



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



**DAVI ALVES PEREIRA JÚNIOR**

**POTENCIAL ENERGÉTICO DO ESTERCO BOVINO EM ALAGOAS: VALOR DE**  
**SUBSTITUIÇÃO E IMPACTO DA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA**

Rio Largo  
2018

**DAVI ALVES PEREIRA JÚNIOR**

**POTENCIAL ENERGÉTICO DO ESTERCO BOVINO EM ALAGOAS: VALOR DE  
SUBSTITUIÇÃO E IMPACTO DA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA**

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

Orientador: Prof. Dr. Elton Lima Santos

Co-orientadora: Dr<sup>a</sup>. Jerusa Maria de Oliveira Amorim

Rio Largo

2018

Catálogo na fonte  
Universidade Federal de Alagoas  
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias  
Bibliotecário: Erisson Rodrigues de Santana

P436p Pereira Junior, Davi Alves

Potencial energético do esterco bovino em Alagoas: valor de substituição e impacto da biodigestão anaeróbia. Rio Largo-AL – 2019.

41 f.; il; 33 cm

Dissertação (Mestrado em Energia da Biomassa) - Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2019.

Orientador(a): Prof. Dr. Elton de Lima Santos.

Co-orientador: Dr<sup>a</sup>. Jerusa Maria de Oliveira Amorim.

1. Biodigestão. 2. Biofertilizante. 3. Biogás. 4. Bovinocultura Leiteira. I. Título.

CDU: 636.2: 620.95

DAVI ALVES PEREIRA JÚNIOR

**TERMO DE APROVAÇÃO**

**Potencial energético do esterco bovino em Alagoas: valor de substituição e impacto da biodigestão anaeróbia.**

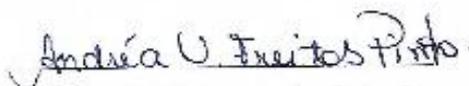
Esta dissertação foi submetida a julgamento como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre Profissional em Energia da Biomassa, outorgado pela Universidade Federal de Alagoas.

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

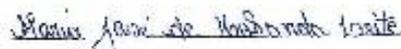
Aprovado em 06/12/2018



Prof. Dr. Eilton Lima Santos  
Orientador (CECA/UFAL)



Prof. Dr. Andrea de Vasconcelos Freitas Pinto  
Membro Externo (CECA/UFAL)



Prof. Dr. Maria José de Holanda Leite  
Membro Externo

*Ao meu pai, Davi, a minha esposa Hipolyana e à minha filha Clara.*

**DEDICO.**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, que me concedeu o dom da vida e a oportunidade desta passagem aqui na Terra.

A meu pai, Davi Alves, que sempre esteve presente em minha vida, e me proporcionou uma formação íntegra e justa, que foi fundamental para eu me tornar o que sou hoje.

A minha filha, Clara Simone de Oliveira Alves, por ser a razão do meu viver.

A minha esposa Hipolyana Simone de Oliveira Alves, companheira de todas as horas, obrigado pelo incentivo e companheirismo de sempre.

Ao meu professor, orientador e amigo, Dr. Elton Lima Santos, por todos os ensinamentos e paciência, agradeço de coração.

Agradecer também a co-orientadora Dra. Gerusa Maria de Oliveira, pelas orientações e por fazer parte deste importante momento da minha vida.

A todos os professores deste mestrado, que contribuíram de forma direta e indireta para minha chegada até aqui.

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

Ao Centro de Ciência Agrárias da Universidade Federal de Alagoas por sempre me acolher da melhor maneira possível.

Ao programa de Pós-Graduação em Energia da Biomassa por tornar possível a realização deste mestrado.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para tornar esse sonho possível.

*“Na natureza nada se cria, nada se perde,  
tudo se transforma”.*

Antoine Lavoisier

## RESUMO

A produção de esterco já se mostrou uma fonte eficaz de adubação, além de diminuir o uso dos fertilizantes químicos, que contribuem para aumentar a acidez do solo. Dentre os adubos orgânicos, o esterco bovino é o mais utilizado e um dos mais produzidos na região Nordeste do país, com destaque para a bacia leiteira de Alagoas que produz uma média de 40.000 L de leite por dia e possui cerca de 1.264.053 cabeças bovinas existentes no Estado de Alagoas (IBGE, 2016), com um total de 192.181 vacas ordenhadas, considerando nesta contagem os animais existentes em 31 de dezembro daquele ano. Diante do potencial de produção de esterco gerado pela bovinocultura leiteira do Estado de Alagoas, o objetivo desse estudo foi realizar uma pesquisa bibliográfica através de revisão de literaturas nas fontes: sites de informações de órgãos estaduais e federais e revistas locais que abordam a temática e a partir dela, apresentar uma alternativa de produção energética sustentável para Alagoas. Para tanto, quantificou-se em valor energético os macronutrientes do esterco bovino e do biogás obtido através da biodigestão anaeróbia e a substituição do fertilizante químico pelo biofertilizante. Considerando o rebanho bovino leiteiro alagoano de 2016, o estudo mostrou que o Estado possui um potencial de produção médio de 4.035.801 Kg/dia de esterco, sendo capaz de gerar 21.389,75 Kg/dia de Nitrogênio, 8.475,18 Kg/dia de Fósforo e 17.353,94 Kg/dia de Potássio, podendo alcançar uma produção de 161.432,04 m<sup>3</sup>/dia de biogás com um valor energético de 2.620.849.169,40 KJ/Kg e gerando uma disponibilidade de 230.847,8172 kWh de energia elétrica por dia, o que daria para abastecer mensalmente 43.284 residências no Estado de Alagoas. Ao considerar a substituição do fertilizante químico pelo biofertilizante, obteve-se uma economia de energia fóssil na ordem de 612.865.106,15 MJ/ano.

**Palavras-chave:** Biodigestão, biofertilizante, biogás, bovinocultura leiteira.

## ABSTRACT

Manure production has already proved to be an effective fertilizer source, as well as reducing the use of chemical fertilizers, which contribute to the increase of soil acidity. Among the organic fertilizers, cattle manure is the most used and one of the most produced in the Northeast of the country, especially the Alagoas milk basin, which produces an average of 40,000 L of milk per day and has about 1,264,053 heads bovine animals in the state of Alagoas (IBGE, 2016), with a total of 192,181 milked cows, considering the animals on December 31 of that year. In view of the potential for manure production generated by dairy cattle in the state of Alagoas, the objective of this study was to conduct a bibliographical research through literature review in the sources: information sites of state and federal agencies and local magazines that address the theme and the from it, to present an alternative of sustainable energy production for Alagoas. For that, the macronutrients of cattle manure and biogas obtained through anaerobic biodigestion and the replacement of the chemical fertilizer by the biofertilizer were quantified in energy value. Considering the Alagoas dairy herd of 2016, the study showed that the State has an average production potential of 4,035,801 kg / day of manure, being able to generate 21,389.75 kg / day of Nitrogen, 8,475.18 kg / day of Phosphorus and 17,353.94 Kg / day of Potassium, being able to reach a production of 161,432.04 m<sup>3</sup> / day of biogas with an energetic value of 2,620,849,169.40 KJ / Kg and generating an availability of 230,847,8172 kWh of electric energy per day, what would give to supply 43,284 residences monthly in the State of Alagoas. When considering the substitution of the chemical fertilizer by the biofertilizer, a saving of fossil energy in the order of 612,865,106.15 MJ / year was obtained.

