



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



KAMILA ADERNE MARTINS

**Atividade metanogênica da fração orgânica de resíduos sólidos gerados em  
um restaurante universitário**

Rio Largo  
2017

KAMILA ADERNE MARTINS

**Atividade metanogênica da fração orgânica de resíduos sólidos gerados em  
um restaurante universitário**

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

Orientador (a): Prof. Dr. Eduardo Lucena  
Cavalcante de Amorim  
Coorientador (a): Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Karina Ribeiro  
Salomon

Rio Largo  
2017

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias**  
Bibliotecária Responsável: Myrtes Vieira do Nascimento

- M386c    Martins, Kamila Aderne  
          Atividade metanogênica da fração orgânica de resíduos sólidos gerados em um restaurante universitário / Kamila Aderne Martins. – 2017.  
          64 p. ; il.
- Dissertação (Mestrado em Energia da Biomassa) – Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2017.  
Orientação: Prof. Dr. Eduardo Lucena Cavalcante de Amorim  
Coorientação: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Karina Ribeiro Salomon
- Inclui bibliografia
1. Metano 2. Atividade Metanogênica Específica 3. Resíduos sólidos I. Título

CDU: 579

## Folha de aprovação

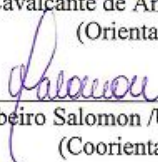
KAMILA ADERNE MARTINS

Atividade metanogênica da fração orgânica de resíduos sólidos gerados em um restaurante  
universitário

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

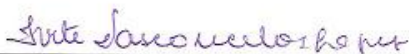


Prof. Dr. Eduardo Lucena Cavalcante de Amorim/Universidade Federal de Alagoas  
(Orientador)



Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Karina Ribeiro Salomon /Universidade Federal de Alagoas  
(Coorientadora)

### Banca Examinadora:



Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira / Universidade Federal de Alagoas  
(Examinador 1)



Prof. Dr. Elton Lima Santos / Universidade Federal de Alagoas  
(Examinador 2)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por me dar forças para seguir em frente, mesmo em meio a inúmeras dificuldades.

Aos meus pais, Francisco e Karla, pelo apoio e por proporcionarem a estrutura necessária para realização de mais uma etapa em minha vida.

As colegas de equipe, Isabela Menezes e Jéssica Frias, por me ajudaram a superar as dificuldades encontradas na execução deste trabalho.

Ao meu orientador, Eduardo Lucena, e a minha coorientadora, Karina Salomon, pela disposição e atenção fornecidas durante o projeto.

Aos funcionários do RU, Milena, Amanda, sr. Luis, sr. André e sr. Henrique, pelas informações fornecidas e ajuda para a pesagem das amostras.

Ao meu namorado, Rafael Araújo, pelo carinho e paciência sem os quais não teria conseguido chegar até aqui.

As minhas colegas de trabalho Magdally Costa, Ísis Lins, Laís Acioli, Domênica Didier e Elaine Melo, pela compreensão, apoio e incentivo fornecidos durante o projeto.

Ao pessoal do laboratório, Ronaldson, pela ajuda com a manutenção do experimento, Nadjane, Williane, Gabryel e Stephane, pela ajuda na realização das análises laboratoriais.

Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram e torceram pela realização deste projeto: o meu muito obrigado!

## RESUMO

A geração de resíduos sólidos é um dos grandes problemas enfrentados pela população mundial pois constituem fonte de poluição ambiental, afetando também a saúde pública. O crescimento populacional aliado ao desenvolvimento da indústria de tecnologia faz com que haja uma demanda crescente de energia e, conseqüentemente, uma exploração contínua dos recursos naturais. Neste contexto, a utilização de fontes alternativas e renováveis de energia que utilizam a fração orgânica presente nos resíduos sólidos, como a digestão anaeróbia, torna-se cada vez mais necessária. O presente trabalho objetivou identificar o potencial de geração de metano a partir da digestão anaeróbia da fração orgânica dos resíduos sólidos gerados no Restaurante Universitário da Universidade Federal de Alagoas, *Campus A.C. Simões*, através do teste da Atividade Metanogênica Específica (AME). Os ensaios foram realizados em duplicata e em batelada sob condições mesofílicas utilizando lodo anaeróbio e dejetos suínos como inóculos em diferentes proporções: 10% e 20%. Os reatores foram identificados como: Lodo 10, Lodo 20, Suíno 10 e Suíno 20. A quantificação do metano gerado foi feita através de cromatografia gasosa, sendo as leituras realizadas, em média, 3 vezes por semana. Os dados obtidos para a produção acumulada de metano foram ajustados ao modelo de Boltzmann, no qual foi possível identificar a taxa máxima de variação de produção de metano, bem como o tempo em que essa taxa foi atingida. A atividade metanogênica específica foi determinada utilizando a taxa máxima e o teor de sólidos suspensos voláteis de cada inóculo. A produção acumulada de metano ficou entre 146 e 299 L e a AME entre 1,12 e 3,65 L CH<sub>4</sub>/gSSV.d. De forma geral, os melhores resultados foram obtidos para os reatores operados com 10% de inóculo e 90% de pasta de resíduos orgânicos.

**Palavras-chave:** Metano, Atividade Metanogênica Específica, Resíduos sólidos, Restaurante Universitário.

## ABSTRACT

The generation of solid waste (SW) is one of the major problems faced by the world's populations because they constitute a source of environmental pollution, affecting public health too. The population growth coupled with the development of the technology industry makes that there is a growing demand for energy and consequently a continuous exploitation of natural resources. In this context, the use of alternative and renewable energy sources which use the organic fraction present in the solid residues, such as anaerobic digestion, it is becoming increasingly necessary. The objective of this work was to identify the methane generation potential from the anaerobic digestion of the organic fraction of the solid waste generated in the University Restaurant of the Federal University of Alagoas, A.C. Simões Campus, through the Specific Methanogenic Activity (AME) test. The tests were performed in duplicate in batch under mesophilic conditions using anaerobic sludge and swine manure as inocula in different proportions: 10% and 20%. The reactors were identified as: Sludge 10, Sludge 20, Swine 10 and Swine 20. The quantification of the generated methane was made through gas chromatography, and the readings were performed, on average, 3 times a week. The data obtained for the accumulated methane production were adjusted to the Boltzmann, in which it was possible to identify the maximum rate of variation of methane production, as well as the time at which this rate was reached. The specific methanogenic activity was determined using the maximum rate and the volatile suspended solids content of each inoculum. The accumulated methane production was between 146 and 299 L and the AME between 1.12 and 3.65 L CH<sub>4</sub>/gSSV.d. In general, the best results were obtained for the reactors operated of 10% inoculum and 90% organic waste paste.

**Keywords:** Methane, Specific Methanogenic Activity, Solid Waste, University Restaurant.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Fluxograma das diferentes fontes de biomassa.....	23
Figura 2. Fases da digestão anaeróbia e grupos microbianos envolvidos .....	25
Figura 3. Etapas do experimento .....	32
Figura 4. Armazenamento dos resíduos orgânicos no RU .....	33
Figura 5. Reator experimental .....	34
Figura 6. Cromatógrafo gasoso modelo Shimadzu GC-2010- Plus .....	36
Figura 7. Gráfico representativo de uma função sigmoideal.....	37
Figura 8. Recipientes contendo os meios de reação dos reatores .....	40
Figura 9. DQO para os reatores Lodo 10 e Lodo 20 .....	41
Figura 10. DQO para os reatores Suíno 10 e Suíno 20.....	42
Figura 11. SST para os reatores Lodo 10 e Lodo 20 .....	42
Figura 12. SST para os reatores Suíno 10 e Suíno 20 .....	43
Figura 13. SSV para os reatores Lodo 10 e Lodo 20.....	43
Figura 14. SSV para os reatores Suíno 10 e Suíno 20.....	44
Figura 15. Produção acumulada de metano ajustada ao modelo de Boltzmann ao reator Suíno 10 .....	45
Figura 16. Produção acumulada de metano ajustada ao modelo de Boltzmann ao reator Suíno 20 .....	46
Figura 17. Produção acumulada de metano ajustada ao modelo de Boltzmann ao reator Lodo 10A .....	46
Figura 18. Produção acumulada de metano ajustada ao modelo de Boltzmann ao reator Lodo 10B .....	47
Figura 19. Produção acumulada de metano ajustada ao modelo de Boltzmann ao reator Lodo 20 .....	47
Figura 20. Relação entre a produção acumulada de metano, inóculo e porcentagem.....	49
Figura 21. Perfil da produção acumulada de metano para os reatores estudados .....	49
Figura 22. Relação entre a taxa máxima de produção de metano e o tempo.....	50
Figura 23. Rendimento em metano.....	50
Figura 24. Atividade metanogênica específica para os reatores estudados .....	51
Figura 25. Perfil da AME para cada reator.....	52



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Quantidade de resíduos gerados e coletados no Brasil para os anos 2014 e 2015 ...	16
Tabela 2. Elementos de caracterização de resíduos sólidos urbanos.....	17
Tabela 3. Estimativa da geração de RSU em Alagoas para 2015.....	19
Tabela 4. Estimativa da quantidade de RSU coletados em Alagoas .....	19
Tabela 5. Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos de Maceió .....	20
Tabela 6. Rendimento de biogás pela digestão anaeróbia em resíduos orgânicos .....	28
Tabela 7. Nomenclatura utilizada para os reatores de acordo com o planejamento experimental .....	35
Tabela 8. Classificação CV .....	37
Tabela 9. Massa da fração orgânica dos resíduos gerados no RU.....	38
Tabela 10. Resultados das análises físico-químicas para a pasta de resíduos .....	39
Tabela 11. Resultados das análises físico-químicas para o lodo anaeróbio .....	39
Tabela 12. Resultados das análises físico-químicas para os dejetos suínos .....	39
Tabela 13. Resultados das análises físico-químicas iniciais para os reatores.....	40
Tabela 14. Resultados das análises físico-químicas finais para os reatores .....	40
Tabela 15. Análise estatística dos reatores .....	45
Tabela 16. Ajuste para os reatores branco .....	48
Tabela 17. Características da inoculação de cada reator e a produção acumulada ao final do experimento .....	52
Tabela 18. Comparação entre os reatores em relação a produção acumulada de metano nos primeiros 14 dias de operação .....	53
Tabela 19. Comparação entre os reatores em relação a produção acumulada de metano nos primeiros 52 dias de operação .....	53
Tabela 20. Geração de metano considerando a geração diária de resíduos orgânicos no RU..	54
Tabela 21. Demanda mensal de metano no RU.....	55
Tabela 22. Demanda suprida no RU.....	55
Tabela 23. Potência gerada.....	56

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

AME – Atividade Metanogênica Específica

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

BEN – Balanço Energético Nacional

BMP – *Biochemical Methane Potencial*

C/N – carbono/nitrogênio

CV – Coeficiente de Variação

COOPLUM – Cooperativa de Recicladores de Lixo Urbano de Maceió

COOPREL – Cooperativa dos Recicladores de Alagoas

COOPVILA – Cooperativa dos Catadores da Vila Emater

CTR – Central de Tratamento de Resíduos

DT – Declaração de Talloires

DQO – Demanda Química de Oxigênio

GEE – Gases de Efeito Estufa

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*

LSA – Laboratório de Saneamento Ambiental

MME – Ministério de Minas e Energia

OMS – Organização Mundial de Saúde

ONUDI – Observatório de Energias Renováveis para a América Latina e Caribe

PERS – Plano Estadual de Resíduos Sólidos

pH – Potencial Hidrogeniônico

PMSB – Plano Municipal de Saneamento Básico

PR – Pasta de Resíduos

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

RU – Restaurante Universitário

SLUM – Superintendência de Limpeza Urbana de Maceió

SST – Sólidos Suspensos Totais

SSV – Sólidos Suspensos Voláteis

UASB – *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*

UFAL – Universidade Federal de Alagoas

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVOS.....	14
2.1 OBJETIVO GERAL.....	14
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1 Resíduos sólidos.....	15
3.1.1 Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos.....	16
3.1.1.1 Em Alagoas.....	18
3.1.1.2 Em Maceió.....	19
3.1.1.3 Em instituições de ensino superior.....	21
3.2 Biomassa.....	22
3.2.1 Tecnologias de conversão.....	23
3.2.1.1 Digestão anaeróbia.....	24
3.2.1.1.1 Biogás.....	27
3.2.2 Bioenergia.....	29
3.3 Inóculo.....	29
3.4 Atividade metanogênica específica.....	30
4 METODOLOGIA.....	31
4.1 Local do experimento.....	31
4.2 Descrição do experimento.....	31
4.2.1 Levantamento de dados.....	33
4.2.2 Coleta da fração orgânica e inóculo.....	33
4.2.3 Parâmetros físico-químicos analisados.....	34
4.2.4 Montagem dos reatores.....	34
4.2.5 Coleta do metano gerado.....	35
4.3 Ajuste de medidas.....	36
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	38
5.1 Geração de resíduos orgânicos.....	38
5.2 Análises físico-químicas.....	38
5.2.1 Pasta de resíduos.....	38
5.2.2 Inóculo.....	39

5.2.3 Meios de reação .....	39
5.3 Produção de metano .....	44
5.3.1 Produção acumulada de metano .....	44
5.3.2 Avaliação da atividade metanogênica .....	51
5.4 Comparação do desempenho entre os reatores.....	52
5.5 Proposta de utilização do metano gerado .....	55
6 CONCLUSÃO.....	57
7 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	59
REFERÊNCIAS .....	60

## 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico aliado ao consumo desenfreado tem conduzido a uma aceleração contínua da geração de resíduos fazendo com que estes sejam um dos grandes problemas enfrentados pela população mundial pois constituem fonte de poluição ambiental, afetando também a saúde pública.

A ausência de um gerenciamento adequado faz com que esta situação seja agravada, uma vez que há pouco investimento no setor, bem como ausência de informações sobre a geração de resíduos e de campanhas de sensibilização da população.

Nos centros universitários o gerenciamento dos resíduos sólidos também é uma questão preocupante uma vez que são locais onde há geração de resíduos passíveis de causar impactos negativos significativos. Nestes locais, os resíduos são provenientes das atividades de ensino, pesquisa, extensão, restaurantes e outras práticas relacionadas à sua operação.

Na década de 60 a temática ambiental passou a ser introduzida nos planos de gestão das instituições de ensino superior, sendo que as primeiras experiências surgiram nos Estados Unidos, simultaneamente com as promoções de profissionais nas ciências ambientais (JULIATTO; CALVO; CARDOSO, 2011).

