711,26	34.404,52	34.529,93
STF (mg/l)	18.029,25	50.001,04	2.827,19	29.341,95
Ph	5,09	13,05	3,60	13,08
DQO (mg/l)	70.148,88	77.524,32	26.818,17	23.437,76
Eficiência DQO			61,79 %	69,41 %

Fonte: Autor (2016).

A diminuição dos sólidos totais, voláteis e fixos foi observada. Este comportamento foi idêntico ao de outros experimentos conduzidos com diferentes insumos.

Santos (2016), em experimentos com reatores anaeróbios abastecidos com resíduo de *citrus* consorciado com dejetos de suínos, observou também a diminuição dos valores para os três índices de sólidos.

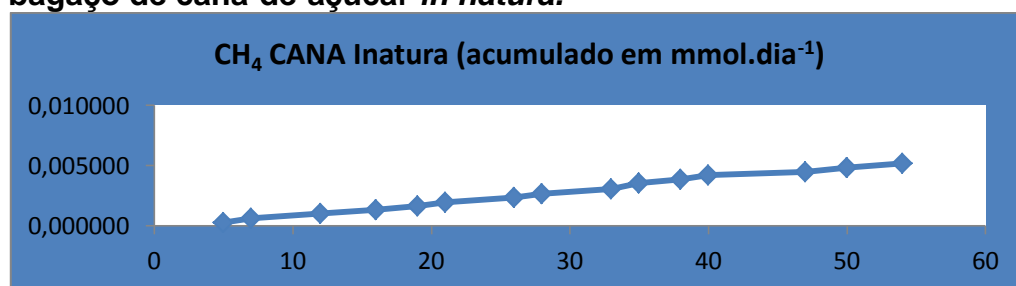
Steil (2001), analisando o uso de inóculos em digestão anaeróbias em resíduos de aves e suínos, pode verificar que também houve uma diminuição nos sólidos totais, voláteis e fixos determinados em seu experimento.

Ao analisar o teor de pH no Lôdos iniciais e finais presentes nos reatores anaeróbios deste experimento, foi possível notar que houve uma diminuição nos valores para os tratamentos compostos por bagaço de cana-de-açúcar *in natura*. No entanto, para os reatores abastecidos com o bagaço de cana-de-açúcar tratado com solução a 4% de NaOH, esse índice teve seu valor aumentado, quando passou de 5,09 para 3,60 para o primeiro tratamento e de 13,05 para 13,08 no segundo tratamento. Esta reação de manter o pH praticamente estável, para o bagaço de cana-de-açúcar tratado, provavelmente deveu-se ao fato do bagaço de cana-de-açúcar ter sido tratado dentro do reator, no início da sua montagem. Essa ação permitiu que o ambiente reacional sofresse uma influencia direta da solução a 4% de NaOH.

De acordo com Chermicharo (1997) e Van Haandel & Lettinga (1994), o pH ideal para a formação do metano deve variar entre 6,0 e 8,0. Porém, afirmam que valores abaixo de 6,0 e acima de 8,3 devem ser evitados, pois inibem as bactérias formadoras deste gás.

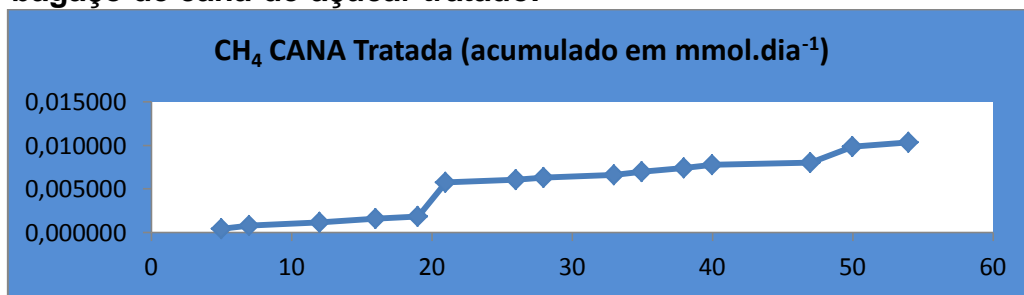
A produção metanogênica ( $\text{mmol.dia}^{-1}$ ) observado em 54 dias, desde o fechamento até a abertura dos reatores, pode ser observada nas Figuras (06 e 07):

**Figura 06 - Acumulado de  $\text{CH}_4$  em  $\text{mmol.dia}^{-1}$ , produzido pelo bagaço de cana-de-açúcar *in natura*.**



Fonte: Autor (2016)

**Figura 07 - Acumulado de CH<sub>4</sub> em mmol.dia<sup>-1</sup>, produzido pelo bagaço de cana-de-açúcar tratado.**



Fonte: Autor (2016).