**Key words:** Biodigestion, biofertilizer, biogas, dairy cattle

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1 Desenvolvimento sustentável.....	13
2.2 Fontes renováveis de geração de energia.....	14
2.3 Pecuária e seus resíduos.....	15
2.4 Potencial de produção de esterco bovino em Alagoas.....	16
2.5 Etapas do processo de digestão anaeróbia.....	17
2.5.1 Fase de hidrólise.....	18
2.5.2 Fase acidogênica.....	18
2.5.3 Fase acetogênica.....	19
2.5.4 Fase metanogênica.....	19
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1 Fonte dos dados utilizados.....	20
3.2 Fontes de dados utilizados.....	21
3.3 Enfoque e direcionamento do estudo.....	21
3.4 Caracterização do esterco bovino.....	22
3.5 Estimativa de produção de esterco.....	23
3.6 Estimativa de disponibilidade diária de macronutrientes.....	24
3.7 Estimativa do valor energético de substituição do esterco.....	25
3.8 Estimativa de disponibilidade anual de macronutrientes.....	26
3.9 Estimativa de produção de biogás.....	26
3.10 Produção diária de biogás.....	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	28
4.1 Perfil da Bovinocultura Brasileira.....	28
4.2 Estimativa de produção de esterco em Alagoas.....	28
4.3 Estimativa de disponibilidade diária de macronutrientes.....	30
4.4 Estimativa do valor energético de substituição do esterco.....	30
4.5 Estimativa de disponibilidade anual de macronutrientes.....	31
4.6 Estimativa de produção de biogás.....	32
4.7 Produção diária de biogás.....	32
4.8 Valor energético do biogás proveniente da biodigestão de dejetos	

bovinos.....	32
4.9 Produção de Energia Elétrica.....	33
4.10 Possíveis usos do biogás e da energia gerada.....	33
5. CONCLUSÕES.....	36
7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos principais produtores de carne bovina no mundo, resultado de um estruturado processo de desenvolvimento que elevou a qualidade do produto brasileiro aumentando sua competitividade e abrangência de mercado externo (EMBRAPA, 2017). No ano de 2015, o Brasil se posicionou como o maior rebanho bovino (215 milhões de cabeças), o segundo maior consumidor (38,6 kg/habitante/ano) e o segundo maior exportador (1,9 milhões toneladas equivalente carcaça) de carne bovina do mundo, tendo abatido mais de 39 milhões de cabeças (EMBRAPA, 2017). Neste contexto, a exportação de carne bovina representou 3% das exportações brasileiras e um faturamento médio de 6 bilhões de reais e, em termos de produto interno bruto, atingiu 6% do PIB brasileiro ou 30% do PIB do Agronegócio, com um movimento superior a 400 bilhões de reais (EMBRAPA, 2017).

Em 2016, a Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM) registrou 218,225 milhões de cabeças bovinas no Brasil, até 31 de dezembro daquele ano, tanto destinados à produção de carne quanto à de leite (IBGE, 2016). Para o estado de Alagoas, a PPM registrou um quantitativo de 1.264.053 cabeças de bovinos, sendo 192.181 destinados à produção de leite (IBGE, 2016).

Diante desse grande potencial, observa-se que a bovinocultura brasileira possivelmente origina um enorme volume de resíduos orgânicos. Esses quando corretamente manejados e utilizados, podem gerar a produção de energia renovável e fornecer fertilizantes naturais, melhorando as condições físicas, químicas e biológicas do solo e corpos d'água (PRADO e CAMPOS, 2008). Quando esses resíduos orgânicos são manuseados de forma inadequada, constituem fonte de contaminação ao meio ambiente, especialmente quando direcionados para as fontes hídricas. Os resíduos orgânicos da bovinocultura podem ser aproveitados para a geração de energia e consequentemente evitar a poluição ambiental, evitando desperdício e criando outras fontes de renda para o produtor (PRADO e CAMPOS, 2008).

O Tratamento de resíduos por processos anaeróbios vêm sendo utilizados desde os tempos romanos (MOREIRA et al, 2005). Os resíduos sólidos orgânicos, de origem vegetal ou animal, são passíveis de estabilização anaeróbia. No Brasil, o tratamento anaeróbio vem sendo utilizado para bioestabilizar, principalmente, lodos de esgoto sanitário e efluentes líquidos com elevada carga orgânica (LEITE *et al.*, 2003).

Com a utilização de biodigestores, os resíduos tornam-se fonte de geração de energia, visto que a partir da biodigestão anaeróbia da matéria orgânica, obtém sua conversão em gás metano, com alto poder energético e a possibilidade de utilização desse biogás para geração de energia agregando valor ao resíduo e diminuindo os custos com o tratamento (MOREIRA et al, 2005). Como consequência, reduz-se a emissão de amônia, controlando odores, além da obtenção do biofertilizante, material estabilizado no interior do biodigestor, que representa estímulo à agricultura, pois é constituído por vários nutrientes que são importantes na adubação de culturas (SERRA, 2009).

Diante do exposto, este estudo visa propor uma alternativa de produção energética sustentável, considerando o contexto da produção de esterco gerado pela bovinocultura leiteira do Estado de Alagoas, através de dados encontrados na literatura. Ao mesmo tempo, quantificar em valor energético os macronutrientes do esterco bovino e do biogás obtido através da biodigestão anaeróbia, além de estimar a produção de energia elétrica.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Desenvolvimento Sustentável

Em razão da estratégia mundial em direção ao desenvolvimento sustentável, que reconhece a necessidade de uma ação internacional para colocá-la em prática, e para estimular e apoiar a ação nacional se faz necessário um enfoque integrado para muitos dos problemas. A cooperação entre as nações e as organizações pode facilitar a conservação dos escassos recursos disponíveis e, desse modo, melhorar as perspectivas para a sustentabilidade. A partir desse princípio a geração de energia através de biogás no Brasil, que apresenta vocação agrícola, juntamente com outras formas de energia relacionadas à biomassa, pode constituir uma importante alternativa de fornecimento de energia (SUZUKI, 2012).

Os impactos ambientais da biomassa residual depositada, sem tratamento prévio no ambiente, podem ser observados nos cursos d'água, em escalas preocupantes pelos efeitos cumulativos das concentrações de nutrientes orgânicos, nitrogênio e fósforo, que diminuem a qualidade das águas de lençóis freáticos, reservatórios e lagos (GALINKIN *et al.*, 2009).

A cadeia produtiva animal origina grandes quantidades de resíduos com elevado potencial de emissão de gases de efeito estufa. Estes resíduos causam impactos oriundos da deposição dos dejetos em locais inapropriados (AIRES, 2009). De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2013), as atividades agropecuárias emitem 20% dos gases do efeito estufa. O metano (gás produzido através da degradação da matéria orgânica em meio anaeróbio) e o óxido nitroso (produzido em meios anaeróbios através de compostos nitrogenados de natureza orgânica ou inorgânica) são os principais gases envolvidos no aumento do efeito estufa (AIRES *et al.*, 2013).

Vale frisar que a biomassa residual capaz de ser convertida em biogás para geração de energia elétrica, representa uma ampla gama de oportunidades econômicas, no ramo da agricultura sustentável. Segundo o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA, 2006), existem diversos fatores que justificam investimentos visando o aproveitamento da biomassa para a geração de energia no Brasil, estando entre eles:

a. O reconhecimento da comunidade internacional sobre a importância da agroenergia na transição da matriz energética atual, baseada no uso de petróleo, para outra cujas fontes

sejam compatíveis com exigências fundamentadas em problemas ambientais, dadas a crescente preocupação da sociedade com as mudanças climáticas globais;

b. Aumento da demanda por energia, especialmente nos países em desenvolvimento;

c. Oscilação e crescimento dos preços de combustíveis fósseis devido ao esgotamento das reservas, além de disputas políticas. Pelo mesmo motivo, os fluxos de abastecimento podem sofrer interrupção;

d. A energia passará a ser um componente importante no custo de produção de diversos segmentos da agroindústria, tornando progressivamente atraente a geração de energia dentro da propriedade;

e. Contribuir para a balança comercial, reduzindo as importações de petróleo e aumentando a exportação de biocombustível;

f. Indiscutível potencial que o Brasil tem para a geração de biomassa e, portanto, de agroenergia, o que tem motivado um crescente interesse de investidores internacionais para formalizar contratos de longo prazo para o fornecimento de biocombustíveis.