Daquela época até o presente, diversos estudos têm sido desenvolvidos a fim de encontrar técnicas para o manejo adequado de resíduos em instituições de ensino superior. Reis (2012) avaliou a tratabilidade de resíduos sólidos orgânicos provenientes da cozinha do restaurante universitário do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco, *Campus* Caruaru, em um biodigestor anaeróbio, obtendo uma produção máxima semanal de 0,9 m<sup>3</sup> de biogás. Em seu trabalho, Silva, K. (2014) apresentou um diagnóstico da produção de resíduos sólidos orgânicos alimentares produzidos nos restaurantes que funcionam dentro da Universidade Federal de Alagoas, *Campus* A. C. Simões, bem como fez a quantificação dos resíduos sólidos orgânicos, avaliando o potencial de compostagem dos mesmos verificando a viabilidade da implantação de um pátio de compostagem no *Campus*.

Atualmente existem diferentes formas de tratamento, destinação e disposição de resíduos sólidos. A coleta seletiva, como forma de destinação ambientalmente adequada, além de gerar emprego e renda, faz com que os materiais, como o plástico e o vidro, que seriam descartados, retornem ao ciclo produtivo, diminuindo os gastos com a limpeza pública e o desperdício.

Para a fração orgânica dos resíduos sólidos são aplicadas técnicas, como a compostagem e outras que, além de reduzirem a carga orgânica, podem gerar energia. O processo de digestão anaeróbia em reatores é apontado como alternativa para a bioestabilização da fração orgânica, sendo uma técnica largamente estudada nas últimas décadas e que pode ser aplicada ao tratamento de resíduos sólidos orgânicos de diversas origens (BARCELOS, 2009).

A digestão anaeróbia resulta em um gás com alto potencial energético agregado, o biogás, que pode ser utilizado para geração de energia, e um efluente rico em nutrientes que pode ser utilizado como condicionador de solos.

No Brasil, os problemas ambientais relacionados aos resíduos sólidos aliada a demanda crescente de energia elétrica faz com que o biogás seja uma alternativa bastante vantajosa, pois constituem uma fonte alternativa de energia e diminuem significativamente os impactos ambientais da fonte poluidora.

Diante deste quadro, o presente trabalho tem por objetivo identificar o potencial de geração de metano a partir da digestão anaeróbia da fração orgânica dos resíduos sólidos gerados no Restaurante Universitário da Universidade Federal de Alagoas, *Campus A.C. Simões*, através do teste da Atividade Metanogênica Específica (AME).

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Identificar o potencial de geração de metano da fração orgânica dos resíduos sólidos gerados no Restaurante Universitário da Universidade Federal de Alagoas, *Campus A.C. Simões*, utilizando o teste da atividade metanogênica específica.

### 2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Caracterizar a fração orgânica dos resíduos sólidos gerados no Restaurante Universitário e os inóculos lodo anaeróbio e dejetos suínos através da determinação dos parâmetros: potencial hidrogeniônico (pH), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Suspensos Totais (SST) e Sólidos Suspensos Voláteis (SSV);
- Avaliar a geração de metano utilizando lodo anaeróbio e dejetos suínos como inóculos;
- Avaliar diferentes proporções de lodo anaeróbio e dejetos suínos utilizados para a produção de metano.



### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Resíduos sólidos

O termo resíduo sólido ainda é pouco utilizado sendo muitas vezes confundido com o termo lixo. De acordo com o dicionário Silveira Bueno (1996), lixo é definido como “o que se varre de casa e em geral tudo o que não presta e se joga fora; cisco; sujeira; imundície; (fig.) escória”. Já os resíduos sólidos são aqueles materiais que possuem um potencial econômico agregado podendo ser reutilizados ou reciclados.

A Organização Mundial de Saúde (OMS) define resíduos sólidos como sendo “qualquer coisa que o proprietário não quer mais, em um certo local e em um certo momento, e que não apresenta valor comercial corrente ou percebido” (OMS, 2003 apud GONÇALVES, 2007).

Segundo a NBR 10004/2004, os resíduos sólidos podem ser definidos como:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível. (ABNT, 2004)

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, os resíduos sólidos urbanos (RSU) são aqueles constituídos por resíduos domiciliares e resíduos de limpeza urbana. Entende-se por resíduos domiciliares aqueles resíduos que são provenientes de atividades domésticas; já por resíduos de limpeza urbana, os resíduos procedentes da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana (BRASIL, 2010).

A composição de resíduos é influenciada por muitos fatores os quais estão ligados de forma direta e indireta à natureza quali-quantitativa dos resíduos, variando a sua composição, de forma geral, de um local para outro (LIMA, 2005). Dentre os fatores citados por Lima (2005) ressaltam-se as variações sazonais e econômicas, os hábitos e os costumes, o nível educacional e as leis e regulamentações específicas.

Assim como a sua composição, a geração de resíduos em centros urbanos também é influenciada por diferentes fatores, dos quais se destacam o aumento populacional e a intensificação da industrialização, sendo que quanto maior for a dimensão destes fatores, maior será a heterogeneidade e a quantidade de resíduos gerados (LIMA, 2005).

Segundo dados do Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2015), a geração diária de RSU no Brasil em 2015 foi de aproximadamente 219 mil toneladas o que representa um aumento de 1,7% em relação aos RSU gerados no ano anterior.

Para os RSU coletados diariamente, o estudo aponta um aumento de 1,8% para o ano de 2015 em relação aos resíduos coletados em 2014. A Tabela 1 traz os dados de resíduos gerados e coletados para os anos analisados.

Tabela 1. Quantidade de resíduos gerados e coletados no Brasil para os anos 2014 e 2015

<b>Ano</b>	<b>Resíduos Gerados (t/dia)</b>	<b>Resíduos Coletados (t/dia)</b>
2014	215.297,00	195.233,00
2015	218.874,00	198.750,00

Fonte: Adaptado de ABRELPE, 2015

Analisando a Tabela 1, verifica-se que, em 2015, pouco mais de 20 mil toneladas de resíduos deixaram de ser coletadas diariamente o que pode ser atribuído a deficiência do setor público de coleta. A disposição inadequada de resíduos sólidos, sem qualquer forma de tratamento, gera graves consequências no âmbito da saúde pública e do meio ambiente.

Para a disposição final de RSU, os dados apontam uma evolução e aprimoramento, com a maioria dos resíduos coletados, 58,7%, sendo encaminhados para aterros sanitários (ABRELPE, 2015) que, segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos, são constituídos como a forma ambientalmente adequada de disposição.

Os resíduos sólidos urbanos são constituídos por matéria orgânica (restos de alimentos, podas, etc.), materiais recicláveis (vidro, papéis, etc) e outros materiais em menores quantidades. Por ser composto em grande parte por matéria orgânica (50-60%), passível de degradação, a disposição inadequada de RSU gera poluição do solo e dos recursos hídricos indicando a necessidade de tratamentos adequados que minimizem os impactos negativos no meio ambiente.

### 3.1.1 Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos

Os resíduos gerados pela sociedade em seus processos humanos associados ao seu descarte inadequado e ao crescimento populacional passaram a ser um problema devido ao seu mau gerenciamento, podendo provocar impactos ambientais, econômicos, sociais e de saúde pública.

O gerenciamento de resíduos sólidos pode ser definido como:

Conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos

sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma desta Lei. (BRASIL, 2010)

Um dos principais fatores que influenciam no gerenciamento de resíduos sólidos é o conhecimento de suas características qualitativas e quantitativas. A caracterização dos resíduos sólidos é de fundamental importância, pois possibilita o estudo do comportamento físico dos elementos que compõe os resíduos podendo-se, portanto, compreender melhor a massa como um todo (TAVARES, 2008).

Caracterizar um resíduo significa reunir diferentes informações relacionadas com as suas características físico-químicas através de ensaios. É uma tarefa difícil uma vez que diversos fatores influenciam as suas características, tais como climáticos, socioeconômicos e demográficos. A Tabela 2 identifica os elementos de caracterização de resíduos sólidos urbanos.

Tabela 2. Elementos de caracterização de resíduos sólidos urbanos

<b>Características físicas</b>	<b>Características químicas</b>
Geração per capita	
Peso específico	Teor de elementos químicos C, S, N, K,P
Teor de umidade	Relação C/N
Compressividade	pH
Poder calorífico	Teor de matéria orgânica
Composição gravimétrica	

Fonte: Adaptado de TAVARES, 2008

- **Peso específico**

O peso específico de um material está relacionado com a sua massa e o volume ocupado por ele sem qualquer compactação. Para resíduos sólidos urbanos a sua determinação é importante pois influencia no dimensionamento de equipamentos e instalações.

- **Teor de umidade**

O teor de umidade diz respeito a quantidade de água presente no material medido em percentual do seu peso. Esse parâmetro é bastante influenciado pelos fatores climáticos ficando em torno de 40% a 60% em resíduos sólidos urbanos.

- **Composição gravimétrica**

A composição gravimétrica diz respeito a quantificação dos diferentes materiais que compõe os resíduos sólidos. A partir da composição é possível identificar as diferentes formas de aproveitamento dos componentes dos RSU.

Sua determinação é realizada a partir da obtenção de uma amostra representativa dos resíduos, ou seja, uma amostra que apresente as mesmas características e propriedades da massa total do resíduo.

Existem diferentes metodologias para realizar a composição gravimétrica. Os métodos consistem basicamente na retirada dos resíduos do caminhão coletor, pesagem da amostra inicial, homogeneização, triagem e pesagem dos diferentes componentes da amostra inicial. A principal forma que distingue as diferentes metodologias ocorre no modo de separação da amostra.

#### 3.1.1.1 Em Alagoas

A política de planejamento para a gestão de resíduos sólidos em Alagoas foi iniciada com a elaboração do Plano de Regionalização de Gestão de Resíduos Sólidos do Estado de Alagoas, o qual teve como objetivo promover o arranjo entre os municípios alagoanos de forma a desenvolver e implementar as práticas de gerenciamento integrado e compartilhado dos serviços públicos de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos (PERS, 2015).

O Plano de Regionalização dividiu o estado em 7 regiões de planejamento: Bacia Leiteira, Metropolitana, Litoral Sul, Litoral Norte, Zona da Mata, Sertão e Agreste. Essa divisão foi o início para a institucionalização dos consórcios intermunicipais de gestão de resíduos sólidos de Alagoas.

Em 2011 foi lançado o Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos dos Municípios Alagoanos Inseridos na Bacia do Rio São Francisco, o qual contemplou a gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos das regiões de planejamento Sertão, Bacia Leiteira, Agreste e Litoral Sul (PERS, 2015).

O grande marco em Alagoas foi a aprovação da lei que dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos e Inclusão Produtiva (Lei Estadual nº 7.749, de 13 de outubro de 2015). Além disso, em 2015, o Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de Alagoas (PERS), o qual constitui-se como o documento norteador para a gestão de resíduos sólidos no estado, foi entregue. Esses dois instrumentos representam para o estado um grande avanço na luta contra os problemas relativos aos resíduos sólidos e resultará no melhoramento da qualidade ambiental e de vida da população de Alagoas.

O planejamento da gestão integrada de resíduos sólidos é iniciado a partir do diagnóstico, o que irá permitir a definição de estratégias para o manejo adequado dos resíduos.

Segundo o PERS (2015), estima-se que são geradas diariamente 2.022,08 toneladas de resíduos sólidos urbanos em Alagoas, sendo que 62,49% são gerados na região metropolitana. A Tabela 3 apresenta a geração de RSU no estado.

Tabela 3. Estimativa da geração de RSU em Alagoas para 2015

<b>Região</b>	<b>Geração diária (t/dia)</b>	<b>Percentual de geração (%)</b>
Agreste	237,78	11,76
Bacia Leiteira	78,63	3,89
Litoral Norte	97,22	4,81
Metropolitana	1.263,64	62,49
Sertão	47,18	2,33
Litoral Sul	178,28	8,82
Zona da Mata	119,35	5,9
<b>TOTAL</b>	<b>2.022,08</b>	<b>100</b>

Fonte: Adaptado de PERS, 2015

Em relação a coleta, estima-se que são deixados de ser coletados diariamente 65,38 toneladas de resíduos sólidos urbanos, representando um déficit de 28,72%. Observa-se na Tabela 4 que a região Litoral Norte apresenta o maior déficit de coleta, com 7,38%.

Tabela 4. Estimativa da quantidade de RSU coletados em Alagoas

<b>Região</b>	<b>Quantidade coletada (t/dia)</b>	<b>Déficit de coleta (%)</b>
Agreste	228,86	3,75
Bacia Leiteira	75,46	4,03
Litoral Norte	90,05	7,38
Metropolitana	1.230,14	2,65
Sertão	45,86	2,8
Litoral Sul	173,39	2,74
Zona da Mata	112,94	5,37
<b>TOTAL</b>	<b>1.956,70</b>	<b>28,72</b>

Fonte: Adaptado de PERS, 2015

Atualmente, 39 municípios do estado encaminham os seus resíduos sólidos para centrais de tratamento (CTR) que estão distribuídas nas regiões Agreste, Metropolitana e Bacia Leiteira, totalizando 4 CTR. Entretanto, 63 municípios ainda dispõem os seus resíduos em lixões, que são configurados como forma inadequada de disposição, pois não possuem sistemas de tratamento de gases e lixiviados e nem métodos adequados de coleta, tornando-o fonte de poluição e degradação ambiental.

### 3.1.1.2 Em Maceió

A gestão de resíduos sólidos em Maceió é norteada pelo Código Municipal de Limpeza Urbana, instituído pela Lei Municipal nº 4.301, de 14 de abril de 1994, e sua legislação complementar, instituída pela Lei municipal nº 5.648, de 23 de novembro de 2007, além da Política Nacional de Resíduos Sólidos e da Política Estadual de Resíduos Sólidos e Inclusão Produtiva. Estes instrumentos são fundamentais para regulamentar os processos que

envolvem a limpeza urbana, bem como a geração, o acondicionamento, a destinação e o tratamento final das diversas categorias de resíduos (SLUM, 2017).

Está em fase de finalização o Plano de Saneamento Básico e de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos do Município Maceió, o qual irá abranger todo território (urbano e rural) do município e contemplar os componentes: abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, e limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos (PMSB, 2016).

Segundo o PMSB (2016) estima-se a geração de aproximadamente 432 mil toneladas de resíduos sólidos urbanos em Maceió para 2017, sendo que a coleta é realizada em 98% da zona urbana devido a algumas deficiências, como a falta de garis comunitários em áreas com dificuldade de acesso como encostas, grotas e vales, habitadas por população de baixa renda.