Observa-se, na comparação dos dados representados nas duas figuras, que nos reatores contendo bagaço de cana-de-açúcar tratado com o hidróxido de sódio (NaOH) obteve, nos 54 dias analisados, um maior acúmulo de gás metano (0,000494 mmol), quando comparada com os reatores do bagaço de cana-de-açúcar *in natura* (0,000345mmol). Pode-se atribuir a essa diferença, a ação do hidróxido de sódio (NaOH) na molécula de celulose e lignina, durante o processo de formação gasosa dos reatores, atuando na hidrólise do composto ligno-celulósico.

A lignina é uma biomolécula, não polissacarídea, de natureza hidrofóbica, que interage com a celulose e a hemicelulose. É ela a responsável pelo quase totalidade da rigidez da parede celular (HENRIKSSON, 2009).

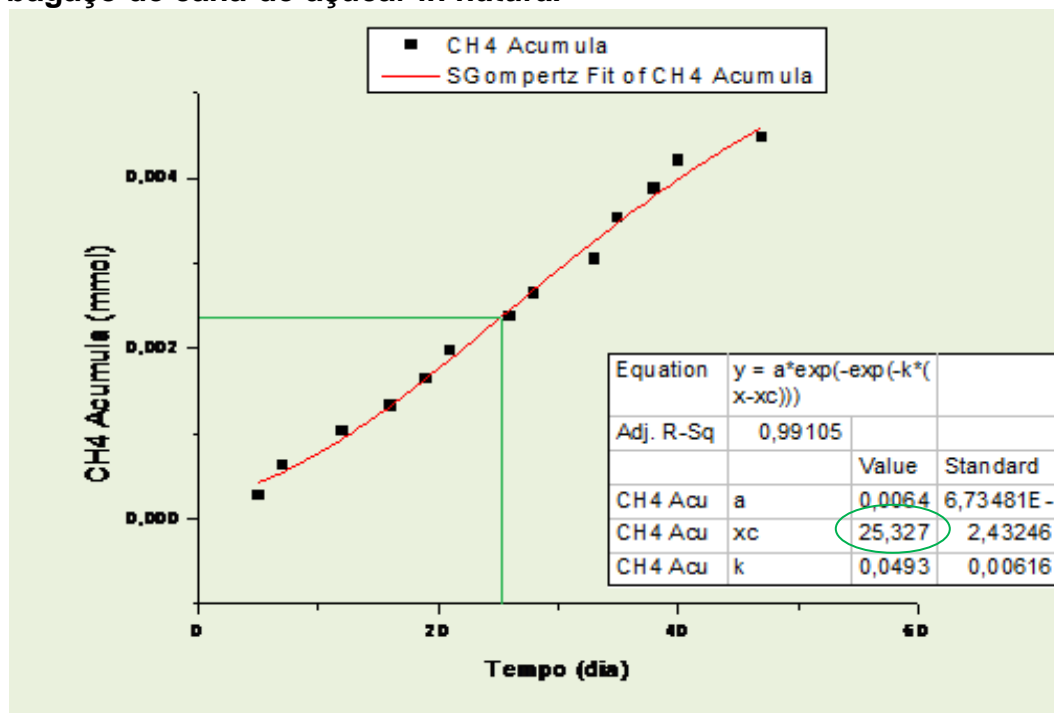
Siqueira (2015), em pesquisas com o bagaço de cana-de-açúcar, submetido ao pré-tratamento com o NaOH em uma solução alcalina de 5%, para avaliar a hidrólise da lignina e da celulose, observaram que a ação da solução empregada obteve uma elevada solubilização da lignina levando a uma melhor adsorção.