## **2.2. Pecuária e seus resíduos**

A pecuária é uma atividade pertencente ao setor primário da economia, constituindo uma das principais áreas em termo de produção de riqueza no país. Abastece o mercado interno e ocupa grande destaque nas exportações brasileiras (BOTELHO, 2008).

Embora esteja inserida também a produção de suínos, ovinos, equinos e bubalinos, a pecuária brasileira destaca-se principalmente, na criação de aves e bovinos. A pecuária bovina está dividida em dois tipos, a bovinocultura de corte e a bovinocultura de leite, podendo ser desenvolvidas de forma extensiva (animais criados soltos em grandes áreas, sem maiores cuidados e alimentando-se de pastagens) ou intensiva (animais manejados em pequenos espaços, com dieta à base de rações balanceadas específicas para engorda ou leite). A pecuária de corte consiste na criação de animais com o objetivo de fornecer carne, enquanto

que a pecuária de leite está ligada à produção de leite e seus derivados (SOUZA e MELZ, 2014).

Do ponto de vista ambiental, até pouco tempo, não se podia dizer que causasse problemas importantes de contaminação. Os resíduos gerados nas explorações pecuárias são utilizados tradicionalmente como adubo e complemento orgânico nas plantações, devido ao seu conteúdo em elementos minerais e matéria orgânica (ONUDI, 2016).

Contudo, nos últimos anos, em um espaço de tempo curto, passou-se das explorações tradicionais extensivas às intensivas, devido às exigências do mercado, isso é, ao grande consumo de produtos, o que implica uma massificação de animais e uma seleção genética muito intensa (ZANELLA, 2014). Este fato fez com que os resíduos gerados fossem também tão numerosos e especificamente localizados, que a capacidade de autodepuração do meio receptor não fosse suficiente para absorver esta produção. Isto produz a conseguinte repercussão e incidência no meio físico, o que leva à deterioração destes, impossibilitando sua utilização posterior e gerando um grave problema ecológico (PAULINO et al, 2013).

Neste sentido, a digestão anaeróbica oferece a possibilidade de solucionar, em grande escala, o problema ambiental e, ao mesmo tempo, produzir uma energia facilmente utilizável.

### **2.3 - Resíduos da bovinocultura**

A bovinocultura leiteira apresenta um total de 33% de energia eliminada através dos dejetos. Esses, quando não corretamente manejados, se tornam fonte poluidora do solo e dos recursos hídricos (BERTONCINI, 2008).

Portanto, o desenvolvimento de tecnologias para o tratamento e utilização dos dejetos como matriz energética é o grande desafio para as regiões com alta concentração de bovinos. 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 seja o processo mais viável para conversão dos dejetos dos bovinos em energia térmica ou elétrica. Isso porque esse tipo de digestão 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).

## **2.4 Digestão Anaeróbica**

A Digestão anaeróbica é o processo biológico de degradação da matéria orgânica, realizado por bactérias anaeróbicas, resultando na obtenção de dois produtos: um gás biológico rico em metano, conhecido como biogás e um fertilizante natural rico em nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas (ONUDI, 2016).

A implantação de biodigestores é uma alternativa vantajosa no que diz respeito ao aproveitamento de efluentes orgânicos para produção de biogás e biofertilizantes, pois além de reduzir a poluição ambiental, permite à agroindústria economia de energia e insumos (PAULINO et al, 2014). São inúmeras as vantagens da utilização de biodigestores como: baixo custo operacional e de implantação; simplicidade operacional, de manutenção e controle; adequada eficiência na remoção das diversas categorias de poluentes (matéria orgânica biodegradável, sólidos suspensos, nutrientes e patogênicos); pouco ou nenhum problema com a disposição do lodo gerado no sistema; baixos requisitos de área; possibilidade de aplicação em pequena escala (sistemas descentralizados) com pouca dependência da existência de grandes interceptores; fluxograma simplificado de tratamento; elevada vida útil; ausência de problemas que causem transtorno à população vizinha; possibilidade de recuperação de subprodutos úteis, como biofertilizante, visando sua aplicação na fertilização de culturas agrícolas; e o biogás, um gás combustível de elevado teor calorífico (PERCORA, 2006).

Atualmente, existem diversos modelos de biodigestores, sendo cada um adaptado a uma realidade e uma necessidade de biogás. Eles diferem, principalmente, nas tecnologias associadas para obtenção de melhores rendimentos e nas características que os tornam mais adequados ao tipo de resíduo que se pretende utilizar e à frequência com que são obtidos. Dependendo da forma como serão operados os biodigestores podem ser: batelada (batelada e expansão de cargas), contínuos para semissólidos (indiano, chinês e outros) ou contínuos para águas residuárias (fluxo ascendente com manto de lodo), dentre outros modelos (LUCAS JUNIOR e SANTOS, 2000).

O sucesso do processo de biodigestão anaeróbia está ligado à sequência bioquímica de transformações metabólicas e é influenciado por uma série de fatores que podem interferir no

processo. Dentre esses fatores destacam-se a temperatura, o tempo de retenção hidráulica, pH, presença de inóculo e de nutrientes, teor de sólidos, composição do substrato e a interação entre os microrganismos envolvidos no processo (SERRA, 2009).

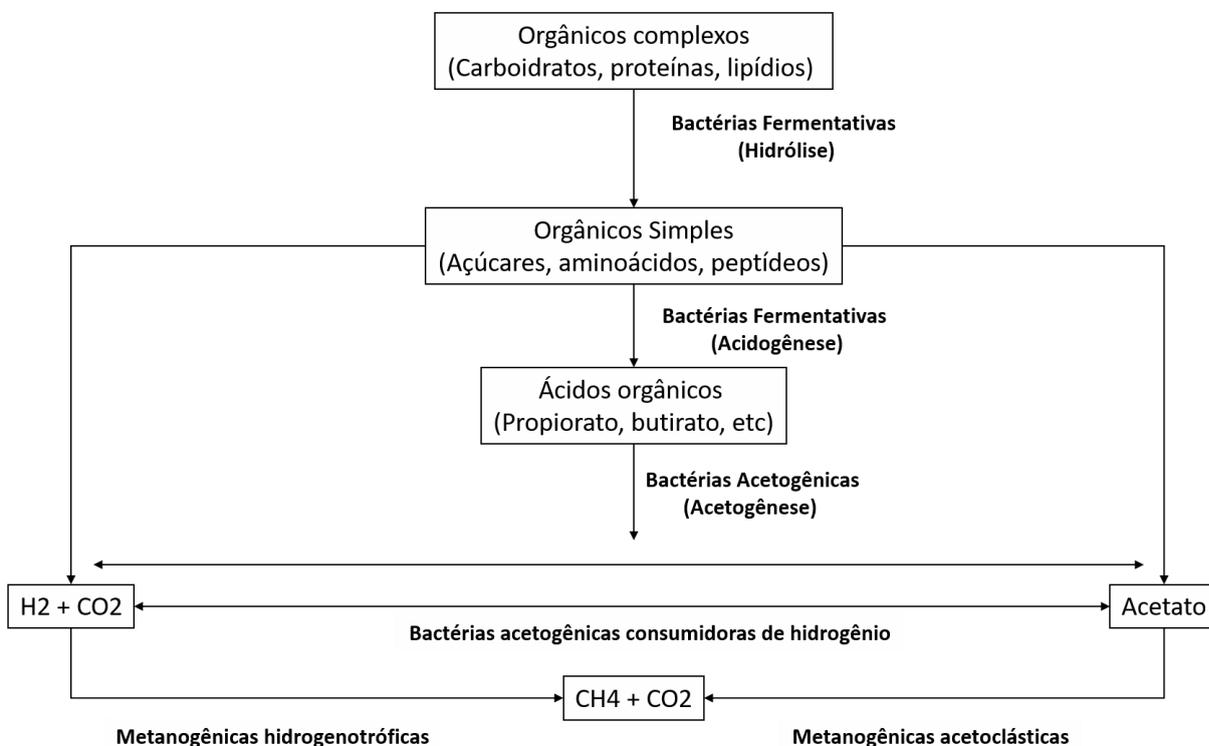
A disponibilidade de certos nutrientes é essencial para o crescimento e atividade microbiana. O carbono, o nitrogênio e o fósforo são essenciais para todos os processos biológicos. O carbono é a fonte de energia para o metabolismo das bactérias enquanto o nitrogênio é importante na construção da estrutura das células. As quantidades de nitrogênio e fósforo necessárias para a degradação da matéria orgânica presente depende da eficiência dos microrganismos em obter energia para a síntese em reações bioquímicas de oxidação do substrato orgânico. A relação C/N para a biodigestão deve ser de 20 a 30:1, sendo que tanto o excesso como a deficiência de um ou do outro, prejudicam a produção de biogás (FORESTI, 1999; SILVA, 2001).