O estudo realizado por Machado et al. (2012) indicou que os resíduos sólidos gerados no município de Maceió são compostos, na sua maior parte, por fração pastosa<sup>1</sup>, seguido dos materiais recicláveis (Tabela 5).

Tabela 5. Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos de Maceió

<b>Componente</b>	<b>Teor (% base úmida)</b>
Madeira	4,02
Pedra/Cerâmica	15,91
Têxtil	4,01
Borracha	0,62
Plástico	12,47
Vidro	0,79
Metal	1,29
Papel/Papelão	12,87
Fração Pastosa	48,02

Fonte: Adaptado de MACHADO et al. (2012)

A coleta seletiva em Maceió ocorre de forma pontual em condomínios, empresas, no Benedito Bentes mas não há adesão por todos os moradores do bairro, entre outros, sendo realizada através da ação de cooperativas de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis, a saber: Cooperativa de Recicladores de Lixo Urbano de Maceió (COOPLUM), Cooperativa de Catadores da Vila Emater (COOPVILA) e Cooperativa dos Recicladores de Alagoas (COOPREL), dividida em duas unidades.

Em relação a disposição final, os resíduos sólidos urbanos gerados em Maceió são encaminhados a Central de Tratamento (CTR) de Resíduos localizada no bairro Benedito Bentes. A CTR é operada pela empresa V2 Ambiental e está em funcionamento desde 2010.

<sup>1</sup> O termo fração pastosa refere-se aos materiais orgânicos (frutas, restos de alimentos) facilmente degradáveis e moderadamente degradáveis (folhas), bem como àqueles que não podem ser identificados ou não são possíveis de serem separados em outras categorias.

De acordo com o PMSB (2016) em 2014 a CTR recebeu 408.912,11 toneladas de resíduos sólidos domiciliares.

### 3.1.1.3 Em instituições de ensino superior

A busca por soluções para o gerenciamento adequado dos resíduos sólidos é uma preocupação atual da sociedade. As universidades, como participantes na resolução de problemas que se apresentam na sociedade, têm papel importante no desenvolvimento de pesquisas científicas sobre o tema, bem como propostas inovadoras para a gestão interna de seus resíduos (DIAS; VAZ; CAMPOS, 2010 apud MADEIRA; MARTINELI, 2014).

A temática ambiental passou a ser introduzida nos planos de gestão das instituições de ensino superior nos anos 60, sendo que as primeiras experiências surgiram nos Estados Unidos, simultaneamente com as promoções de profissionais nas ciências ambientais (JULIATTO et al., 2011).

Em 1990 ocorreu a conferência internacional em Tolloires, França, a qual é considerada como a primeira declaração oficial feita por presidentes de universidades, chanceleres e reitores de um compromisso com a sustentabilidade ambiental no ensino superior. A Declaração de Talloires (DT) é um plano de ação de dez pontos para incorporar sustentabilidade e alfabetização ambiental em ensino, pesquisa, operações e divulgação em faculdades e universidades e foi assinado por mais de 500 líderes universitários em mais de 50 países, dentre eles o Brasil (Talloires Declaration, 1990).

Desde então diversos trabalhos vêm sendo desenvolvidos a fim de encontrar meios para consolidar a gestão ambiental nas universidades, em especial no que diz respeito ao gerenciamento de resíduos gerados nas instituições.

Frias (2016) propôs uma configuração de um biodigestor para produção de biogás utilizando resíduos orgânicos gerados no restaurante universitário da Universidade Federal de Alagoas, *Campus* A.C. Simões, a fim de realizar o seu aproveitamento para geração de energia.

Madeira e Martineli (2014) realizaram o diagnóstico da situação do gerenciamento dos resíduos sólidos na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Medianeira. Como principais conclusões foi identificado que a maior parte dos resíduos é constituída por rejeitos, sendo os resíduos passíveis de reciclagem coletados pela Associação de Agentes do Meio Ambiente.

Os programas de gerenciamento de resíduos sólidos desenvolvidos na Universidade Federal de Santa Catarina foram apresentados no trabalho realizado por Albuquerque et al.

(2010), o qual concluiu que a universidade está trabalhando para a minimização dos impactos gerados pelos resíduos sólidos através de quatro programas: gerenciamento de resíduos sólidos secos, resíduos sólidos orgânicos, resíduos sólidos do sistema da saúde e por último pilhas, baterias e lâmpadas fluorescentes.

Ruberg et al. (2009) realizou estudo para estimar a geração per capita dos resíduos sólidos gerados na Universidade Federal do Pampa, *Campus* São Gabriel/RS, como subsídio para elaborar e implantar o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos no *Campus*. O estudo apontou para um aumento significativo na quantidade e no volume dos resíduos descartados, evidenciando a importância de se implantar um sistema de coleta seletiva no *Campus*.

Visando reduzir o descaso com relação a gestão de resíduos químicos e biológicos gerados em universidades, Marques e Vaz (2009) analisaram a gestão dos resíduos laboratoriais da Faculdade de Tecnologia e Ciências, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

O estudo realizado por Giloni-Lima e Lima (2008) teve como objetivo propor um fluxograma para implantação de um programa de gestão integrada de resíduos químicos em instituições de ensino superior. Foi identificado que os resíduos químicos sofrem procedimentos de minimização na fonte e têm um acondicionamento adequado, mas seu armazenamento é indevido, necessitando ser tratado e disposto corretamente. Já os resíduos biológicos são esterilizados corretamente antes do descarte e os perfurocortantes são dispostos adequadamente em caixas apropriadas.

### 3.2 Biomassa

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a biomassa pode ser definida como todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica, de origem animal ou vegetal, que pode ser utilizada na geração de energia, sendo considerada uma forma indireta de energia solar visto que deriva da conversão da energia solar em energia química através da fotossíntese (ANEEL, 2005).

A biomassa é considerada uma fonte de energia renovável e limpa pois, durante os seus processos de produção ou consumo, não são gerados gases poluentes de efeito estufa (GEE). Por essa característica, a utilização da biomassa como fonte de energia vem ganhando espaço no mercado de energia mundial, sendo considerada uma alternativa ao uso dos combustíveis fósseis e diversificando a matriz energética mundial.



Uma das vantagens na utilização da biomassa como fonte energética, apesar de apresentar uma eficiência reduzida, é a de que o seu aproveitamento pode ser feito de forma direta através da combustão direta em fornos, caldeiras, entre outros (ANEEL, 2005).

De acordo com o Atlas de Bioenergia de Alagoas (SALOMON et al., 2014) a biomassa pode apresentar diferentes fontes, conforme apresenta a Figura 1.

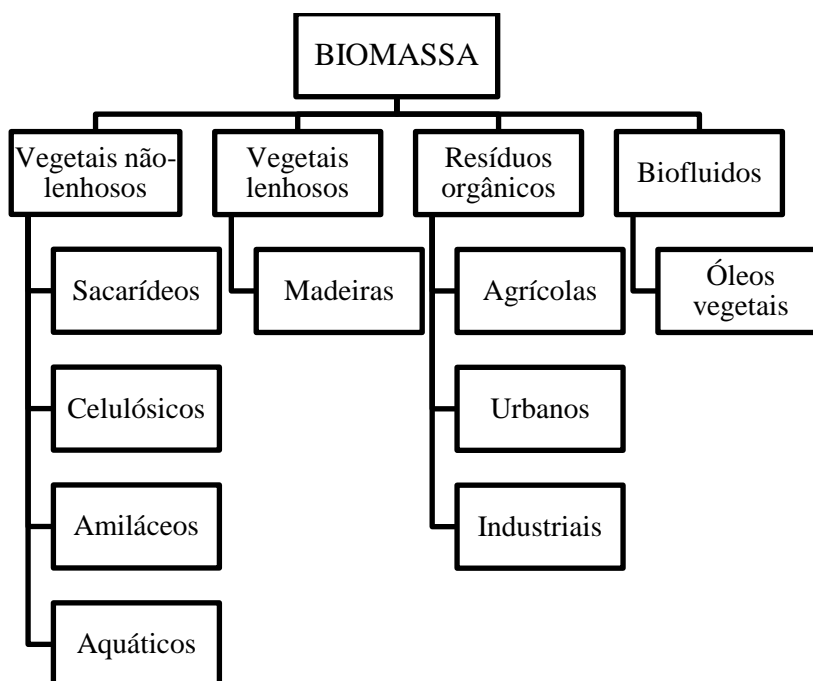


Figura 1. Fluxograma das diferentes fontes de biomassa  
Fonte: Adaptado de SALOMON et al., 2014

### 3.2.1 Tecnologias de conversão

Atualmente, existem diferentes tipos de aproveitamento da biomassa. Sua aplicação depende do tipo de biomassa que se deseja utilizar. A biomassa residual sólida pode ser convertida através de processos como a gaseificação, motores de combustão interna, dentre outros, nos quais ocorre uma reação química de oxidação de materiais combustíveis, formando produtos constituídos por  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ , podendo também conter teores de  $\text{CO}$ , hidrocarbonetos, particulados, etc. (SALOMON et al., 2014). Para a biomassa residual líquida (efluentes domésticos, dejetos de animais, etc.) uma tecnologia de conversão bastante utilizada são os biodigestores nos quais ocorre a fermentação da matéria orgânica obtendo como produto o biogás (SALOMON et al., 2014).

Segundo a ANEEL (2005), a biomassa pode ser convertida, com fins energéticos, de diferentes formas através da combustão direta, de processos termoquímicos ou de processos biológicos. A combustão direta ocorre em fornos, caldeiras, etc. nos quais a biomassa é convertida, por meio do fornecimento de oxigênio, obtendo como produto um gás constituído

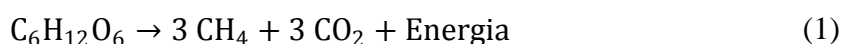
principalmente por água (H<sub>2</sub>O), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e nitrogênio (N<sub>2</sub>). Os processos termoquímicos englobam a pirólise (a biomassa é aquecida na ausência ou na quase ausência de oxigênio, obtendo-se carvão e gás combustível), a gaseificação (processo de conversão de combustíveis sólidos em gasosos), a liquefação (processo de transformação de combustíveis sólidos em líquidos) e a transesterificação (nesse processo ocorre reação de um éster e um álcool, obtendo-se o biodiesel); os processos biológicos são divididos em digestão anaeróbia (decomposição da fração orgânica, na ausência de oxigênio, através da ação de microrganismos resultando em um gás com bom potencial energético e um líquido rico em nutrientes) e fermentação (transformação dos açúcares de plantas em álcool, através da ação de microrganismos, obtendo-se o etanol) (ANEEL, 2005).

### 3.2.1.1 Digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia ou biometanização é um processo biológico simples que ocorre de forma natural na qual um grupo específico de microrganismos, bactérias anaeróbias, degradam, na ausência de oxigênio, o material orgânico complexo (carboidratos, proteínas e lipídios) resultando em uma mistura de gases (CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>, essencialmente) com um grande potencial energético e um efluente estabilizado, chamado de biofertilizante, rico em nutrientes.

Ainda que a utilização desse processo seja bastante vantajosa pois, além de servir como uma forma de tratamento da matéria orgânica, produz um gás (biogás) com um importante valor energético podendo ser utilizado na geração de energia, a digestão anaeróbia é um processo complexo que demanda controle para assegurar o seu correto funcionamento como em relação às sobrecargas orgânicas que podem reduzir a estabilização do processo (ONUDI, 2013). Segundo Barcelos (2009), os principais fatores que influenciam o processo são: temperatura, pH, umidade, substâncias inibidoras da metanogênese, nutrientes e tamanho das partículas.

A conversão da matéria orgânica em condições anaeróbias processa-se conforme equação 1, expressa de forma geral e simplificada, representando apenas o produto final de etapas intermediárias (VON SPERLING, 1996):



A digestão anaeróbia pode ser dividida em quatro fases sequenciais: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. A Figura 2 mostra um esquema das fases

envolvidas no processo. Em seguida, é feita uma breve descrição de cada fase de acordo com Campos (1999).

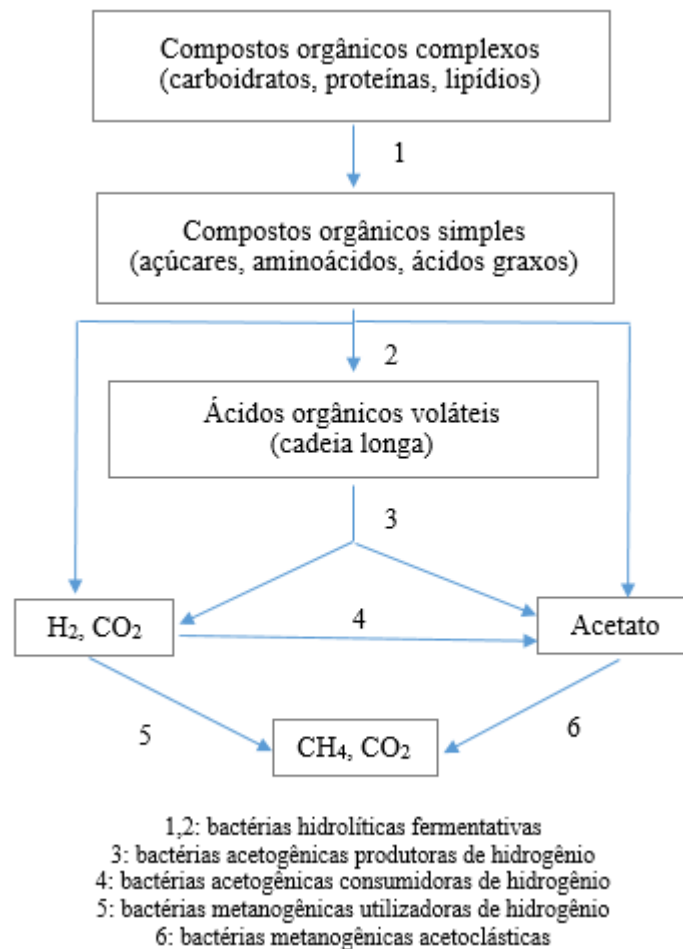


Figura 2. Fases da digestão anaeróbia e grupos microbianos envolvidos  
 Fonte: Adaptado de VON SPERLING, 1996

- Hidrólise: essa etapa corresponde a conversão da matéria orgânica complexa (carboidratos, proteínas, lipídios) em compostos dissolvidos mais simples (açúcares, aminoácidos, peptídeos) através da ação das bactérias fermentadoras.
- Acidogênese: as substâncias produzidas na hidrólise são absorvidas nas células das bactérias fermentativas resultando em substâncias mais simples como os compostos minerais ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , entre outros) e os ácidos orgânicos voláteis de cadeia curta.
- Acetogênese: nessa etapa os produtos finais da acidogênese são convertidos em acetato, hidrogênio e dióxido de carbono através da ação das bactérias acetogênicas. Em algumas situações pode ocorrer o surgimento de uma terceira etapa da acetogênese: a homoacetogênese. O desenvolvimento dessa etapa ocorre na presença de dióxido de carbono e hidrogênio, resultando na redução de dióxido de carbono para ácido acético através do hidrogênio.