As reações em meio alcalino favorecem a solubilização, uma vez que resultam na despolimerização da lignina. Em condições ácidas a condensação da lignina aumenta a sua massa molar e diminui sua solubilidade (FENGEL; WEGENER, 1983; GELLERSTEDT, 2009).

Após aplicar a Equação de Gompertz, foi possível determinar o dia em que os reatores obtiveram a maior taxa de produção metanogênica. Os resultados estão apresentados nas Figuras 08 e 09.

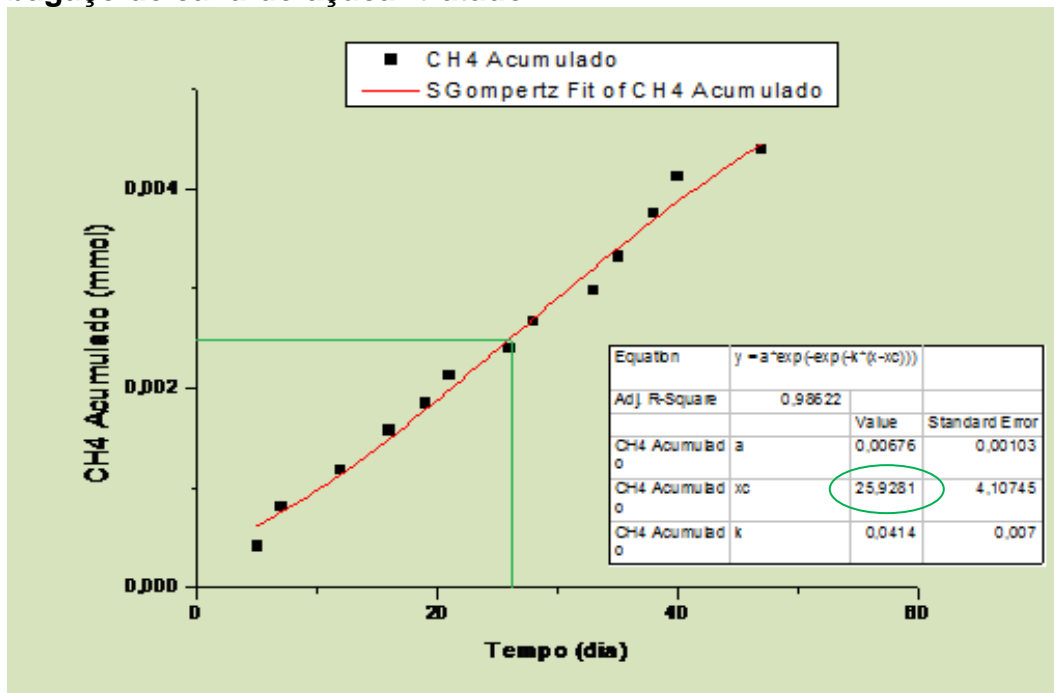


Figura 08 – Potencialização metanogênica do CH<sub>4</sub> em reatores com bagaço de cana-de-açúcar *in natura*.



Fonte: Autor (2016).

Figura 09 - Potencialização metanogênica do CH<sub>4</sub> em reatores com bagaço de cana-de-açúcar tratado.