Os benefícios trazidos com a biodigestão anaeróbia de dejetos ganham destaque a partir do momento que o funcionamento do sistema não demanda consumo de energia elétrica, ao contrário há a produção de metano, um gás de elevado teor calorífico, também exige baixa demanda de área, reduzindo custos de implantação e com ela existe a possibilidade de preservação das bactérias anaeróbias sem que haja a necessidade de abastecimento do reator, ou seja, a colônia de bactérias entra em um estágio de endogenia, sendo reativada a partir de novos abastecimentos (AUGUSTO, 2007).

A digestão anaeróbia, ou fermentação metanogênica, é produzida por grupos de bactérias fermentativas hidrolíticas, bactérias fermentativas acidogênicas, bactérias acetogênicas e pelas Archaeas metanogênicas, as quais são as responsáveis pela produção de metano (BARRETO e CAMPOS, 2009). O combustível gerado pela digestão, o biogás, tem elevado poder calorífico e, é composto por 60 a 80 % de metano ( $\text{CH}_4$ ), 20 a 40 % de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), 0,5 a 3,0 % de nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), 1 a 3 % de hidrogênio ( $\text{H}_2$ ) e 1 a 5 % de gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) (FERNANDES 2012; SGANZERLA 1983). Por ser altamente rico em metano, o biogás pode ser utilizado para diversos fins, como aquecimento em fogões, campânulas, estufas, aquecedores, funcionamento de motores, geladeiras e outros aparelhos (SGANZERLA, 1983; SUZUKI, 2012).

## **2.5 Etapas do processo de digestão anaeróbia**

De acordo com Carreas (2013), os estudos bioquímicos e microbiológicos realizados até agora dividem o processo de decomposição anaeróbica em quatro fases ou etapas, e estão descritos resumidamente abaixo.



Fonte: SlidShare.net, 2018

**Figura 1:** Etapas do processo de digestão anaeróbica.

### 2.5.1. Fase de Hidrólise

É a primeira etapa do processo de digestão anaeróbica, é nessa fase que as enzimas produzidas por microorganismos hidrolíticos conseguem hidrolisar as macromoléculas da matéria orgânica, transformando a proteína, a gordura e os hidratos de carbono, em respectivamente, aminoácidos, ácidos graxos e monossacarídeos.

### 2.5.2. Fase Acidogênica

É a segunda etapa do processo, fase que ocorre a fermentação das moléculas orgânicas solúveis em compostos que podem ser usados diretamente pelas bactérias metanogênicas e compostos orgânicos menores que podem ser oxidados por bactérias acetogênicas. Além da formação de ácidos, também ocorre formação de álcoois no processo.

### **2.5.3. Fase Acetogênica**

É nesta terceira fase, que os ácidos produzidos na etapa anterior são transformados em dióxido de carbono, hidrogênio e ácido acético pelas bactérias acetogênicas

### **2.5.4. Fase Metanogênica**

É a etapa final do processo, onde os compostos produzidos na etapa anterior são transformados em metano e gás carbônico pelas bactérias metanogênicas. As bactérias responsáveis por este processo também são encontradas na natureza, principalmente no rúmen de ruminantes.

Deve-se considerar que alguma destas quatro etapas pode ser a etapa limitante com relação à velocidade global da reação. A etapa de hidrólise pode ser a etapa limitante do processo global quando se trata de substratos complexos, como é o caso de alguns resíduos agrícolas e biomassa residual, que apresentam grande quantidade de sólidos (LEMA e MÉNDEZ, 1997). Contudo, pode-se considerar que a etapa mais lenta do processo é a metanogênese.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

Este estudo foi direcionado para o Estado de Alagoas, localizado na região Nordeste do Brasil e formado por 102 municípios, distribuídos em três mesorregiões (Leste, Agreste e Sertão). A população é estimada em aproximadamente 3 milhões de pessoas, em uma extensão territorial de 27.848 Km<sup>2</sup>. Ocupa o quarto lugar em densidade demográfica no país e é o primeiro da região Nordeste, possuindo 112,33 hab/Km<sup>2</sup>.

Em termos de produção leiteira, Alagoas possui uma produtividade média de 1.759 litros/vaca/ano, superior à quatro regiões brasileiras, Norte (900), Nordeste (1.076), Centro Oeste (1.294) e o próprio Sudeste (1.693).

A região da Bacia Leiteira abrange uma área de 2.782,9 Km<sup>2</sup> e é formada por 11 municípios, são eles: Batalha, Belo Monte, Cacimbinhas, Jacaré dos Homens, Jaramataia, Major Izidoro, Minador do Negrão, Monteirópolis, Olho D'Água das Flores, Palestina e Pão de Açúcar. A região da Bacia Leiteira, com exceção da Palestina, junto com os municípios de Dois Riachos, Estrela de Alagoas, Igaci, Olivença, Palmeira dos Índios, Santana do Ipanema e São José da Tapera formam a região do Pólo Leiteiro. Toda essa estrutura de cadeia produtiva, mostra o potencial alagoano na produção de esterco e conseqüente, oportunidade de negócio no setor energético sustentável.

#### **3.1 Fontes de dados utilizados**

Os dados oficiais referentes à bovinocultura brasileira, com ênfase na produção alagoana foi obtido principalmente a partir da literatura dos anos de 2015 e 2016. A principal fonte de dados utilizada foi a Pesquisa da Pecuária Municipal (2016), realizada anualmente pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Também foram consultadas, outras instituições federais como a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA Gado de Corte e órgãos estaduais como a Secretaria de Planejamento, Gestão e Patrimônio de Alagoas – SEPLAG, através do seu Núcleo de Estudos e Projetos e a Superintendência de Produção da Informação e do Conhecimento – SINC, através de sua gerência de estatísticas e indicadores. Ainda foram consultadas instituições representativas do setor, como a Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne – ABIEC, dentre outras.

### 3.2 Caracterização do esterco bovino

Os dados referentes à quantificação e composição química do esterco bovino foi realizada por meio de pesquisa bibliográfica. Levando em consideração que a composição dos estercos é variável, sendo influenciada por fatores como espécie, raça, idade, alimentação, material utilizado como cama, tratamento dado ao esterco, entre outros.

Os cálculos utilizados para cada variável neste estudo, foram feitas utilizando a metodologia descrita por SANTOS e NOGUEIRA, (2012). No entanto, no cálculo de estimativa de produção de energia elétrica foi acrescentado o fator de conversão de dia para segundos.

As equações utilizadas para os cálculos da estimativa de produção de esterco, da disponibilidade dos macronutrientes, do valor energético de substituição do esterco, da produção e valor energético do biogás, foram elaboradas a partir dos dados constantes na tabela abaixo.