- **Metanogênese:** envolve a formação de metano e dióxido de carbono. Nessa fase, o metano é produzido de duas formas: a partir da redução de ácido acético através das bactérias acetotróficas, e a partir da redução de dióxido de carbono pelas bactérias hidrogenotróficas.

Existe ainda outra fase que faz parte do processo de digestão anaeróbia, na qual os resíduos constituídos por compostos de enxofre são submetidos à fase denominada de sulfetogênese. Nesta fase, os compostos sulfurados como o sulfato são reduzidos a sulfeto através da ação de um grupo de bactérias chamadas de bactérias redutoras de sulfato, capazes de utilizar diferentes substratos (GONÇALVES, 2007).

A digestão anaeróbia pode ocorrer em equipamentos denominados de biodigestores. O biodigestor é uma estrutura física na qual ocorrem várias reações químicas e microbiológicas, também conhecido como biorreator ou reator anaeróbio, sendo a sua principal função a de promover condições anaeróbias dentro de sua estrutura (ACHARYA; MUKUNDAN, 2015).

Existem diversos fatores que influenciam na digestão anaeróbia como o pH, concentração de nutrientes, temperatura, concentração de sólidos no substrato, umidade, concentração de ácidos graxos voláteis e relação C/N.

- **pH**

O potencial hidrogeniônico (pH) é utilizado como indicador do grau de acidez ou alcalinidade de uma solução. A escala de pH varia de 0 a 14 onde valores abaixo de 7 indicam que a solução é ácida e valores acima de 7 indicam a alcalinidade da solução. Para resíduos sólidos o pH é importante para determinar o tipo de proteção a corrosão a ser utilizado em veículos coletores, contêineres, equipamentos, entre outros.

O pH é um parâmetro que afeta a taxa de crescimento dos microrganismos, pois influencia a utilização das fontes de carbono, as reações de síntese e a produção de metabolitos extracelulares (SAKHAROVA, 1976 apud CARRILHO, 2012).

Na atividade anaeróbia o pH está diretamente relacionado com a presença de ácidos no meio resultado da digestão de substratos complexos, sendo os microrganismos metanogênicos afetados com possíveis mudanças desse parâmetro. A acidificação do meio é uma das principais falhas do processo de digestão anaeróbia.

A digestão anaeróbia é um processo que resulta da atividade de diferentes grupos de microrganismos e cada grupo atua em uma faixa ótima de pH. As bactérias acidogênicas suportam variações de pH entre 4,0 e 8,5 (CCE, 2000 apud CARRILHO, 2012) e as bactérias metanogênicas são especialmente sensíveis às variações no pH, atuando em faixa ótima de pH entre 6,6 e 7,4 (FORESTI, 1997).

- Temperatura

A temperatura é um dos fatores que mais influenciam a digestão anaeróbia pois pode afetar o processo de diferentes formas. Segundo Reis (2012), a temperatura é um parâmetro que influencia as taxas de reações enzimáticas e também a desnaturação destas enzimas ou a destruição das habilidades dos microrganismos em produzir essas enzimas, comprometendo a eficiência do processo de bioestabilização do material orgânico.

A digestão anaeróbia ocorre em diferentes faixas de temperatura uma vez que diferentes grupos de microrganismos atuam no processo e cada grupo possui uma faixa ótima de operação. De acordo com Metcalf e Eddy (1991) apud Reis (2012), os microrganismos são classificados em: psicrófilos, sobrevivem numa faixa de 0 a 20°C; mesófilos (20 a 45°C) e termófilos (45 a 70°C). Os mesmos autores citam que dois níveis ótimos de temperatura têm sido associados à digestão anaeróbia, um na faixa mesófila (30 a 35°C) e o outro na faixa termófila (50 a 55°C).

- Nutrientes

Para o crescimento dos microrganismos que fazem parte do processo de digestão anaeróbia é necessário que haja quantidade suficiente de nutrientes, sendo o carbono, o nitrogênio e os sais minerais os principais. Pecora (2006) recomenda uma relação 20:1 e 30:1 entre carbono e nitrogênio para que haja um ambiente favorável ao crescimento microbiano.

Uma razão C/N baixa indica um elevado teor de nitrogênio no processo de digestão anaeróbia, ocasionando acúmulo de amônia e, conseqüentemente, aumento do pH para valores superiores a 8,5, o que pode levar a morte das bactérias metanogênicas (VERMA, 2002 apud REIS, 2012).

A relação C/N é influenciada pelos tipos de resíduos envolvidos no processo, podendo ser alcançado um valor mais próximo ao ideal através da mistura de resíduos com elevada e baixa proporção. Resíduos de frutas e legumes, por exemplo, tendem a ter baixos teores de sólidos totais e elevados teores de sólidos voláteis, e são facilmente degradados em um digestor anaeróbio (SCHULZ, 2015).

#### 3.2.1.1.1 Biogás

O biogás é um gás formado a partir da degradação anaeróbia da matéria orgânica composto essencialmente por metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). É um gás que apresenta um ótimo valor energético o qual está associado ao metano presente em sua composição.

Conforme IPCC (1996) o biogás é composto por aproximadamente 50% de metano e 50% de gás carbônico. Entretanto, a porcentagem de CO<sub>2</sub> pode ser menor devido a decomposição de substratos com alta taxa de hidrogênio/oxigênio e porque uma parte do CO<sub>2</sub> pode se dissolver na água presente no local de disposição dos resíduos sólidos.

O potencial energético do biogás está diretamente relacionado com a sua composição, quanto maior for a porcentagem de metano e menor a quantidade de impurezas no biogás, melhor será o seu potencial energético. A consequência da alta quantidade de metano é um gás ótimo para a geração de energia térmica, e mesmo como combustível para motores de explosão.

A produção total de biogás está ligada à quantidade de substrato consumido pelas bactérias durante o processo, sendo o substrato expressado através da demanda química de oxigênio (DQO) e pelos sólidos voláteis. A Tabela 6 mostra o rendimento de biogás através da digestão anaeróbia de resíduos orgânicos.

Tabela 6. Rendimento de biogás pela digestão anaeróbia em resíduos orgânicos

<b>Substrato</b>	<b>Rendimento de CH<sub>4</sub> (L/kg de SV)</b>	<b>Referência</b>
Frutas e vegetais	850	Forster-Carneiro et al. (2008)
RSU	530	Forster-Carneiro et al. (2008)
RSU	360	Vogt et al. (2002)
Restos de alimentos	396	Zhang et al. (2011)
Resíduos domiciliares	350	Ferrer et al. (2011)
Dejetos suínos	337	Ahn et al. (2009)
Resíduos ricos em lignina	200	Jayasinghe et al. (2011)

Fonte: Adaptado de SCHULZ, 2015

O aproveitamento do biogás pode ser realizado de diferentes formas como na conversão do gás em eletricidade, na queima direta (aquecedores, esquentadores, fogões e caldeiras) e sendo utilizado como combustível veicular.

- Energia elétrica: O aproveitamento do biogás na geração de energia elétrica é feito a partir da sua utilização como combustível em motores de combustão interna e em turbinas a gás. Os motores de combustão interna geralmente apresentam uma maior eficiência de conversão do que as turbinas a gás. Entretanto, quando utilizadas em sistemas de cogeração (calor e eletricidade) as turbinas a gás podem apresentar um aumento na sua eficiência pela disponibilização do vapor resultante do processo de geração.
- Energia térmica: A utilização do biogás para a geração de energia térmica é feita através da queima do biogás em caldeiras para a geração de calor, promovendo o aquecimento da água e produzindo vapor, podendo ser utilizado em processos

industriais ou gerando energia elétrica através do acionamento de turbinas a vapor acopladas a um gerador (NECKER, 2013).

- Combustível para veículos: A utilização do biogás como combustível de veículos é uma alternativa energética ao uso de combustíveis derivados do petróleo, sendo um gás limpo, mais barato e mais fácil de obter do que os combustíveis comuns. Entretanto, para a sua utilização é necessário remover alguns de seus componentes, como o gás carbônico e o gás sulfídrico, exigindo um tratamento mais eficiente (ADNETT, 2000 apud NECKER, 2013).

### 3.2.2 Bioenergia

Segundo dados do Balanço Energético Nacional (BEN) do Ministério de Minas e Energia (MME), a matriz energética brasileira é de origem predominantemente renovável com 74,6% da oferta interna do país, tendo destaque a geração hidráulica representando 65,2% da oferta interna de energia (MME, 2015a).

Dentre as fontes renováveis, a bioenergia, energia obtida através da biomassa, vem ganhando destaque representando um segmento importante das energias renováveis com um grande potencial de crescimento (PORTAL BRASIL, 2011). Em abril de 2015 a produção de energia derivada da biomassa totalizou 12.417 MW de potência instalada, correspondendo a terceira fonte mais importante da matriz energética brasileira (MME, 2015b).

Apesar de ser responsável por mais da metade da geração de energia na matriz energética brasileira, a geração hidráulica sofreu uma redução de 5,6%, considerando os anos 2013 e 2014 (MME, 2015a). Esse fato está diretamente relacionado às condições hidrológicas adversas. Nesse contexto, torna-se imprescindível o investimento em fontes energéticas alternativas para ser viável o crescimento socioeconômico do Brasil.

### 3.3 Inóculo

O processo de digestão anaeróbia não começa imediatamente após a inserção de matéria orgânica no biorreator. Assim, a utilização de microrganismos (inóculo) que proporcionam o equilíbrio da relação carbono/nitrogênio (C/N), reduzindo o tempo de degradação da fração orgânica torna-se especialmente importante.

Além disso, a adição de certa quantidade de organismos metanogênicos ao processo pode prevenir o desbalanceamento gerado pela maior quantidade de ácidos e hidrogênio produzidos no início da degradação em virtude da taxa de geração das bactérias formadoras de ácido (BARCELOS, 2009).

Em relação à quantidade de inóculo utilizada, as pesquisas revelam que quanto maior a quantidade de inóculo, mais rápida será a conversão do substrato e menor serão os efeitos inibitórios do substrato na produção de metano (SILVA, M. 2014).

Um dos principais fatores que influenciam na degradação da fração orgânica de resíduos sólidos é o potencial hidrogeniônico (pH). De acordo com Bouallagui et al., (2004) apud Barcelos (2009), a principal limitação da digestão anaeróbia de resíduos está relacionada à rápida acidificação, que é responsável pela diminuição do pH no interior do reator e pela grande produção de ácidos graxos voláteis, o que inibe a atividade metanogênica, tornando a utilização de um inóculo com características de tamponamento imprescindível.

### 3.4 Atividade metanogênica específica

Segundo Aquino e Chernicharo (2005) a atividade metanogênica específica (AME) pode ser definida como a capacidade máxima de produção de metano por um consórcio de microrganismos anaeróbios, realizada em condições controladas de laboratório, para viabilizar a atividade bioquímica máxima de conversão de substratos orgânicos a biogás, constituindo em uma importante ferramenta capaz de avaliar o potencial de um sistema em produzir biogás e, conseqüentemente, metano.

O teste da AME consiste em incubar certa quantidade de biomassa em um meio contendo substrato e medir a taxa máxima de conversão de substratos específicos em metano por unidade de biomassa. Vale ressaltar que até o momento não existe uma metodologia padrão para a execução do teste AME uma vez que ainda não se chegou a um consenso a respeito das melhores condições para a realização do teste, seja nos procedimentos de incubação ou na quantificação de metano gerado.

A ausência de uma padronização internacionalmente aceita para o teste da AME dificulta, de certa forma, a comparação dos resultados absolutos obtidos a partir de cada metodologia atualmente disponível (AQUINO; CHERNICHARO, 2005). Mesmo não possuindo uma padronização, o teste da AME tem sido aplicado por diversos autores com diferentes objetivos: Poetsch e Koetz (1998) desenvolveram um teste de AME adaptado para o controle de reatores do tipo UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), tratando efluentes da indústria de conservas vegetais; Alves, Cammarota e França (2005) buscaram averiguar o potencial dos microrganismos presentes em um lodo anaeróbio em tratar o efluente gerado no Laboratório de Tecnologia Ambiental da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro; Brack (2012) utilizou o teste para avaliar a capacidade de produção de biogás e metano, através da biodigestão anaeróbia de substratos colagênicos, entre outros.



## **4 METODOLOGIA**

### 4.1 Local do experimento

O experimento foi conduzido no Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA) localizado no *Campus* A. C. Simões da Universidade Federal de Alagoas, Maceió.

### 4.2 Descrição do experimento

O experimento foi realizado conforme as etapas descritas na Figura 3.