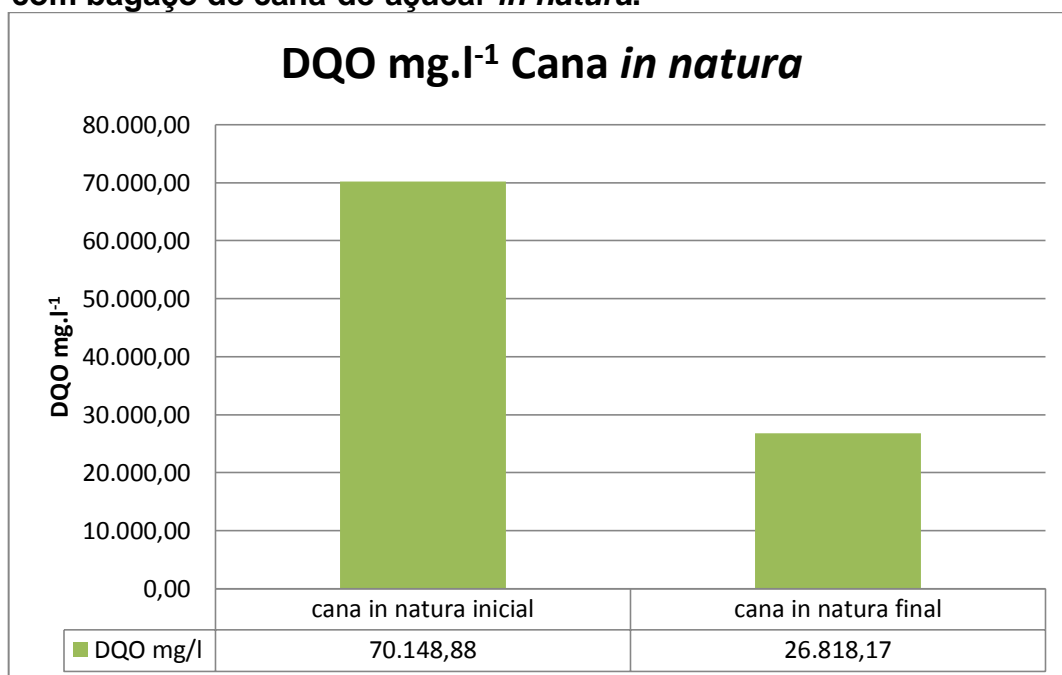
Fonte: Autor (2016).

Nas figuras 8 e 9 observou-se, como data aproximada para a maior eficiência produtiva do CH<sub>4</sub>, o vigésimo quinto dia (25,327) para o bagaço de cana-de-açúcar *in natura* e o vigésimo sexto dia (25,9281) para o bagaço de cana-de-açúcar tratado.

Comparando os dias em que houve a otimização e o acumulado de gás metano, constatou-se que, apesar do bagaço de cana-de-açúcar tratado com o NaOH ter tido um período, aproximadamente igual, para obter sua melhor produtividade, seu potencial produtivo acumulado foi próximo ao dobro do apresentado pelo bagaço de cana-de-açúcar *in natura*. Esses resultados corroboram a teoria da quebra da lignina ocorrendo a facilitação na digestão da matéria orgânica pelas bactérias metanogênicas.

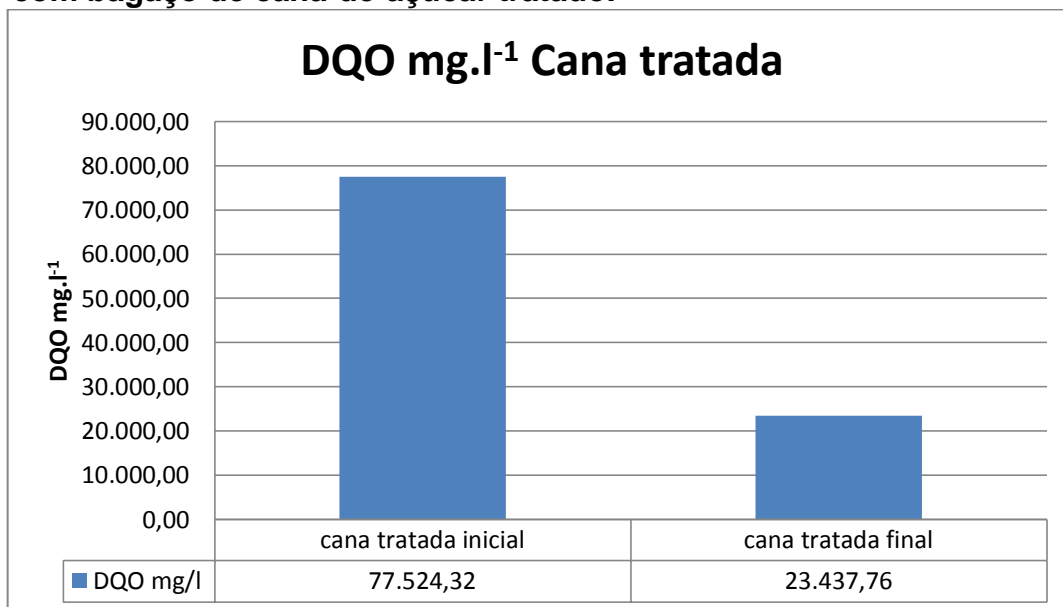
Quando são analisados os valores da demanda química de oxigênio (DQO) no Lodo dos dois tratamentos pesquisados (Figuras 10 e 11), notou-se que tanto o tratamento 1 quanto o tratamento 2 apresentaram valores bastante próximos, tanto para os Lodos iniciais dos bagaços de cana-de-açúcar *in natura* e tratado (70.148,88 mg.l<sup>-1</sup> e 77.524,32 mg.l<sup>-1</sup>, respectivamente), quanto para os Lodos finais da cana-de-açúcar *in natura* e tratada (26.818,17 mg.l<sup>-1</sup> e 23.437,76 mg.l<sup>-1</sup>, respectivamente).