**Tabela 1.** Produção diária de esterco (fezes + urina), por animais de raças leiteiras com 87,3% de umidade, 933,0 Kg/m<sup>3</sup> de densidade e conteúdo em nutrientes.

Peso animal (Kg)	Produção total de esterco (m <sup>3</sup> /dia)	Conteúdo em nutrientes (g/dia)		
		(N)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
68	0,005	27,2	10,4	21,8
113	0,009	45,4	20,8	38,2
227	0,019	90,7	37,4	76,5
454	0,037	186,0	75,9	147,5
635	0,052	258,5	106,0	207,6

Fonte: (Campos, 1997).

### 3.3 Estimativa de produção de esterco

Pela impossibilidade de quantificar as diversas categorias animais de todo o rebanho bovino alagoano, para a determinação da quantidade diária do esterco foi feita a média ponderada de produção de esterco por kg de peso vivo (PV) dos animais. No presente estudo, o peso médio dos bovinos foi considerado em 300 kg de peso vivo (PV). Para a estimativa da produção diária de esterco, foi utilizada a equação abaixo:

$$Pest = PV*VM \quad [1]$$

**Onde:**

**Pest** = Produção diária de esterco (kg/dia);

**PV** = Peso vivo do animal (kg);

**VM** = Valor médio de produção de esterco (0,07 kg).

### **3.4 Estimativa de disponibilidade diária de macronutrientes**

A disponibilidade diária de macronutrientes Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) presentes no esterco bovino foi calculada de acordo com as Equações 2, 3 e 4, abaixo.

$$DN = PE*PN \quad [2]$$

Onde:

**DN** = Disponibilidade de nitrogênio presente no esterco bovino (kg/dia);

**PE** = Produção de esterco (kg/dia);

**PN** = Percentual de nitrogênio presente no esterco bovino (0,53%);

$$DP = PE*PP \quad [3]$$

Onde:

**DP** = Disponibilidade de fósforo presente no esterco bovino (kg/dia);

**PE** = Produção de esterco (kg/dia);

*PP* = Percentual de fósforo presente no esterco bovino (0,21%);

$$DK = PE * PK \quad [4]$$

Onde:

*DK* = Disponibilidade de potássio presente no esterco bovino (kg/dia);

*PE* = Produção de esterco (kg/dia);

*PK* = Percentual de potássio presente no esterco bovino (0,43%);

### 3.5 Estimativa do valor energético de substituição do esterco

O valor energético de substituição do esterco foi calculado considerando a disponibilidade diária de macronutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio), presentes no esterco bovino e os coeficientes energéticos associados à produção de fertilizantes químicos.

A Tabela 2 apresenta os valores mínimos, médios e máximos dos coeficientes energéticos utilizados nos diversos estudos de análises energéticas. Para o cálculo do valor energético de substituição do esterco foram utilizados os valores médios dos coeficientes energéticos para a produção de fertilizantes químicos.

**Tabela 2.** Coeficientes energéticos (CE) médios utilizados na produção de fertilizantes químicos.

<b>Fertilizantes</b>	<b>CE mínimo</b>	<b>CE médio (MJ/kg)</b>	<b>CE máximo</b>
Nitrogênio (N)	48,9	62,58	73,0
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	7,5	12,33	17,4
Potássio (K <sub>2</sub> O)	4,6	9,18	13,6

Fonte: Adaptado de SANTOS e NOGUEIRA, 2012.

O valor energético de substituição do esterco será calculado de acordo com a Equação 5 abaixo.

$$\mathbf{VEEst} (T) = DN* (\mathbf{CEMN})^*a + DP* (\mathbf{CEMP})^*a + \mathbf{DK} * (\mathbf{CEMK})^*a [5]$$

Onde:

$\mathbf{VEEst} (T)$  = Valor energético total estimado do esterco (MJ/ano);

$DN$  = Disponibilidade de nitrogênio presente no esterco bovino (kg/dia);

$CEMN$  = Coeficiente energético médio utilizado na produção de nitrogênio químico (MJ/kg);

$DP$  = Disponibilidade de fósforo presente no esterco bovino (kg/dia);

$CEMP$  = Coeficiente energético médio utilizado na produção de fósforo químico (MJ/kg);

$DK$  = Disponibilidade de potássio presente no esterco bovino (kg/dia);

$CEMK$  = Coeficiente energético médio utilizado na produção de potássio químico (MJ/kg);

$a$  = número de dias no ano (365).

### **3.6 Estimativa de disponibilidade anual de macronutrientes**

A disponibilidade anual de macronutrientes (N, P, K) presentes no esterco bovino foi calculada de acordo com as Equações 6, 7 e 8, abaixo. A disponibilidade média diária dos macronutrientes N, P, K, foi estimada em 0,11, 0,04, 0,09 respectivamente. O quantitativo do rebanho bovino leiteiro em Alagoas foi estimado em 192.181 cabeças, de acordo com as últimas pesquisas divulgadas pelo IBGE (2016).

$$DAN = DMN*n*a \quad [6]$$

Onde:

**DAN** = Disponibilidade anual de nitrogênio presente no esterco bovino (kg/ano);

**DMN** = Disponibilidade média diária de nitrogênio presente no esterco bovino;

*n* = quantitativo de gado bovino leiteiro em Alagoas;

*a* = número de dias no ano (365).

$$DAP = DMP * n * a \quad [7]$$

Onde:

**DAP** = Disponibilidade anual de fósforo presente no esterco bovino (kg/ano);

**DMP** = Disponibilidade média diária de fósforo presente no esterco bovino;

*n* = quantitativo de gado bovino leiteiro em Alagoas;

*a* = número de dias no ano (365).

$$DAK = DMK * n * a \quad [8]$$

Onde:

**DAK** = Disponibilidade de potássio presente no esterco bovino (kg/ano);

**DMK** = Disponibilidade média diária de potássio presente no esterco bovino;

*n* = quantitativo de gado bovino leiteiro em Alagoas;

*a* = número de dias no ano (365).

### 3.7 Estimativa de produção de biogás

A Tabela 3, a seguir, apresenta alguns valores de produtividade de biogás.

**Tabela 3.** Produtividade do biogás.

<b>Material</b>	<b>Produtividade (m<sup>3</sup>/Kg)</b>
Esterco bovino, fresco	0,04
Esterco de galinha, seco	0,43
Esterco suíno, seco	0,35
Resíduos vegetais, secos	0,3
Resíduos de matadouro, úmido	0,07
Lixo	0,05

Fonte: (Adaptado de Nogueira, 1997).

### 3.8 Produção diária de biogás

A produção de biogás foi calculada pela seguinte fórmula:

$$P_{\text{biogás}} = \text{produtbiogás} * PE$$

Onde:

$P_{\text{biogás}}$  = Produção diária de biogás (m<sup>3</sup>/dia);

Produtbiogás = Produtividade diária do biogás (m<sup>3</sup>/Kg);

PE = Produção diária de esterco (kg/dia).