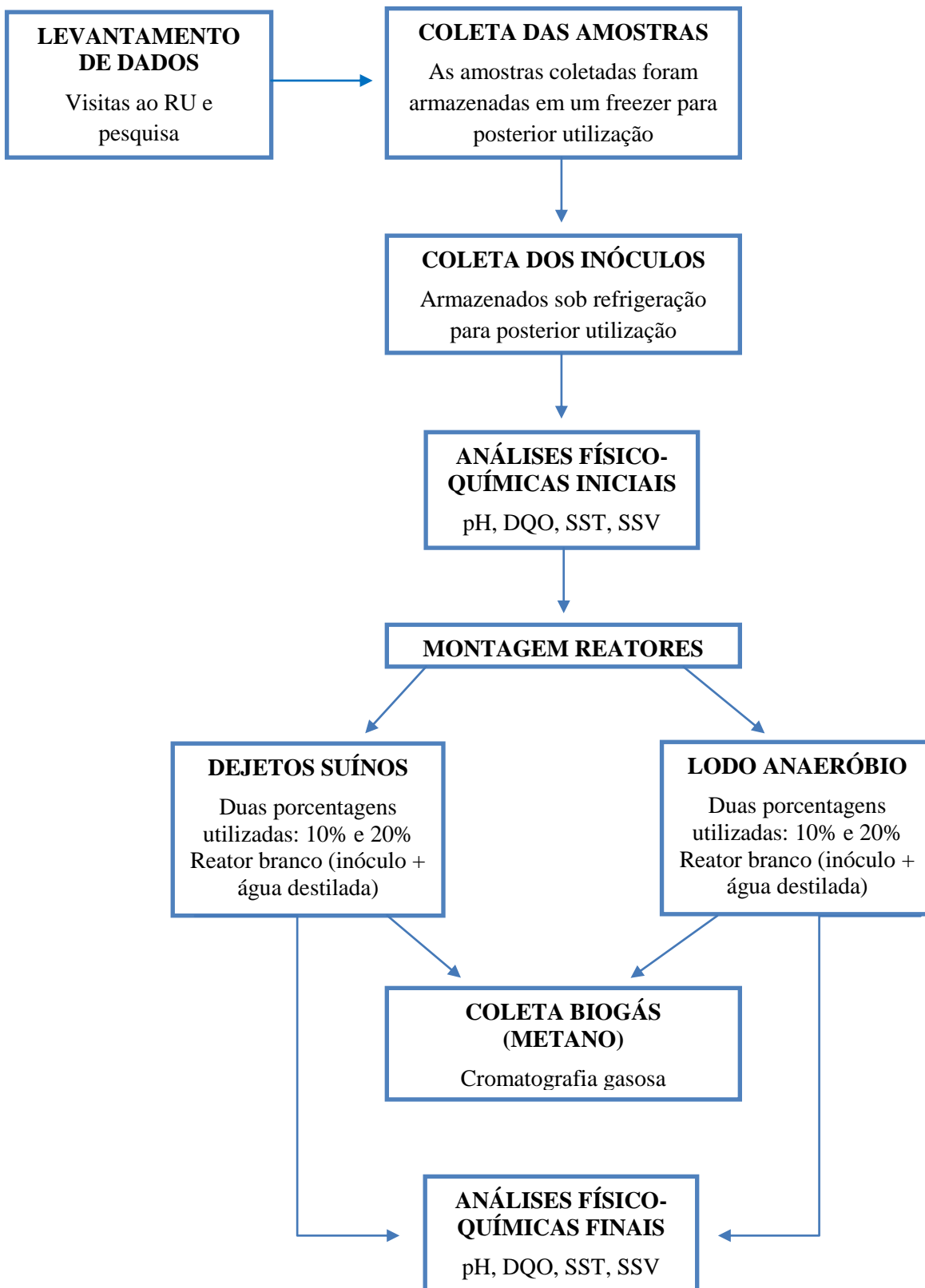


Figura 3. Etapas do experimento  
Fonte: Autora, 2016

#### 4.2.1 Levantamento de dados

Através de visitas ao restaurante e pesquisa acerca da geração de resíduos sólidos no restaurante universitário (RU) junto às nutricionistas responsáveis pelo RU foi possível conhecer a dinâmica do local. Os resíduos gerados no restaurante são separados em secos e molhados, sendo os resíduos secos encaminhados à CTR de Maceió através da coleta pública e os molhados são destinados à alimentação animal.

Foi identificado que a coleta é realizada duas vezes ao dia: às 11h e às 14h. Os resíduos orgânicos coletados às 11h são provenientes da preparação do almoço e dos restos de alimentos deixados pelos frequentadores durante o jantar do dia anterior, sendo constituídos basicamente por cascas de legumes, inhame, macaxeira, macarrão, sopa (feijão) e pão. Já os resíduos orgânicos coletados às 14h, são compostos pelos restos de alimentos (arroz, carne, feijão, legumes, entre outros) deixados nas bandejas durante o almoço. Os resíduos gerados à noite são armazenados e misturados aos demais resíduos orgânicos (Figura 4).



Figura 4. Armazenamento dos resíduos orgânicos no RU  
Fonte: Autora, 2016

#### 4.2.2 Coleta da fração orgânica e inóculo

A fração orgânica utilizada no experimento foi proveniente do restaurante universitário da Universidade Federal de Alagoas, *Campus A.C. Simões*. No RU, os resíduos orgânicos são originários das diferentes etapas das refeições, bem como dos restos de alimentos deixados nas bandejas pelos frequentadores do restaurante.

As coletas e pesagens ocorreram ao longo de duas semanas sendo realizadas duas vezes ao dia (às 11h e às 14h), totalizando 20 amostras de aproximadamente 1 kg cada. Após a coleta, as amostras foram armazenadas em um congelador para posterior utilização.

Inicialmente foram escolhidos dejetos suínos e líquido ruminal de caprino como inóculos porém, devido à sensibilidade a variações por parte do líquido ruminal, optou-se por utilizar outro inóculo. Sendo assim, foram utilizados no experimento lodo anaeróbio obtido em uma estação de tratamento de esgoto doméstico de um condomínio de Maceió e dejetos suínos obtidos no biodigestor do Centro de Ciências Agrárias da UFAL. Optou-se por esses inóculos pois são ricos em microrganismos capazes de acelerar a degradação da matéria orgânica.

#### 4.2.3 Parâmetros físico-químicos analisados

Com a finalidade de caracterizar a fração orgânica, os inóculos e a mistura fração orgânica + inóculo, foram realizadas as análises físico-químicas de Sólidos Suspensos Totais (SST), Sólidos Suspensos Voláteis (SSV), pH e Demanda Química de Oxigênio (DQO), tanto para o início do experimento quanto para o final. Após a montagem dos reatores foram retirados cerca de 50 mL, sendo congelados para posterior análise e comparação do estado inicial e final.

Todas as análises foram realizadas de acordo com a metodologia encontrada no Laboratório de Saneamento Ambiental da UFAL, o qual utiliza o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* como referência.

#### 4.2.4 Montagem dos reatores

O sistema foi formado por 12 reatores sob condições anaeróbias em batelada, em duplicada, além do branco (apenas inóculo), com capacidade de 2 L, volume reacional de 1 L, formado por uma mistura de inóculo e pasta de resíduos, e *headspace* de 1 L. Uma imagem do reator é mostrada na Figura 5.



Figura 5. Reator experimental  
Fonte: Autora, 2016

As amostras foram trituradas em liquidificador a fim de diminuir a sua granulometria para melhor homogeneização. Durante a trituração não foi necessário adicionar água uma vez que as amostras apresentaram umidade suficiente, contribuindo com a trituração. Após ser triturada, a fração orgânica formou uma pasta de resíduos.

Foram analisadas duas proporções (v/v) de inóculo e pasta de resíduos: 10% inóculo + 90% pasta de resíduos e 20% inóculo + 80% pasta de resíduos.

A correção do pH para os reatores foi realizada utilizando uma solução de NaOH (hidróxido de sódio) a 1N, adotando-se um intervalo de 6,5 a 7,0.

Após o preenchimento de cada reator, foi fluxionado N<sub>2</sub> (nitrogênio) a fim de remover o O<sub>2</sub> (oxigênio) presente e garantir que a digestão anaeróbia pudesse ocorrer. Os reatores foram incubados em uma estrutura que os manteve sob condições mesofílicas em uma faixa de 35 a 37 °C.

Os reatores montados inicialmente foram preenchidos com líquido ruminal + pasta de resíduos e dejetos suínos + pasta de resíduos, na proporção 10% inóculo + 90% pasta de resíduos. Entretanto, devido a dificuldades nas análises físico-químicas do líquido ruminal, o que poderia comprometer a veracidade dos dados, optou-se por utilizar lodo anaeróbio. Para a montagem dos demais reatores foi necessário coletar mais cinco amostras de fração orgânica.

A nomenclatura utilizada para os reatores pode ser observada na Tabela 7.

Tabela 7. Nomenclatura utilizada para os reatores de acordo com o planejamento experimental

<b>Reator</b>	<b>Proporção (v/v)</b>
Suíno 10	Dejeto suíno 10% + Pasta de resíduos 90%
Branco S10	Dejeto suíno 10% + Água destilada 90%
Suíno 20	Dejeto suíno 20% + Pasta de resíduos 80%
Branco S20	Dejeto suíno 20% + Água destilada 80%
Lodo 10	Lodo anaeróbio 10% + Pasta de resíduos 90%
Branco L10	Lodo anaeróbio 10% + Água destilada 90%
Lodo 20	Lodo anaeróbio 20% + Pasta de resíduos 80%
Branco L20	Lodo anaeróbio 20% + Água destilada 80%

Fonte: Autora, 2016

Os reatores Suíno 10 e Branco S10 foram acompanhados durante 100 dias (início 26 de setembro de 2016) e os reatores Suíno 20, Lodo 10 e Lodo 20, e os seus respectivos brancos, durante 89 dias (início 07 de outubro de 2016), sendo a última coleta de biogás realizada no dia 4 de fevereiro e o encerramento no dia 11 de fevereiro de 2017.

#### 4.2.5 Coleta do metano gerado

A coleta do biogás, em termos de metano gerado, foi realizada através de cromatografia gasosa, sendo as leituras sequenciais feitas por meio de cromatógrafo gasoso

modelo Shimadzu GC-2010- Plus (Figura 6). As amostras foram coletadas utilizando uma seringa, a qual perfurava a tampa de borracha de silicone dos reatores. A fim de remover o ar residual presente na seringa, a mesma era “lavada” três vezes com o próprio gás gerado no *headspace* por cada reator. Em seguida, coletava-se o biogás, o qual era injetado no cromatógrafo. As medições foram realizadas, em média, três vezes por semana.



Figura 6. Cromatógrafo gasoso modelo Shimadzu GC-2010- Plus  
Fonte: Autora, 2016

#### 4.3 Ajuste de medidas

O potencial de conversão do substrato em gás metano foi realizado através do teste da Atividade Metanogênica Específica (AME) o qual quantifica por meio de um ensaio em escala de bancada de laboratório, a taxa máxima de conversão de substratos específicos em metano por unidade de biomassa presente em um lodo anaeróbio (FLORENTINO; BISCARO; PASSOS, 2010).

Para descrever a produção acumulativa de metano são utilizadas funções denominadas de sigmóides (em forma de “S”) as quais apresentam um comportamento crescente em todo intervalo de tempo e não apresentam pontos extremos mas possuem um ponto de inflexão o qual é caracterizado por ocorrer a taxa máxima de variação da função (Figura 7) (FLORENTINO; BISCARO; PASSOS, 2010).

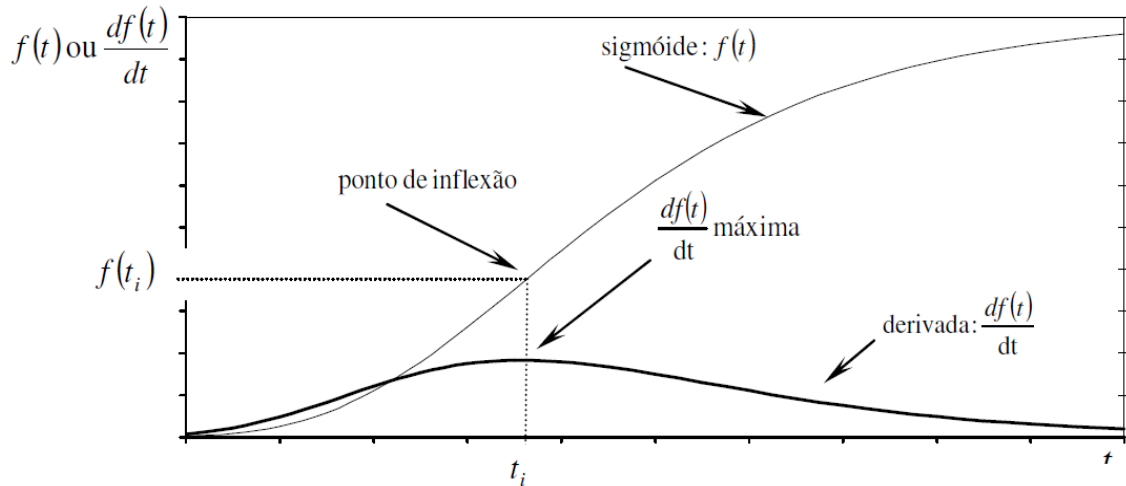


Figura 7. Gráfico representativo de uma função sigmoideal  
 Fonte: FLORENTINO; BISCARO; PASSOS, 2010

Os dados obtidos com a produção de metano foram importados para o programa OriginPro 8 e ajustados à função sigmoideal de Boltzmann (equação 2).

$$y = \frac{A_1 + A_2}{1 + e^{(x-x_0)/dx}} + A_2 \quad (2)$$

Como foi trabalhado com reatores em duplicata foi utilizada a média aritmética dos dados obtidos para a análise dos resultados. Garcia (1989) recomenda que na avaliação e interpretação dos resultados estatísticos obtidos através de experimentação seja realizada uma exploração de todas as informações disponíveis para que seja possível tomar conclusões de forma segura e correta. Dessa forma, foram utilizados o desvio-padrão ( $s$ ) e o coeficiente de variação (CV) como medidas de dispersão para que a análise dos resultados fosse realizada de maneira mais informativa.

O coeficiente de variação, definido como o desvio-padrão expresso em porcentagem da média, é a medida mais utilizada para medir a instabilidade relativa de uma característica ou variável (SAMPAIO, 1998 apud LIMA; NUNES; BEZERRA, 2004). A princípio, considera-se que quanto menor é o CV mais homogêneos são os dados. Segundo Pimentel (1985) apud Garcia (1989), o CV pode ser classificado de acordo com a Tabela 8.

Tabela 8. Classificação CV

CV	Faixa
Baixo	Inferior a 10%
Médio	Entre 10 e 20%
Alto	Entre 20 e 30%
Muito alto	Acima de 30%

Fonte: Adaptado de Pimentel (1985) apud Garcia (1989)

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Geração de resíduos orgânicos

Durante as visitas técnicas realizadas no RU, foi identificado que são servidas aproximadamente 1.500 refeições durante o período do almoço e 1.000 refeições no jantar.

Os resultados obtidos com a pesagem da fração orgânica são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9. Massa da fração orgânica dos resíduos gerados no RU

<b>Dia da semana</b>	<b>Coleta manhã (kg)</b>	<b>Coleta tarde (kg)</b>	<b>Coleta dia (kg)</b>
Segunda	372,40	390,70	763,10
	128,70	221,90	350,60
Terça	119,20	221,70	340,90
	437,70	147,30	585,00
Quarta	337,90	257,40	595,30
	343,70	141,60	485,30
Quinta	200,00	198,00	398,00
	327,70	197,80	525,50
Sexta	386,15	129,30	515,45
	186,10	198,10	384,20
<b>TOTAL</b>	<b>2.839,55</b>	<b>2.103,80</b>	<b>4.943,35</b>

Fonte: Autora, 2016

De acordo com a Tabela 9, no RU são gerados, em média, 494,3 kg/dia de resíduos orgânicos. A maior parte da fração orgânica é proveniente da preparação do almoço e dos restos de alimentos deixados pelos frequentadores durante o jantar do dia anterior (coleta manhã), fazendo com que o descarte de sobras seja bastante significativo. Nesse sentido, fica clara a necessidade de adotar medidas para a redução do desperdício de alimentos.