**Figura 10 - Demanda química de oxigênio, inicial e final, em reatores com bagaço de cana-de-açúcar *in natura*.**



Fonte: Autor (2016).

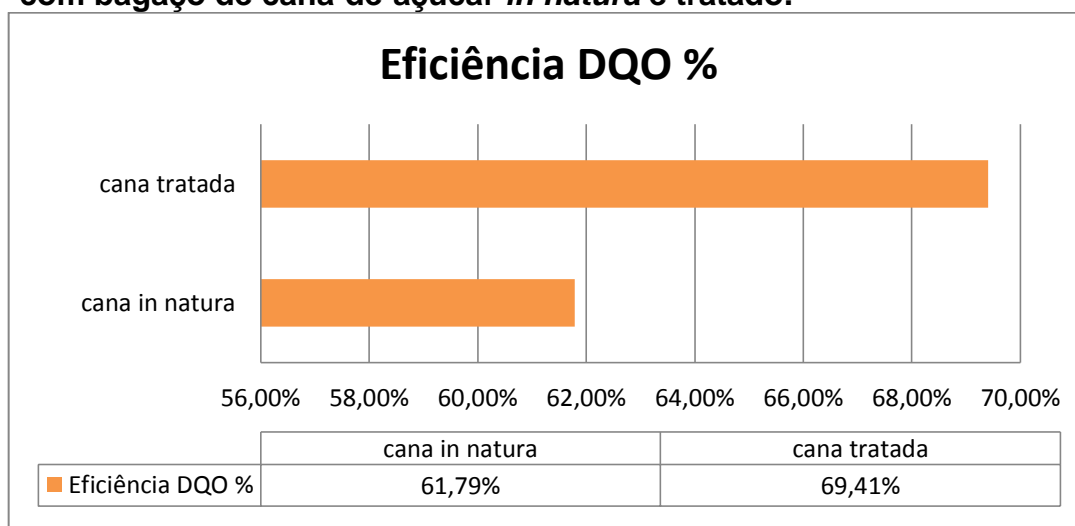
**Figura 11 - Demanda química de oxigênio, inicial e final, em reatores com bagaço de cana-de-açúcar tratado.**



Fonte: Autor (2016).

Analizando a eficiência da demanda química de oxigênio, em percentual, observou-se que o tratamento 2 com bagaço de cana-de-açúcar tratado com o NaOH apresentaram melhor desempenho que o tratamento 1 com bagaço de cana-de-açúcar *in natura*, registrando valores de 69,41% e 61,79%, respectivamente (Figura 12).

**Figura 12 - Eficiência na demanda química de oxigênio, em reatores com bagaço de cana-de-açúcar *in natura* e tratado.**



Fonte: Autor (2016).

## 5 CONCLUSÕES

O bagaço de cana-de-açúcar submetido ao tratamento com a solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 4%, apresentou melhores resultados na produção de CH<sub>4</sub> quando comparado com os resultados do bagaço de cana-de-açúcar *in natura*, obtendo em tempos semelhantes, para produção máxima metanogênica, o dobro de gás metano produzido. Foram registrados durante os 60 dias de execução, em mmol acumulado, os valores de 0,010379 e 0,005185, respectivamente.