### 3.9 Valor energético do biogás proveniente da biodigestão de dejetos de bovinos

O conteúdo energético do biogás a partir do esterco bovino foi estimado tendo como parâmetros os valores do poder calorífico inferior (PCI), que para este estudo foi considerado em 16.235 kJ/kg e a produção diária de biogás. O cálculo do conteúdo energético do biogás foi feito segundo a Equação 9.

$$V_{\text{eest}} = \text{PCI} * P_{\text{biogás}} \quad [9]$$

Onde:

$V_{\text{eest}}$  = Valor energético estimado do biogás (kJ/kg);

**PCI** = Poder calorífico inferior do biogás proveniente do esterco bovino (kJ/kg);

**Pbiogás** = Produção diária de biogás (kg/dia).

### **3.10 Estimativa de produção de energia elétrica**

A energia elétrica gerada através do biogás foi determinada utilizando a uma adaptação da metodologia proposta pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, CETESB (2002), conforme Equação 10, que considera um rendimento de 30% para o grupo gerador.

$$\mathbf{Eelétrica = (Pbiogás * \eta_{gerador} * PCI_{Biogás}) / 86400 \quad [10]}$$

Onde:

*E*elétrica = Energia elétrica gerada através do biogás em biodigestores;

*P*biogás = Produção diária de biogás (m<sup>3</sup>/dia);

$\eta$ gerador = Rendimento elétrico da tecnologia de conversão (30%)

PCI<sub>Biogás</sub> = Poder calorífico inferior do biogás (22.320 KJ/m<sup>3</sup>)

86400 = Fator de conversão de dia para segundos

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Perfil da Bovinocultura Brasileira com ênfase na produção alagoana

O potencial alagoano no que diz respeito à bovinocultura foi de 4,44% em relação a região nordeste e 0,58% em relação ao Brasil (Tabela 4). Estes 4,44% representam um contingente de mais 1,26 milhões de cabeças de bovinos, sendo válido observar que, os bovinos inseridos na região da Zona da Mata Alagoana são designados à cadeia produtiva de corte, enquanto os bovinos existentes no semiárido são especializados e destinados à cadeia produtiva do leite.

Esses resultados mostram o potencial do semiárido alagoano para produzir metano e bioenergia pois a criação na bovinocultura leiteira mantém os animais confinados boa parte do tempo, centralizando o acúmulo do esterco no curral, o que nos leva a apresentar uma proposta direcionada para esta atividade, que representa 15,2% do rebanho alagoano (IBGE 2016). Isso facilita a operacionalização do trabalho de campo, reduzindo a mão de obra, os custos e o tempo de operação no processo de produção de biogás e energia.

**Tabela 4** - Efetivo do rebanho de bovinos em 31 de dezembro de 2016.  
Comparativo entre as grandes regiões e o Estado de Alagoas

<b>Grandes regiões brasileiras</b>	<b>Efetivo de rebanho bovino (número de cabeças)</b>
ALAGOAS	1.264.053
NORDESTE	28.467.739
NORTE	47.983.190
SUDESTE	39.123.700
CENTRO-OESTE	75.072.762
SUL	27.577.786
<i>BRASIL</i>	<i>218.225.177</i>

Fonte: Adaptado de IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária, Pesquisa da Pecuária Municipal, 2016.

### 4.2 Perfil da bovinocultura leiteira brasileira com ênfase na produção alagoana

Atualmente, existem 5.570 municípios em todo território nacional, sendo difícil encontrar um município brasileiro que não possua rebanho leiteiro, por menor que seja sua

produção. A diferença entre os municípios é justamente a questão da produtividade, dada em litros/vaca/ano. As regiões Sul (2.966 litros/vaca/ano), Sudeste (1.693 litros/vaca/ano) e Centro-Oeste (1.294 litros/vaca/ano) são as detentoras dos maiores índices de produtividade, em contrapartida as regiões Nordeste (1076 litros/vaca/ano) e Norte (900 litros/vaca/ano) possuem os menores índices (Tabela 5).

**Tabela 5** - Produção de leite no período de 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2016. Comparativo entre as Grandes Regiões e o Estado de Alagoas

<b>Grandes regiões/ Estado de Alagoas</b>	<b>Vacas ordenhadas (cabeças)</b>	<b>Quantidade (1000 litros)</b>	<b>Produtividade (litros/vaca/ano)</b>	<b>Vacas ordenhadas/Efetivo de bovino (%)</b>
ALAGOAS	192.181	337.974	1.759	15,2
NORDESTE	3.505.866	3.772.384	1.076	12,3
NORTE	2.084.186	1.876.004	900	4,3
SUDESTE	6.819.765	11.546.087	1.693	17,4
CENTRO OESTE	3.068.734	3.972.434	1.294	4,1
SUL	4.200.266	12.457.744	2.966	15,2
BRASIL	19.678.817	33.624.653	1.709	9,0

**Fonte:** Adaptado de IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária, Pesquisa da Pecuária Municipal, 2016.

Pode-se observar que o Estado de Alagoas possui um efetivo de vacas ordenhadas de 15,2%, bem superior à média nacional, que é de apenas 9,0% e até de regiões como o Centro Oeste, Norte, o próprio Nordeste, e chegando até a se igualar com a região Sul, com valores de 4,1%, 4,3%, 12,3% e 15,2% respectivamente, ficando atrás apenas da região Sudeste com 17,4% de suas vacas ordenhadas. Isto mostra o grande potencial da bacia leiteira alagoana e indica que o Estado é propício ao desenvolvimento desta cadeia, principalmente para a implantação de tecnologias voltadas para o aproveitamento energético dos resíduos desta atividade.

#### **4.3 Estimativa da produção diária de esterco**

Considerando que o Estado de Alagoas tem oficialmente um quantitativo de 192.181 cabeças de vacas ordenhadas, e que cada animal produz em média 21 Kg de esterco, então

temos um potencial de produção de mais de 4 mil toneladas de esterco bovino leiteiro diariamente.

**Tabela 6** – Estimativa de produção diária de esterco bovino leiteiro em Alagoas

<b>PV (Kg)</b>	<b>VM (Kg/Kg)</b>	<b>Pest (Kg/dia)</b>	<b>QA (cabeças)</b>	<b>PE (Kg/dia)</b>
300	0,07	21	192.181	4.035.801

PV: Peso vivo do animal, VM: Valor médio de produção de esterco, Pest: Produção diária de esterco, QA: Quantidade de animais, PE: Produção de esterco

#### 4.4 Estimativa de disponibilidade diária de macronutrientes

Observa-se que o esterco bovino leiteiro é bastante rico em macronutrientes, principalmente em concentrações de nitrogênio e potássio (Tabela 7). Esse fato mostra seu potencial na utilização no sistema de produção agrícola do Estado, utilizando-os na adubação orgânica das culturas, diminuindo os custos de produção, respeitando o meio ambiente e produzindo alimentos saudáveis.

**Tabela 7** - Estimativa de disponibilidade diária de NPK no esterco bovino leiteiro de Alagoas

<b>PE (Kg/dia)</b>	<b>PN (%)</b>	<b>DN (Kg/dia)</b>	<b>PP (%)</b>	<b>DP (Kg/dia)</b>	<b>PK (%)</b>	<b>DK (Kg/dia)</b>
4.035.801	0,53	21.389,75	0,21	8.475,18	0,43	17.353,94

PE: Produção de esterco, PN: Percentual de nitrogênio presente no esterco bovino, DN: Disponibilidade de nitrogênio presente no esterco bovino PP: Percentual de fósforo presente no esterco bovino, DP: Disponibilidade de fósforo presente no esterco bovino PK: Percentual de potássio presente no esterco bovino, DK: Disponibilidade de potássio presente no esterco bovino.

#### 4.5 Estimativa do valor energético de substituição do esterco

A tabela 8 mostra o potencial que o esterco bovino leiteiro alagoano tem para substituir o uso dos macronutrientes minerais, reduzindo assim, uma enorme utilização de energia fóssil.

**Tabela 8** – Estimativa de valor energético de substituição do esterco bovino leiteiro em Alagoas

a	DN	CEMN	DP	CEMP	DK	CEMK	VEEst
(dias)	(Kg/dia)	(MJ/Kg)	(Kg/dia)	(MJ/Kg)	(Kg/dia)	(MJ/Kg)	(MJ/ano)
365	21.389,75	6,58	8.475,18	12,33	17.353,94	9,18	612.865.106,15

a: Número de dias no ano, DN: Disponibilidade de nitrogênio presente no esterco bovino, CEMN: Coeficiente energético médio utilizado na produção de nitrogênio químico, DP: Disponibilidade de fósforo presente no esterco bovino, CEMP: Coeficiente energético médio utilizado na produção de fósforo químico, DK: Disponibilidade de potássio presente no esterco bovino, CEMK: Coeficiente energético médio utilizado na produção de potássio químico, VEEst: Valor energético total estimado de esterco.