Apesar de os resíduos secos não serem objetivo deste estudo, durante as visitas ao RU verificou-se que esse tipo de resíduo também apresenta uma geração significativa, podendo ser encaminhado para uma cooperativa de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis ao invés de ser encaminhado para a CTR de Maceió.

### 5.2 Análises físico-químicas

Foram realizadas análises físico-químicas a fim de caracterizar a pasta de resíduos, inóculos e o meio de reação (inicial e final) em relação ao pH, DQO, sólidos suspensos totais e sólidos suspensos voláteis.

#### 5.2.1 Pasta de resíduos

Os resultados obtidos para as análises físico-químicas da pasta de resíduos são apresentados na Tabela 10.



Tabela 10. Resultados das análises físico-químicas para a pasta de resíduos

<b>Amostra</b>	<b>pH</b>	<b>DQO (g/L)</b>	<b>SST (g/L)</b>	<b>SSV(g/L)</b>
Pasta de resíduos	4,01	221,85	98,42	93,52

Fonte: Autora, 2016

Em relação ao pH, os valores encontrados estão na faixa reportada por diferentes autores ao utilizarem resíduos orgânicos como substrato (TAVARES, 2008; SILVA, M. 2014; ELBESHISHY, NAKHLA E HAFEZ, 2012). Observa-se na Tabela 10 que a pasta de resíduos apresentou um pH ácido, fato este que desfavorece a atuação dos microrganismos metanogênicos. Dessa forma, a utilização de um inóculo que possa aumentar o pH do meio e, assim, favorecer a formação de metano, torna-se necessária.

### 5.2.2 Inóculo

As Tabelas 11 e 12 apresentam os valores obtidos para as análises físico-químicas realizadas no lodo anaeróbio e nos dejetos suínos utilizados como inóculos no experimento.

Tabela 11. Resultados das análises físico-químicas para o lodo anaeróbio

<b>Amostra</b>	<b>pH</b>	<b>DQO (g/L)</b>	<b>SST (g/L)</b>	<b>SSV(g/L)</b>
Lodo	6,86	22,91	25,75	17,25

Fonte: Autora, 2016

Tabela 12. Resultados das análises físico-químicas para os dejetos suínos

<b>Amostra</b>	<b>pH</b>	<b>DQO (g/L)</b>	<b>SST (g/L)</b>	<b>SSV(g/L)</b>
Dejetos suínos	6,83	50,61	15,00	12,20

Fonte: Autora, 2016

Verifica-se pelas Tabelas 11 e 12 que o lodo anaeróbio e os dejetos suínos possuem pH próximo ao neutro o que contribui para o desempenho da atividade realizada pelos microrganismos metanogênicos. Os resultados dos ensaios mostram que os valores obtidos se encontram na mesma faixa citada por Elbeshbishy, Nakhla e Hafez (2012), para o lodo anaeróbio.

### 5.2.3 Meios de reação

Ao final do experimento, os reatores foram abertos, sendo medido o pH dos meios de reação. Uma parte do meio de reação foi transferida para um recipiente menor a fim de serem realizadas as análises finais (Figura 8). Após a abertura dos reatores, observou-se que os meios de reação apresentaram uma coloração marrom claro e alguns pedaços de matéria orgânica não digerida como cascas de legumes/frutas.



Figura 8. Recipientes contendo os meios de reação dos reatores

Fonte: Autora, 2017

Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 13 para o início do experimento e Tabela 14 para as análises finais. Como foram utilizados reatores em duplicata, foi considerada a média dos dados.

Tabela 13. Resultados das análises físico-químicas iniciais para os reatores

Reator	pH	DQO (g/L)	SST (g/L)	SSV(g/L)
Lodo 10	6,66	214,08	101,00	95,25
Lodo 20	6,69	219,02	93,00	92,50
Suíno 10	7,31	204,73	80,33	67,00
Suíno 20	6,79	258,56	90,49	85,57

Fonte: Autora, 2016

Tabela 14. Resultados das análises físico-químicas finais para os reatores

Reator	pH	DQO (g/L)	SST (g/L)	SSV(g/L)
Lodo 10	3,35	117,79	97,00	74,33
Lodo 20	3,37	174,54	81,17	78,17
Suíno 10	4,57	159,81	71,17	63,67
Suíno 20	3,96	135,31	70,83	49,67

Fonte: Autora, 2017

Embora tenha sido utilizado inóculo e uma solução de NaOH para manutenção do pH do sistema, os valores obtidos indicam que houve uma acidificação do meio nos reatores incubados com a pasta de resíduos e inóculo. Valores baixos de pH também foram encontrados em um estudo realizado por Gadelha (2005), apresentando valores entre 4 e 5. Esse fato pode ser explicado devido ao acúmulo de ácidos graxos voláteis produzidos na acidogênese e que não foram consumidos pelos microrganismos metanogênicos resultando na diminuição do pH.

Os reatores incubados apenas com água destilada e inóculo mantiveram-se na faixa de atuação dos microrganismos metanogênicos, apresentando pH entre 6,43 e 7,37. Não foi possível realizar as demais análises para os reatores branco pois estes foram quebrados devido ao congelamento dos mesmos.

Para visualizar melhor os dados das outras análises, foram construídos gráficos apresentados nas Figuras 9 a 14.

a. Demanda Química de Oxigênio – DQO

Utilizando a  $DQO_{inicial}$  e a  $DQO_{final}$  verifica-se a eficiência de remoção da matéria orgânica de cada reator. A partir das Figuras 9 e 10 observa-se que ao longo do tempo de operação dos reatores houve uma redução da DQO, indicando que ocorreu consumo da matéria orgânica presente no meio de reação. Para os reatores incubados com lodo anaeróbico, essa redução foi mais acentuada no reator contendo inóculo a 10%, apresentando valor igual a 44,98%. Para o reator Lodo 20, a redução caiu para pouco menos da metade (20,31%) quando comparado ao reator Lodo 10. Já para os reatores incubados com dejetos suínos, a redução foi mais acentuada no Suíno 20 (47,67%) do que no Suíno 10 (21,94%). Quando comparados, o reator incubado com dejetos suínos a 20% foi o que apresentou maior redução da DQO.

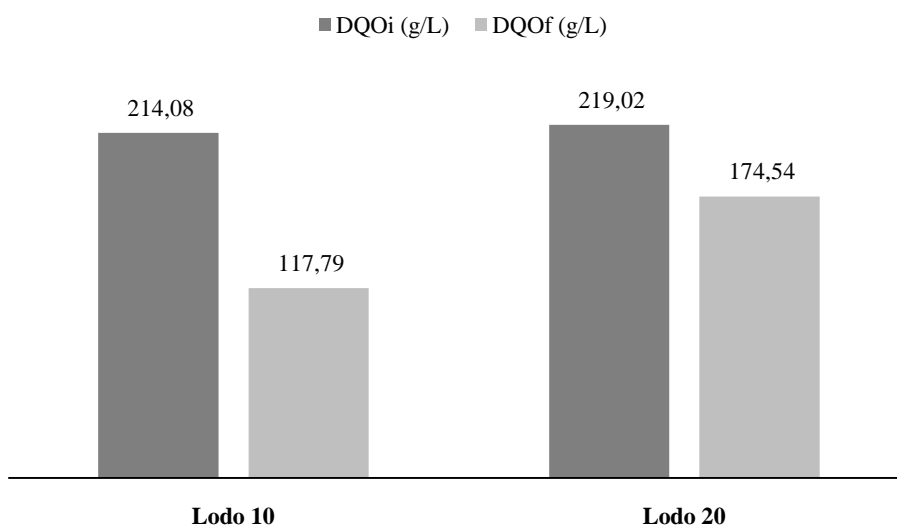


Figura 9. DQO para os reatores Lodo 10 e Lodo 20  
Fonte: Autora, 2017

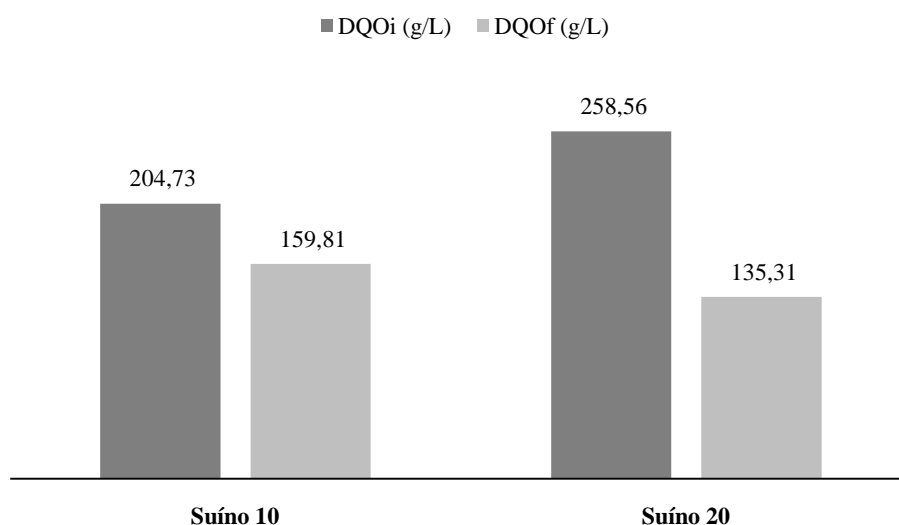


Figura 10. DQO para os reatores Suíno 10 e Suíno 20  
 Fonte: Autora, 2017

#### b. Sólidos Suspensos Totais – SST

Os SST representam os sólidos em suspensão e são divididos em sólidos suspensos voláteis (SSV) que correspondem a fração orgânica do material analisado, e sólidos suspensos fixos (SSF) que correspondem a fração inorgânica. Observa-se nas Figuras 11 e 12 que a redução desse parâmetro não ocorreu de forma expressiva em nenhum dos reatores do experimento. Os reatores inoculados com dejetos suínos apresentaram as maiores reduções, com 11,41% e 21,72% para Suíno 10 e Suíno 20, respectivamente. Já os inoculados com lodo anaeróbio, apresentaram reduções de 3,96% e 12,37% para Lodo 10 e Lodo 20, respectivamente.

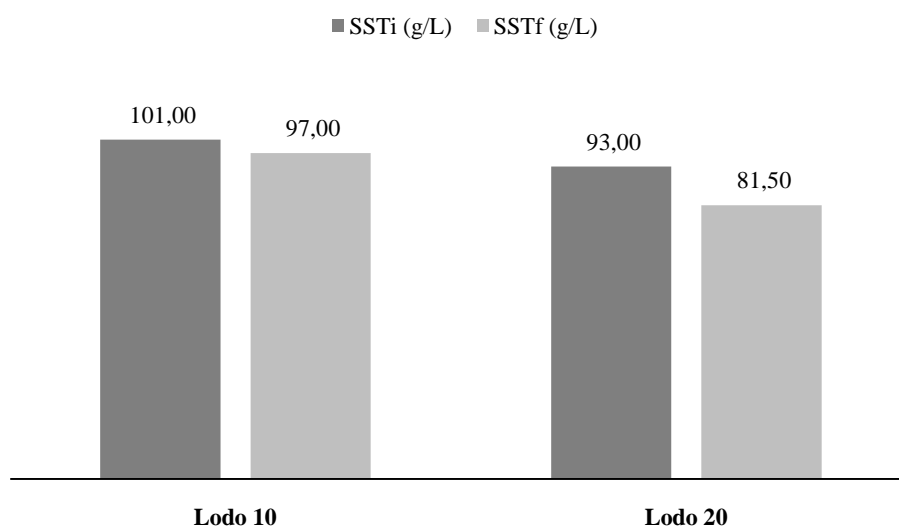


Figura 11. SST para os reatores Lodo 10 e Lodo 20  
 Fonte: Autora, 2017

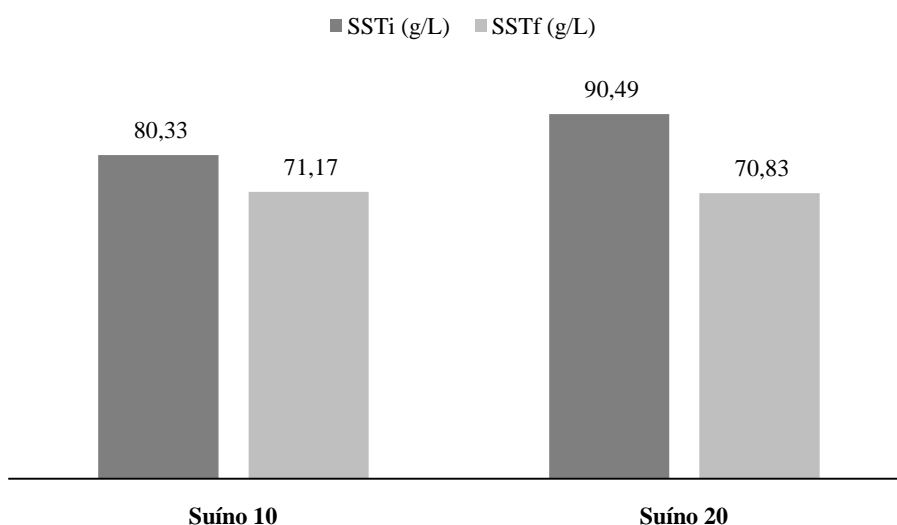


Figura 12. SST para os reatores Suíno 10 e Suíno 20  
Fonte: Autora, 2017

#### c. Sólidos Suspensos Voláteis – SSV

Os sólidos suspensos voláteis estão relacionados a matéria orgânica presente na amostra. Analisando as Figuras 13 e 14, verifica-se que o reator que apresentou o maior percentual de degradação foi o inoculado com dejetos suínos a 20% (Suíno 20), com 41,96%, seguido dos reatores inoculados com lodo anaeróbico: 21,96%, para Lodo 10 e 15,50% para Lodo 20.

Diferentemente dos demais reatores, o inoculado com dejetos suínos a 10% apresentou um percentual de degradação inferior (4,98%). Tal fato pode ser atribuído ao baixo teor de nutrientes, bem como a relação substrato/inóculo.