## REFERÊNCIAS

- AIRES, A. M. **Biodigestão anaeróbia da cama de frangos de corte com ou sem separação das frações sólida e líquida**.2009. 134f. Dissertação (mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP. 2009.
- ALCARDE, A. R. **Processamento da cana-de-açúcar: outros produtos**. Agência de informação EMBRAPA, 2009. Disponível em: [www.agencia.cnptia.embrapa.br](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br). Acesso em: 32 set. 2016.
- ANGONESE, A.R. *et al.* 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.
- APHA, AWWA, WPCF. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 18. ed. Washington: APHA, 1992.
- APHA, AWWA, WPCF. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 18. ed. Washington: APHA, 2002.
- BACCHI, O. O. S. **Botânica da cana-de-açúcar In: Orlando Filho, J. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR, 1983. p.25-37.
- BARREIRA, Paulo. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para zona rural**. São Paulo: Ícone, 2011.
- BETANCUR, G.J.V. **Avanços em Biotecnologia de Hemicelulose para Produção de Etanol por Pichiastipitis**. 2005. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Brasil. 2005.
- CAIEIRO, J. T. *et al.* Physical purity and germination of sugarcane seeds (Caryopses) (*Saccharum* spp.). **Revista Brasileira de sementes**, Londrina, v. 32, n. 02, p. 140-145, Jun. 2010.
- CÂNDIDO, M. J. D. *et al.* Avaliação do Valor Nutritivo do Bagaço de Cana-de-açúcar Amonizado com Uréia. **Rev. bras. zootec.**, v.28, n.5, p.928-935, 1999.
- CARVALHO, G. G. P. *et al.* Composição química e digestibilidade da matéria seca do bagaço de cana-de-açúcar tratado com óxido de cálcio. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.61, n.6, p.1346-1352, 2009
- CARVALHO, G. G. P. *et al.* Valor nutritivo do bagaço de cana-de-açúcar amonizado com quatro doses de uréia. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.41, n.1, p.125-132, jan. 2006
- CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A.. **Ecofisiologia de culturas estrativistas: cana-de-açúcar; seringueira; coqueiro; dendezeiro e oliveira**. Cosmópolis: Stoller do

Brasil, 2001, p. 13-45.

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

COSTA, M. C. G. **Distribuição e crescimento radicular em soqueiras de cana-de-açúcar: dois cultivares em solos com características distintas**. 2005. 88 f. Tese (Doutorado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

CRONQUIST, A. **Na integrated system of classification of flowering plants**. New York: Columbia University Press, 1981. 126p.

DIAS, M.O.S. et al. Second generation ethanol in Brazil: Can it compete with electricity production? **Bioresource Technology**, v. 102, p.8964-8971, 13 jul. 2011.

FAHL, J.I. *et al.* Polyoses Hemicelluloses. In: **WOOD: chemistry, ultrastructure, reactions**. Berlin: Walter de Gruyter, 1983.

FAHL, J.I. *et al.* **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**, Boletim 200, ed. 6, IAC, 396p. 1998.

FREDERICCI, C. *et al.* Caracterização de cinzas de bagaço de cana como matéria prima para a produção de cerâmica. CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 56, e CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CERÂMICA, 1, e BRAZILIAN SYMPOSIUM ON GLASS AND RELATED MATERIALS, 9. 03 a 06 de junho de 2012, Curitiba, **Anais...** Curitiba, 2012.

FURTADO, A. D. *et al.* **Subprodutos da indústria sucroalcooleira e sua utilização** – Módulo VI Curso de Especialização em Gestão na Indústria Sucroalcooleira, 1. ed. Campina Grande - PB: Centro de Tecnologia e Recursos Naturais – Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande – Cuiabá – MT: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – Departamento de Solos. 2009.

GELLERSTEDT, G. Chemistry of chemical pulping. In: EK, M.; GELLERSTEDT, G.; HENRIKSSON, G.. **Pulping chemistry and technology**. Berlin: Walter de Gruyter, 2009.

GIROTTI, A. F., ÁVILA, V. S. **Cama de aviário: análise econômica de materiais alternativos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2003. 4p. Embrapa Suínos e Aves. Comunicado Técnico, 326.