**Tabela 9** – Economia de energia fóssil pela substituição dos macronutrientes minerais pelo esterco bovino *in natura*.

Fertilizantes	Valor médio industrial	Produção macronutrientes (Kg/ano)	CE médio	Economia de energia fóssil (MJ/ano)
Nitrogênio (N)	0,11	$7,72 \cdot 10^6$	62,58	$4,89 \cdot 10^8$
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,04	$2,81 \cdot 10^6$	12,33	$3,81 \cdot 10^7$
Potássio (K <sub>2</sub> O)	0,09	$6,31 \cdot 10^6$	9,18	$5,81 \cdot 10^7$
<b>Total</b>				<b><math>5,85 \cdot 10^8</math></b>

#### 4.6 Estimativa de disponibilidade anual de macronutrientes

Segundo o Manual de Recomendação de Adubação para o Estado de Pernambuco (IPA, 2008), considerando um solo de baixa fertilidade, a cana-de-açúcar necessita de 40 Kg, 120 Kg e 80 Kg de Nitrogênio, fósforo e potássio por hectare, respectivamente. Com o N, P e K gerado, seria suficiente para implantar uma área de  $1,93 \cdot 10^5$ ,  $1,40 \cdot 10^5$  e  $7,89 \cdot 10^4$  hectares por ano.

Ao analisar os dados acima, verifica-se que o Estado de Alagoas dispõe anualmente de um quantitativo considerável de macronutrientes que podem ser obtidos do biofertilizante resultante da biodigestão do esterco bovino, mostrando que sua utilização no sistema

produtivo das culturas irá baratear os custos de produção, aumentando assim os lucros dos produtores rurais que o utilizarem.

**Tabela 10** – Estimativa de disponibilidade anual de macronutrientes originados do esterco de 192.181 cabeças bovino leiteiro alagoano.

	<b>Diário (Kg/dia)</b>	<b>Anual (Kg/ano)</b>
Disponibilidade média de nitrogênio	21.389,75	7,72.10 <sup>6</sup>
Disponibilidade média de fósforo	8.475,18	2,81.10 <sup>6</sup>
Disponibilidade média de potássio	17.353,94	6,31.10 <sup>6</sup>

#### 4.7 Produção diária de biogás

**Tabela 11** – Estimativa de produção diária de biogás

<b>PE (Kg/dia)</b>	<b>PRODUTbiogás (m<sup>3</sup>/Kg)</b>	<b>Pbiogás (m<sup>3</sup>/dia)</b>
4.035.801	0,04	161.432,04

PE: Produção diária de esterco, PRODUTbiogás: Produtividade do biogás, Pbiogás: Produção diária de biogás.

Os dados mostrados na Tabela 7, mostram um potencial teórico de produção de mais de 161 mil m<sup>3</sup>/dia de biogás.

#### 4.8 Valor energético do biogás proveniente da biodigestão de dejetos de bovinos

**Tabela 12** – Estimativa do valor energético do biogás proveniente da biodigestão do esterco bovino leiteiro

<b>Pbiogás (m<sup>3</sup>/dia)</b>	<b>PCI (KJ/Kg)</b>	<b>Veest (KJ/Kg)</b>
161.432,04	16.235	2.620.849.169,40

Pbiogás: Produção diária de biogás, PCI: Poder calorífico inferior do biogás proveniente do esterco bovino, Veest: Valor energético estimado de biogás.

#### 4.9 Produção de energia elétrica

Abaixo, tem-se a capacidade instalada de geração de energia elétrica por meio da queima do biogás em equipamentos de geração de energia.

**Tabela 13** – Estimativa de produção de energia elétrica

<b>Biogás disponível (m<sup>3</sup>/dia)</b>	<b>Capacidade instalada (MW)</b>	<b>Geração (KWh/dia)</b>
161.432,04	12,51	230.847,82

Segundo Ferraz & Mariel (1980) e Sganzerla (1983), cada m<sup>3</sup> de biogás equivale a aproximadamente 1,43 KWh de eletricidade. Neste sentido, conclui-se que a se transformar em biogás todo o esterco gerado pela bovinocultura leiteira alagoana e a converter em energia elétrica, será disponibilizado mais de 230 mil KWh de energia diariamente.

#### 4.10. Possíveis usos do biogás e da energia gerada

O biogás possui potencial para substituir as principais fontes de combustível utilizadas no Brasil, e particularmente, no Estado de Alagoas. A produção mensal de 4.842.961,20 m<sup>3</sup> de biogás advinda da biodigestão anaeróbia de todo o esterco bovino leiteiro alagoano, seria equivalente à disponibilidade mensal de quase três milhões de litros de gasolina, ou mais de 2 milhões e meio de litros de óleo diesel, ou mais de 2 milhões de litros de óleo diesel, ou ainda mais de 2 milhões de Kg de gás de cozinha, o que gera uma disponibilidade mensal de mais de 167 mil botijões de 13 Kg; ou a mais de três milhões e oitocentos mil litros de etanol; quase dezessete milhões Kg de lenha, ou a pouco mais de três milhões e meio Kg de carvão mineral ou finalmente, a quase sete milhões de KWh de energia elétrica todos os meses.

**Tabela 14** – Equivalências da estimativa da produção de biogás no estado de Alagoas em substituição a outros combustíveis e à economia gerada.

Combustível	Equivalência	Substituição mensal	Valor Unit (R\$)	Economia mensal (R\$)
Gasolina (L)	0,61	2.954.206	4,30	12.703.087,23
Óleo Diesel (L)	0,55	2.663.629	3,00	7.990.885,98
Gás de Cozinha (Kg)	0,45	2.179.333	6,00	13.075.995,24
Etanol (L)	0,8	3.874.369	3,00	11.623.106,88
Carvão Mineral (Kg)	0,74	3.583.791	2,00	7.167.582,57
Lenha (Kg)	3,5	16.950.364	-	-
Eletricidade (KWh)	1,43	6.925.435	0,70	4.847.804,16

Fonte: Adaptado de Ferraz & Mariel (1980) e Nogueira (1986).

**Tabela 15** – Substituição de energia residencial

Pbiogás (m <sup>3</sup> /dia)	Pbiogás (m <sup>3</sup> /mês)	Geração (KWh/mês)	Nº Residências atendidas/mês
161.432,04	4.842.961,2	6.925.434,52	43.284

Pbiogás: Produção diária ou mensal de biogás

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o consumo médio brasileiro de energia elétrica de uma residência é de 160 kWh/mês no ano de 2016 (EPE, 2016). Neste sentido, a energia elétrica gerada pelo uso do esterco bovino leiteiro alagoano daria para abastecer mensalmente 43.284 residências no Estado de Alagoas. O total de domicílios particulares ocupados em Alagoas é de 841.093, portanto, a energia gerada daria para suprir 5,1% desse total de domicílios (IBGE 2010),

Também poderá ser usada para acionar as próprias ordenhadeiras mecânicas das propriedades rurais e na iluminação das instalações que são utilizadas no processo produtivo. Além disso, a energia poderia ser utilizada nas residências próximas ao local de geração.

## 5. CONCLUSÃO

A utilização dos dejetos da bovinocultura, por si só, já se caracteriza como uma alternativa ambientalmente e socialmente viável, haja vista a necessidade de se dá uma destinação adequada a esses efluentes. O biogás gerado poderá ser utilizado em forma de energia térmica e ou elétrica durante o processo de produção pecuária e nas residências situadas próximas ao local de geração. O biofertilizante poderá ser utilizado na adubação orgânica das culturas, inclusive da própria pastagem e/ou produção de forragem para alimentação das vacas leiteiras, gerando uma redução nos custos de produção e um incremento na produção de matéria prima.