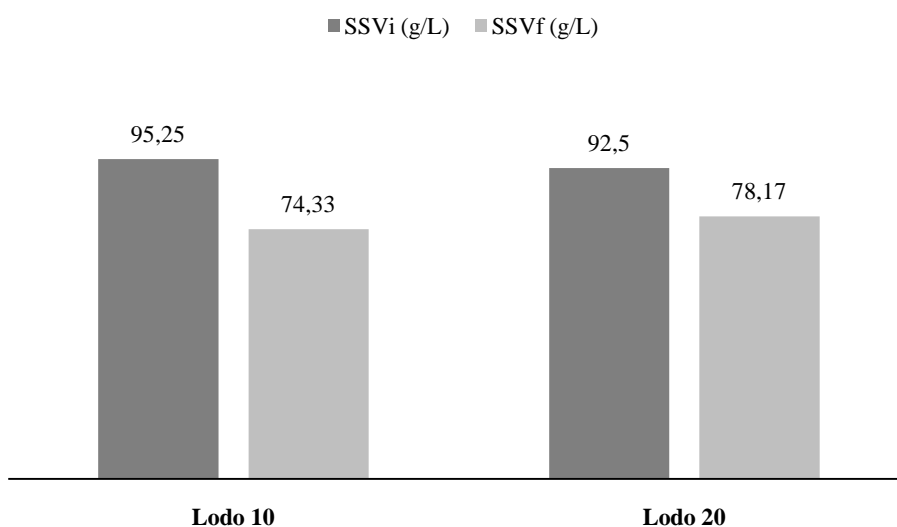


Figura 13. SSV para os reatores Lodo 10 e Lodo 20  
Fonte: Autora, 2017.

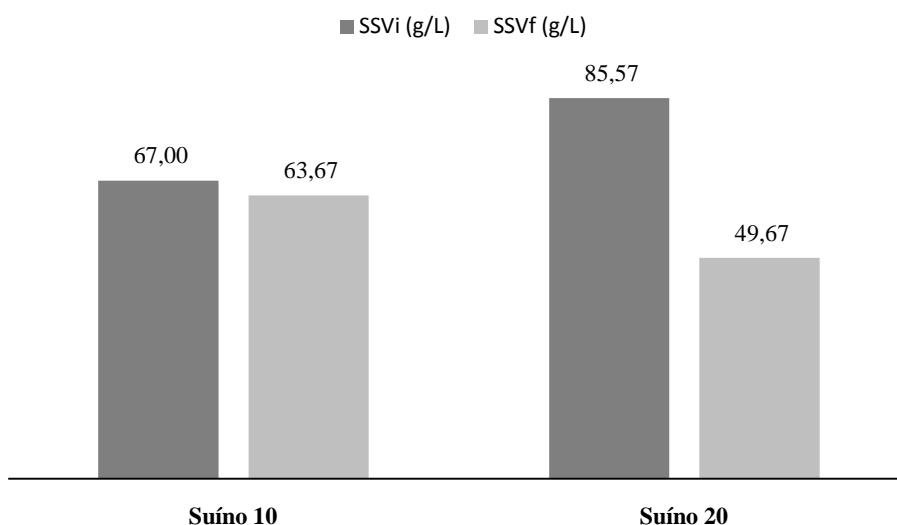


Figura 14. SSV para os reatores Suíno 10 e Suíno 20  
Fonte: Autora, 2017

Em diversos estudos encontrados na literatura diferentes autores (BARCELOS, 2009; SCHULZ, 2015; CARRILHO, 2012) analisaram o parâmetro sólidos voláteis totais ao contrário desta pesquisa. Ambos os parâmetros se referem a parcela de sólidos totais volatilizada durante o ensaio, sendo diferenciados pois no ensaio de SSV utiliza-se uma membrana de fibra de vidro com porosidade  $1,2\mu\text{m}$ .

A pesquisa realizada por Barcelos (2009), a qual investigou o potencial de aplicação do esterco suíno, bovino e o produto do rúmen bovino como inóculos na digestão anaeróbia da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos utilizando reatores em escala de bancada, obteve como resultados de SVT percentuais de degradação da matéria orgânica de 42,64% e 52,43% utilizando esterco suíno, valores próximos ao apresentado pelo reator Suíno 20.

Em relação aos reatores inoculados com lodo anaeróbio, foram encontrados valores de degradação em massa de SVT na mesma faixa (15,4g a 23,3g) do estudo realizado por Gadelha (2005), o qual utilizou diferentes relações entre a fração orgânica e o inóculo.

### 5.3 Produção de metano

A produção de metano foi acompanhada através de cromatografia gasosa. Os reatores constituídos por pasta de resíduos e inóculo suíno a 10% e o seu respectivo branco, foram acompanhados por 100 dias, sendo os demais reatores acompanhados por 89 dias.

#### 5.3.1 Produção acumulada de metano

A partir dos dados apresentados na Tabela 15 observa-se que os reatores Suíno 20 e Lodo 20 possuem  $CV < 10\%$ , ou seja, os dados apresentam baixa dispersão em relação a média. Para o reator Lodo 10 verifica-se que o coeficiente de variação é maior que 30%,

apresentando variabilidade dos dados muito alta em relação a média. Desse modo, para análise da produção acumulada de metano foi utilizada a média da produção dos reatores Suíno 20 e Lodo 20, porém, para os reatores constituídos por pasta de resíduos e lodo anaeróbio a 10%, a análise foi realizada individualmente. Como a réplica do reator Suíno 10 foi perdida ao longo do experimento devido a alta produção de gases, o que fez com que a tampa fosse rompida, foi utilizado o resultado de apenas um reator.

Tabela 15. Análise estatística dos reatores

Reator	Suíno10		Suíno 20		Lodo 10		Lodo 20	
	A	B	A	B	A	B	A	B
Prod. acum. CH4 (mL)	298.838,1	-	218.958,3	210.496,0	227.288,3	145.618,9	174.074,8	170.304,3
Média prod. acumu. CH4 (mL)	298.838,1		214.727,1		186.453,62		172.189,6	
Desvio-padrão (s)	-		5.983,7		57.748,91		2.666,2	
CV (%)	-		2,8%		30,9%		1,5%	

Fonte: Autora, 2017

Os dados obtidos com a produção acumulada de metano foram ajustados a função sigmoidal de Boltzman através do programa OriginPro8. Os ajustes podem ser observados nas Figuras 15 a 19.

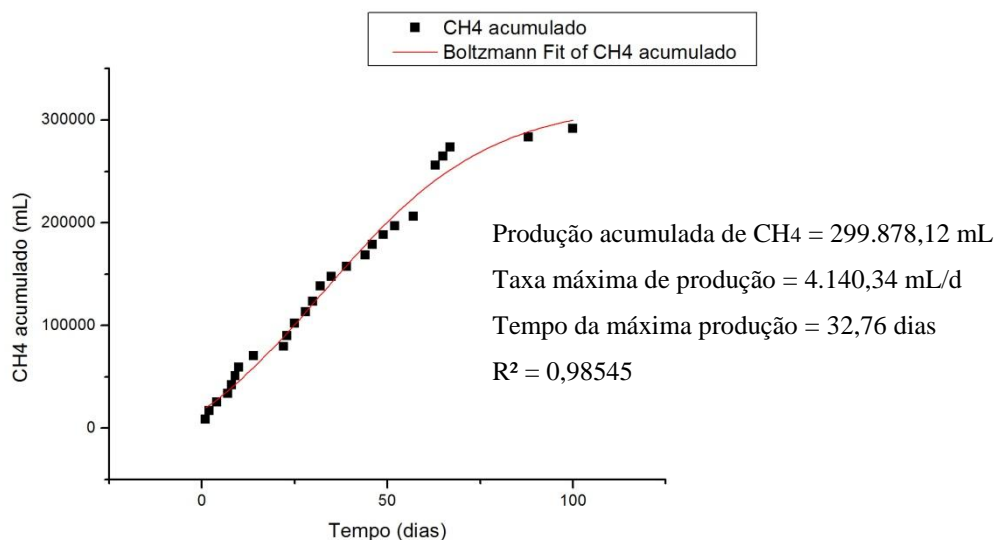


Figura 15. Produção acumulada de metano ajustada ao modelo de Boltzmann ao reator Suíno 10  
Fonte: Autora, 2017

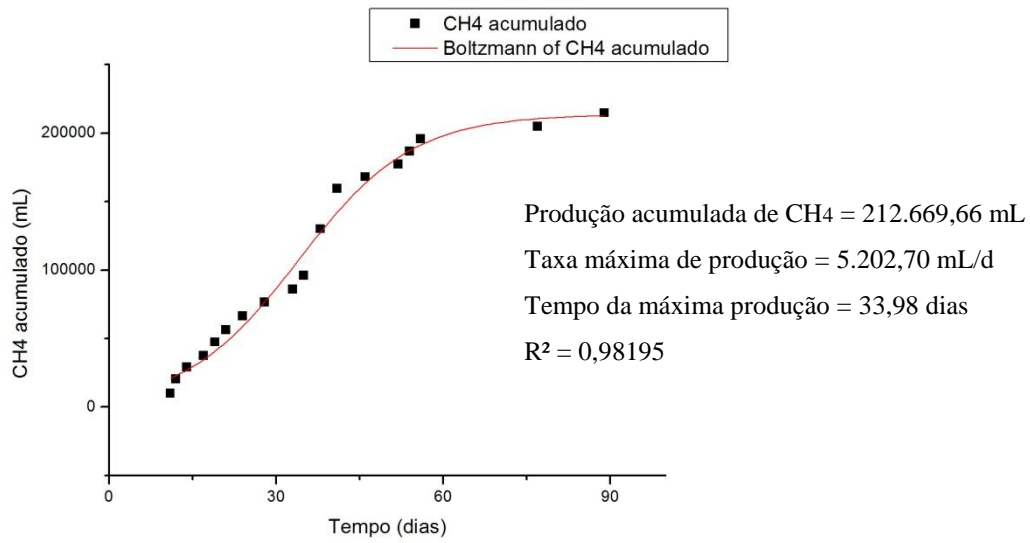


Figura 16. Produção acumulada de metano ajustada ao modelo de Boltzmann ao reator Suíno 20  
 Fonte: Autora, 2017

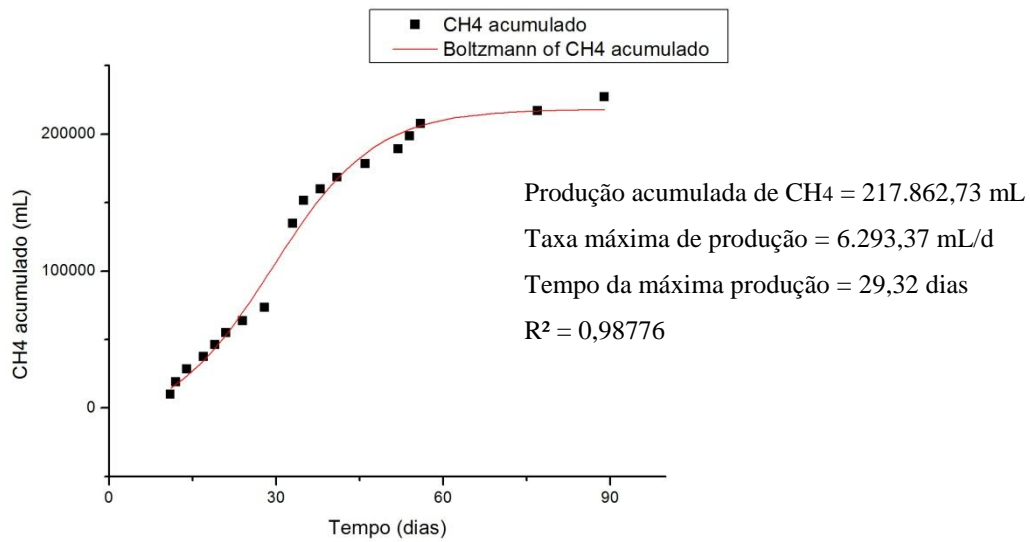


Figura 17. Produção acumulada de metano ajustada ao modelo de Boltzmann ao reator Lodo 10A  
 Fonte: Autora, 2017



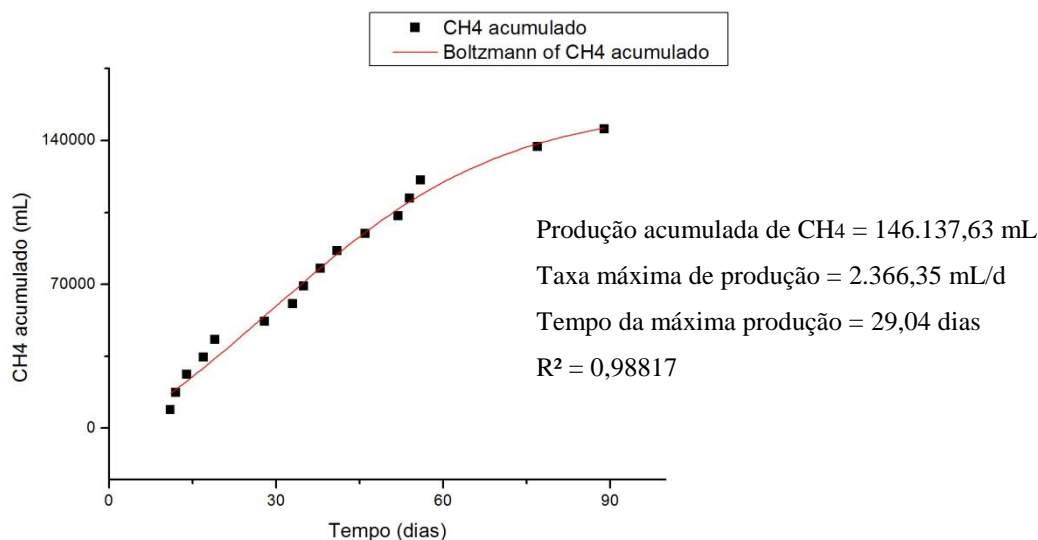


Figura 18. Produção acumulada de metano ajustada ao modelo de Boltzmann ao reator Lodo 10B  
 Fonte: Autora, 2017

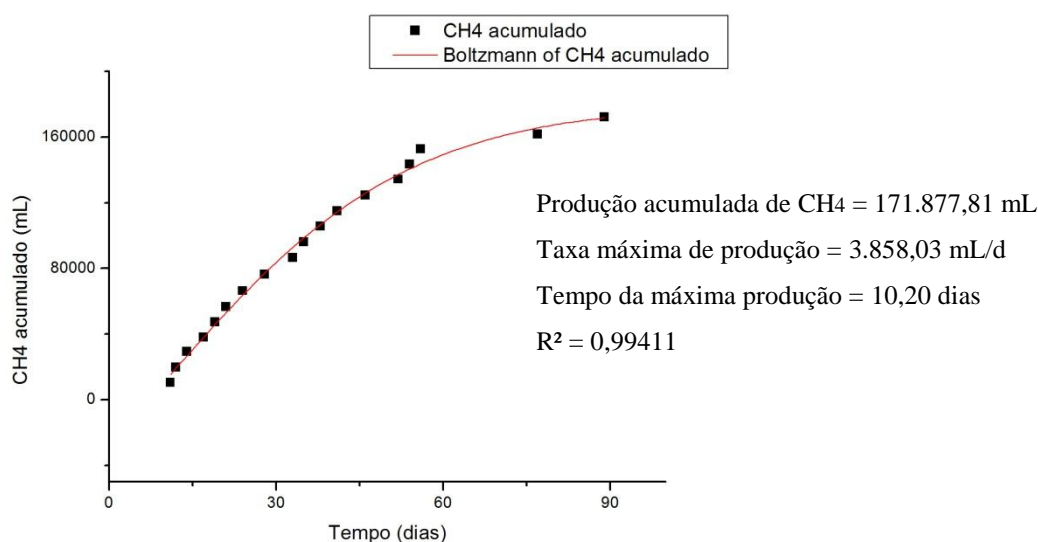


Figura 19. Produção acumulada de metano ajustada ao modelo de Boltzmann ao reator Lodo 20  
 Fonte: Autora, 2017

Para os reatores Suíno 10 as leituras foram realizadas a partir do segundo dia de incubação. Já para os demais, as leituras ocorreram a partir do décimo primeiro dia de incubação devido a problemas técnicos do cromatógrafo. A produção de metano foi observada já no segundo dia de incubação para os reatores Suíno 10 indicando que não houve fase *lag* (tempo necessário para adaptação dos microrganismos ao substrato e iniciar a produção de metano). Como só foi possível realizar as leituras a partir do décimo primeiro dia para os reatores Suíno 20, Lodo 10A, Lodo 10B e Lodo 20, não há como afirmar se a fase *lag* ocorreu ou não.