HENRIKSSON, G. Lignin. In: EK, M.; GELLERSTEDT, G.; HENRIKSSON, G.. **Wood chemistry and biotechnology**. Berlin: Walter de Gruyter, 2009.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, 2016. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa\\_201608\\_5.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201608_5.shtm). Acesso em: 19 de junho de 2016.

ISRAEL, C.M. **Utilização do resíduo do processamento do palmito para a produção de enzimas hidrolíticas por fungos do gênero Polyporus**. 2005. 136 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2005.

Knight, P. Energy crops have begun a revolution for agribusiness in Brazil. **World Ethanol & Biofuels Report, F. O. Licht**, v.05, n.12, p. 243-248, 2007.

LETTINGA, G. Anaerobic treatments of very low strength and cold industrial and domestic wastewater. In: VIÑHAS, M; SOUBES, M; BORZACCONI, L; MUXI, L. (eds). TALLER Y SEMINÁRIO LATINO AMERICANO – Tratamiento anaeróbico de águas residuales, 3, 1994 Montivideo, **Anales...** Montivideo, Uruguay, 1994. P. 155-168.

LETTINGA, G; HULSHOF, P. W; ZEEMAN, G. Biological Wastewater Treatment. Part I: **Anaerobic Wastewater treatment**. Lecture Notes. Wageningen Agricultural University, Ed. January, 1996.

LIMA, G. A. **Cultura da cana-de-açúcar**. Fortaleza: Editora Fortaleza. 1984. 159p.

LUCAS JUNIOR, J. *et al.* Avaliação do uso de inóculo no desempenho de biodigestores abastecidos com estrume de frangos de corte com cama de maravalha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22. 1993, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: SBEA/CEPLAC, 1993. v. 2, p. 915-30.

MACEDO, I. C. **Geração de energia elétrica a partir de biomassa no Brasil: situação atual, oportunidades e desenvolvimento**, *Relatório para MCT*, Brasília, 2001.

MAHADEVASWAMY, M., VENKATARAMAN, L.V. Bioconversion of poultry droppings for biogas and algal production. **Agricultural Wastes**, v.18, n.2, p.93-101, 1986.

MAINTINGUER, S. *et al.* IFermentative Hydrogen Production by Microbial Consortium. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 33, p. 4309 - 4317, 2008.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – Cana-de-Açúcar. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar>. Acesso em: 01 de agosto de 2016.

MARTINS, R. **Energia produzida a partir do bagaço da cana é economicamente viável**. Agência USP: 2009. Disponível em: <http://www.essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/BolsistaDeValor/article/viewFile/2433/1321>. Acesso em: 18/08/2016.

MARTINS, S. S. Avicultura de corte: situações e perspectivas em maio de 2005. **Informações Econômicas**, v.35, n.7, São Paulo: IEA, 2005, pp. 57-59.

MCT, Ministério da Ciência e Tecnologia. **Usinas aproveitam co-geração e lucram com mercado de crédito de carbono**, 2006. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010> . Acesso em 11 julho 2016.

MEDEIROS, R.S. **Efeito da substituição do bagaço de cana-de-açúcar auto-hidrolisado por sorgo na fermentação ruminal em bovinos, digestibilidade in vitro em ovinos e desempenho animal em bovino em acabamento**. 1992. 104p. Dissertação (Mestre em Ciência Animal e Pastagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1992.

MURARO, W. **Avaliação do funcionamento de motor ice com gás de baixo poder calorífico proveniente da gaseificação de casca de arroz**. Dissertação de Mestrado – Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica. Campinas, 2006.

OLIVEIRA, P. A. V. de. **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004. (Programa Nacional do Meio Ambiente - PNMA II).

PALHARES, J. C. P. **Uso de cama de frango na produção de biogás**. Concórdia, SC: Embrapa Suínos e Aves, 12p. (Circular Técnica, 41). 2004.

PAOLIELLO, J. M. M. **Aspectos Ambientais e Potencial Energético no Aproveitamento de Resíduos da Indústria Sucroalcooleira**. 2008. Dissertação (e Mestrado). Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2008.

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, p. 118-127, 2007.