Também existe a possibilidade de se implantar uma cooperativa de produção de biogás formada pelos bovinocultores de leite do Estado, no intuito de fornecer este produto para empresas especializadas em transformá-lo em energia elétrica.

## REFERENCIAS

ABIEC. **Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne**. Perfil da Pecuária no Brasil – Relatório Anual 2016. Disponível em <http://abiec.siteoficial.ws/images/upload/sumario-pt-010217.pdf>.

AIRES, A. M. A. **Biodigestão anaeróbia da cama de aviários de corte com ou sem separação das frações sólida e líquida**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Fac. de C. A. e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 134 p. 2009.

AIRES, A.M.; LUCAR JÚNIOR, J. PRAES, M.F.M; NASCIMENTO, J.; CARDOSO, P. **Quantificação e caracterização de biogás gerado na biodigestão anaeróbia de cama de frangos de corte com ou sem separação de frações sólida e líquida**. III Symposium on Agricultural and Agroindustrial Waste Management. São Pedro, Brasil. 2013.

AUGUSTO, K.V.Z. **Caracterização quantitativa e qualitativa dos resíduos em sistemas de produção de ovos: compostagem e biodigestão anaeróbia**. Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Zootecnia. Jaboticabal, 2007. 131p.

BACCHI, M. R. P. **Brasil – gerando energia de biomassa, limpa e renovável**. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. São Paulo, 6 p. 2006.

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

BERTONCINI, E. I. Tratamento de Efluentes e Reuso da Água no Meio Agrícola. Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária, São Paulo, p.152-169, jun. 2008.

BISCARO, A.F.V., FLORENTINO, H.O. **Modelagem matemática para determinação da eficiência da redução de ST e SV na biodigestão anaeróbia**. Energia na Agricultura, Botucatu, v. 23, n.3, p.1-15, 2008.

BOTELHO, Gilmara. **PIB Agropecuário Desacelera no Terceiro Trimestre do Ano**, Gazeta Mercantil/Caderno B - Pág. 11. Dez/2008

CARREAS, N. **O biogás**. Programa de Capacitação em Energias Renováveis. Observatório de Energias Renováveis para a América Latina e o Caribe, p. 25-28, 2013.

CAMPOS, C.M.M., MOCHIZUKI, E.T., DAMASCENO, L.H.S., BOTELHO, C.G.

**Avaliação do potencial de produção de Biogás e da eficiência de tratamento do reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) alimentado com dejetos de suínos**. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 29, n. 4, p. 848-856, 2005.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Emissões de metano no tratamento e na disposição de resíduos**. Ministério de ciência e tecnologia. São Paulo. 2002.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. **Biomassa Para Energia**. Campinas: UNICAMP, 2008.

FERNANDES, D.M.; SUZUKI, A.B.P.; VIEIRA, A.C.; ARAÚJO, I.R.C.; COSTANZI, R.N. **Biomassa como fonte alternativa de energia**. Revista da madeira. ed. 129. Novembro 2011.

Ferraz, J. M. G., Mariel, I. E..Biogás uma fonte Alternativa de Energia. Brasil, 27p., 1980. [3]  
Florentino, H. O., Mathematical tool to size rural digesters. Cienc. Agrícola, vol.60, n.1. ISSN 0103-9016, jan/mar, 2003.

GOMES R. C. et al. **Evolução e Qualidade da pecuária brasileira**. Embrapa Gado de corte, Campo grande. Março 2017.

FORESTI, E. *et al.* Fundamentos do tratamento anaeróbio. In: CAMPOS, J.R. (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro. ABES, 1999. Cap. 2, p. 29-52.

GALINKLIN, M.; BLEY JUNIOR, C.; LIBÂNIO, J.C.; OLIVEIRA, M.M. **Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas socioeconômicas e ambientais**. Foz do Iguaçu/ Brasília: Itaipu Binacional, Organização das Nações Unidas para Agricultura e alimentação. TechnoPolitik Editora, 2009. 140p.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Pecuária Municipal**. Vol 43. Rio de Janeiro: IBGE, 2016.

LEITE, V.D.; SOUZA, J.T.de; PRASAD, S.; LOPES, W.S.; ATHAYDE JÚNIOR, G.B.; DANTAS, A.M.M. **Tratamento de resíduos sólidos de centrais de abastecimentos e feiras livres em reator anaeróbio de batelada**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.7. n.2. p. 318-322. 2003.

LEUCENA, M.V., CHERNICHARO, C.A.L. **Avaliação experimental da compostagem de RSU submetidos a etapa prévia de tratamento anaeróbio**. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária. Anais. Campo Grande, Mato Grosso, p.09, 2005.

LUCAS JR., J. SANTOS, T.M.B. **Aproveitamento de resíduos da indústria avícola para produção de biogás**. Simpósio sobre Resíduos da Produção Avícola, Concórdia- SC, 2000.

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

MOREIRA, R.F, GIRARDI, L, AQUINO-SILVA, M.R, FIORINI, M.P 1,2. **E.A- A COMPOSTAGEM MANEIRA CORRETA DE TRATAMENTO DE RESIDUOS ORGANICOS**, IX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e V Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, 2005

ONUDI – Observatório de Energia Renováveis para a América Latina e o Caribe (O BIOGÁS), PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2016

PAULINO, P.V.R.; Duarte, M.S.; Oliveira, I.M. 2013. **Aspectos zootécnicos determinantes da qualidade de carne. In: simpósio brasileiro de produção de ruminantes, 2.** Itapetinga, Bahia, Anais... Itapetinga: UESB, p.8-37, 2013.

PECORA, V. **Implantação de uma Unidade Demonstrativa de Geração de Energia Elétrica a partir de Biogás de Tratamento de Esgoto Residencial da USP- Estudo de Caso.** Dissertação (Mestrado) - Programa Inter unidades de Pós-graduação em Energia. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PRADO, M.A.C, CAMPOS, C.M.M. **Produção de Biogás no tratamento dos efluentes Líquidos do processamento de *Coffea arábica L.* em reator anaeróbico UASB para potencial aproveitamento na secagem do café.** Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 32, n. 3, p. 938-947, 2008.

SANTOS, Izabel Aparecida dos; NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta. Estudo energético do esterco bovino: seu valor de substituição e impacto da biodigestão anaeróbia. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 4, n. 1, p. 41- 49, abr. 2012.

SERRA, M.P.R.M. **Biodigestão anaeróbia: uma alternativa para o reaproveitamento de resíduos agropecuários.** Relatório de estágio curricular profissionalizante para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo, Campus experimental de Registro, Universidade Estadual Paulista. Registro, 2009.

SOUZA, Rosangela Nunes da Silva de; MELZ, Laércio Juarez. **GESTÃO DE CUSTOS APLICADA À BOVINOCULTURA DE CORTE: O CASO DA FAZENDA PARAÍSO EM JUINA-MT**, Revista UNEMAT de Contabilidade UNEMAT - Volume 3, Número 5 Jan./Jun. 2014

SGANZERLA, E. **Biodigestor: Uma solução.** Porto Alegre. Agropecuária, 1983. 88p.

SILVA, E. P. **Fontes Renováveis de Energia: Geração de Energia Para Um Desenvolvimento Sustentável.** São Paulo: Campinas, 1996.

SILVA, M.S. **Biodigestão anaeróbia no saneamento rural**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 71p (Textos acadêmicos).

SUZUKI, A.B.P. **Geração de biogás utilizando cama de aviário e manipueira**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura para obtenção do título de Mestre em Energia na Agricultura, Campus Cascavel, Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, 2012.

VALLE, C.E. **Qualidade Ambiental ISO 14.000**. 5 ed. São Paulo: SENAC, 2004.

VIDAL, T.C.M. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Energia na Agricultura, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, para a obtenção do Título de Mestre em Energia na Agricultura. Cascavel, 2014. 45p.

Zanella, R. Bovinos da Raça Wagyu: uma raça ainda desconhecida no Brasil. Disponível em set. 2014.