PEREIRA Jr., N. Palestra II: Biotecnologia de Lignocelulósicos e o contexto de Biorrefinaria Associado. **Congresso Brasileiro de Engenharia Química (COBEQ)**, São Paulo, 2006. **16. Anais...** 24-27 Setembro de 2006.

RIZZI, A. T. **Mudanças Tecnológicas e Reestruturação da Indústria Agroalimentar: o caso da indústria de frangos no Brasil**. 1993. Tese (Doutorado em Economia). Campinas: Unicamp, 1993.

RODRIGUES, L. D. **A cana-de-açúcar como matéria-prima para a produção de biocombustíveis: impactos ambientais e o zoneamento agroecológico como ferramenta para mitigação**. Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais, 2010.

SALMINEN, E.A.; RINTALA, J.A. Semi-continuous anaerobic digestion of solid poultry



slaughterhouse waste: effect of hydraulic retention time and loading. **Water Research**, Londres, v.36, p.3.175-3.182, 2002.

SANTOS, I. V. V. S. **Biodigestão anaerobia dos resíduos da agroindústria de citrus em consórcio com dejetos de suínos**. 2016. Dissertação (Mestrado). Mestrado em Energia de Biomassa. Universidade Federal de Alagoas, 2016.

SCHMIDELL, W.; LIMA, U.S.; AQUARIBE, E. & BORZANI, W. **Biotechnologia Industrial: Engenharia Bioquímica**, v. 2. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1 edição. 541 p. 2001.

SEIXAS, J; MARCHETTI, D. A. B.. **Construção e funcionamento de biodigestores**. Brasília: Embrapa Suínos e Aves, 1981. 60 p.

SINDAÇÚCAR – Sindicato da Indústria do Açúcar e do Alcool – **Boletim Geral de Produção, 2016**. Disponível em: <http://www.sindicucar-al.com.br/wp-content/uploads/2016/09/N24BoletimgeraldeproducaoART20152016.pdf>. Acesso em: 01 de junho de 2016.

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

SOUZA, M. L. B.; LAGE FILHO, F. A. Emprego de biodigestores anaeróbios no aproveitamento de resíduos animais e controle da poluição ambiental. **Revista Acadêmica Oswaldo Cruz**, ano 1, n.3 julho-setembro 2014.

STAMS, A. J. M. Metabolic interactions between an aerobic bacteria in methanogenic environments. **Antonie van Leeuwenhoek**, v.66, p. 271-294, 1994.

STEIL, L. **Avaliação do uso de inóculos na biodigestão anaeróbia de resíduos de aves de postura, frangos de corte e suínos**. 2001. 109f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2001.

TARRETO, G. E.; MARTINEZ, J. C. Análise da implantação de biodigestores em pequenas propriedades rurais, dentro do contexto da produção limpa. In: SIMPEP, 13. Bauru, **Anais...**Bauru, SP, 2006.

TESSARO, A. A. **Potencial energético da cama de aviário produzida na região sudoeste do Paraná utilizada como substrato para a produção de biogás**. 2011. Dissertação (mestrado em Engenharia). Instituto de tecnologia para o desenvolvimento em parceria com o Instituto de engenharia do Paraná, Paraná: Curitiba, 2011.

UNICA – **União da Indústria de Cana-de-Açúcar** – Histórico de produção e moagem, 2015. Disponível em: <http://www.unicadata.com.br/historico-de-producao-e-moagem.php?idMn=31&tipoHistorico=2>. Acesso em: 20 de junho de 2016.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos: manual**

**para regiões de clima quente.** Campina Grande: Epgraf, 1994. 210p.

VASCONCELOS, Y. Não sobra nem o bagaço. 2003. **Revista Pesquisa Fapesp.** São Paulo. ed. 77. Disponível em: [www.revistapesquisa.fapesp.br/2013](http://www.revistapesquisa.fapesp.br/2013). Acesso em: 11 julho 2016.

VATTAMPARAMBIL, S. R. **Anaerobic Microbial Hydrolysis of Agriculture Waste for Biogas Production.** International Conference on Emerging Frontiers in Technology for Rural Area (EFITRA). Proceedings published in International Journal of Computer Applications – 2012.