O ajuste para os reatores branco pode ser observado na Tabela 16.

Tabela 16. Ajuste para os reatores branco

<b>Reator</b>	<b>Produção acumulada (mL)</b>	<b>Taxa máxima (mL/d)</b>	<b>Tempo taxa máxima (dia)</b>
Branco S10	178.749,58	2.826,86	39,43
Branco S20	-	-	-
Branco L10	3.143.974,80	62.786,39	36,45
Branco L20	4.502.249,95	97.110,33	34,76

Fonte: Autora, 2017

Observa-se através da Tabela 16 e das Figuras 15 a 19 que tanto a produção acumulada de metano quanto a taxa máxima de produção foram maiores para os reatores branco, com exceção do reator Branco S10 (menor). Tal fato pode ser explicado pela possível sobrecarga orgânica resultante da matéria orgânica presente no inóculo e da fração orgânica dos resíduos sólidos gerados no RU, resultando em menores produções para os reatores constituídos por inóculo + pasta de resíduos.

Por outro lado, o tempo para atingir a taxa máxima foi menor para os reatores preenchidos com inóculo + pasta de resíduos indicando que o consórcio bacteriano ajudou a acelerar a degradação da matéria orgânica levando o reator a atingir a taxa máxima em um menor tempo. Não foi possível realizar o ajuste para o reator Branco S20 uma vez que este não atingiu a taxa máxima de produção de metano para o período analisado.

A produção acumulada de metano para os reatores preenchidos com inóculo + pasta de resíduos variou de 146 mil mL a 299 mil mL, aproximadamente. Observa-se na Figura 20 que a produção foi maior para os reatores constituídos por inóculo a 10%, com exceção do reator Lodo 10B, o qual apresentou a menor produção (146.137,63 mL de CH<sub>4</sub>), podendo ser atribuído ao fato de que as arqueas metanogênicas podem ter utilizado a matéria orgânica para síntese celular e não para a produção de metano. Outro fator que pode ter contribuído para as variações na geração de metano é a composição da fração orgânica utilizada nos reatores já que foi preciso realizar novas coletas para a montagem.

Para os reatores preenchidos com inóculo a 20%, os valores de produção acumulada foram menores. Esse resultado pode ser atribuído a maior quantidade de resíduo em relação ao inóculo ocasionando em uma sobrecarga orgânica no sistema, dificultando a degradação da matéria orgânica pelos microrganismos presentes e, conseqüentemente, diminuindo a produção de metano.

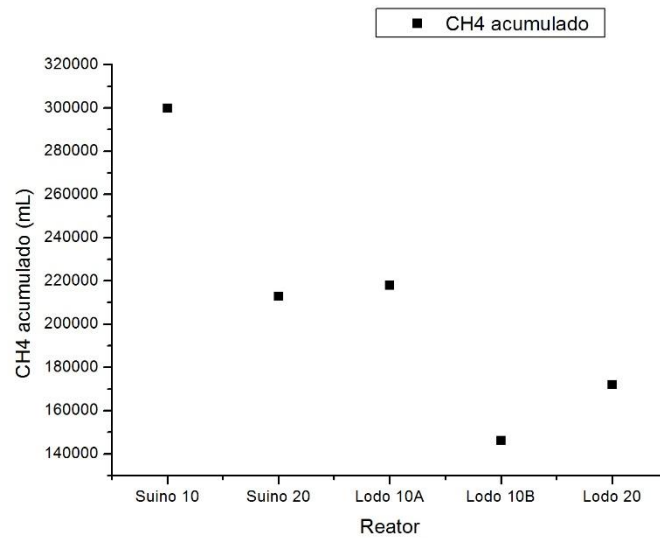


Figura 20. Relação entre a produção acumulada de metano, inóculo e porcentagem  
Fonte: Autora, 2017

A Figura 21 apresenta o perfil da produção acumulada de metano para os reatores do estudo.

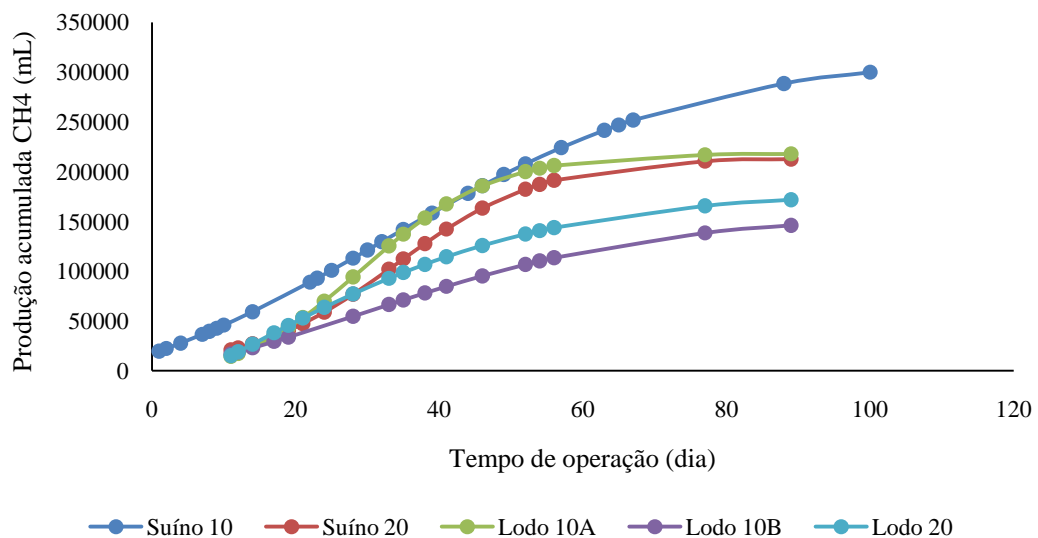


Figura 21. Perfil da produção acumulada de metano para os reatores estudados  
Fonte: Autora, 2017

Apesar de vários estudos serem desenvolvidos nessa área ainda não existe um consenso da proporção ideal entre resíduo e inóculo. Sabe-se que a interação entre o substrato e os microrganismos aumenta com o aumento do teor de sólidos do resíduo a ser digerido, sendo o processo inibido com uma alta concentração de matéria orgânica.

Em relação ao tempo necessário para atingir a taxa máxima de produção de metano (Figura 22) os reatores Suíno 10 e Suíno 20 não apresentaram variação elevada (CV = 2,59%), supondo que a taxa máxima de metano se daria no mesmo tempo independente da porcentagem de inóculo utilizada. Ao comparar o tempo para os reatores Lodo 10A e Lodo

10B com o reator Lodo 20, o mesmo não ocorre ( $CV = 47,96\%$ ), indicando que para esse tipo de inóculo a porcentagem utilizada influência no tempo necessário para atingir a taxa máxima de produção.

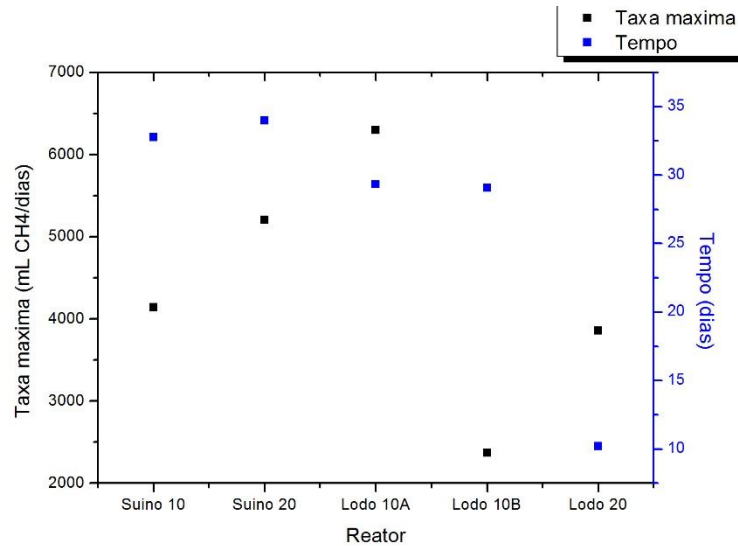


Figura 22. Relação entre a taxa máxima de produção de metano e o tempo  
Fonte: Autora, 2017

O rendimento é um critério importante na avaliação do processo de produção biológica de metano. Tal critério consiste na quantidade de metano produzido em função dos SSV de cada reator. Foram obtidos rendimentos entre 1,53 e 4,48 L CH<sub>4</sub>/gSSV, sendo os maiores valores encontrados para os reatores preenchidos com inóculo de dejetos suínos, conforme Figura 23.

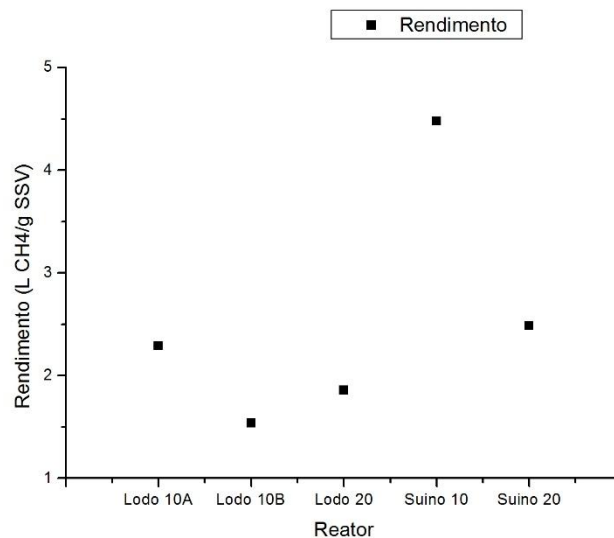


Figura 23. Rendimento em metano  
Fonte: Autora, 2017

### 5.3.2 Avaliação da atividade metanogênica

A partir da taxa máxima de variação de produção de metano e do parâmetro SSV de cada inóculo foi determinada a atividade metanogênica específica dos reatores analisados. De acordo com a Figura 24, os reatores inoculados a 10% apresentaram a melhor capacidade das bactérias metanogênicas em converter a fração orgânica dos resíduos sólidos gerados no RU em metano, com exceção do reator Lodo 10B, sendo o reator Lodo 10A o que apresentou o melhor resultado (3,65 L CH<sub>4</sub>/gSSV.d).

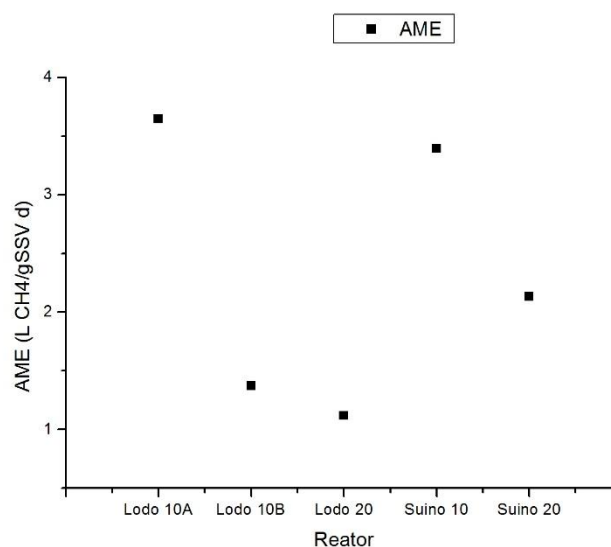


Figura 24. Atividade metanogênica específica para os reatores estudados  
Fonte: Autora, 2017

Comportamento semelhante foi relatado por Poetsch e Koetz (1998), ao tratarem o lodo de uma indústria de vegetais, no qual os maiores valores para AME foram encontrados para concentrações menores de biomassa em gSSV/L.

Monteggia e Beal (1994) apud Poetsch e Koetz (1998), encontraram valores mais baixos para a AME de lodos de cervejaria, de 0,50 a 0,55 L CH<sub>4</sub>/gSSV.d e valores próximos de 0,16 a 0,18 L CH<sub>4</sub>/gSSV.d para lodo de efluentes de fábrica de papel e celulose e lodo de efluente a base de soro de leite.

Valores menores também foram encontrados por Brack (2012) ao analisar a produção de biogás e metano de substratos colagênicos utilizando o teste da AME. A autora encontrou valores entre 0,7 e 39,34 mL CH<sub>4</sub>/gSSV.d.

A Figura 25 apresenta um perfil da atividade metanogênica específica de cada reator. Observa-se que os reatores inoculados a 10%, com exceção do Lodo 10B, atingiram os valores mais altas em comparação aos demais reatores, condizendo com as curvas apresentadas da produção acumulada de metano (Figura 21). Nota-se ainda que a atividade metanogênica demonstrou ser mais intensa nestes reatores.

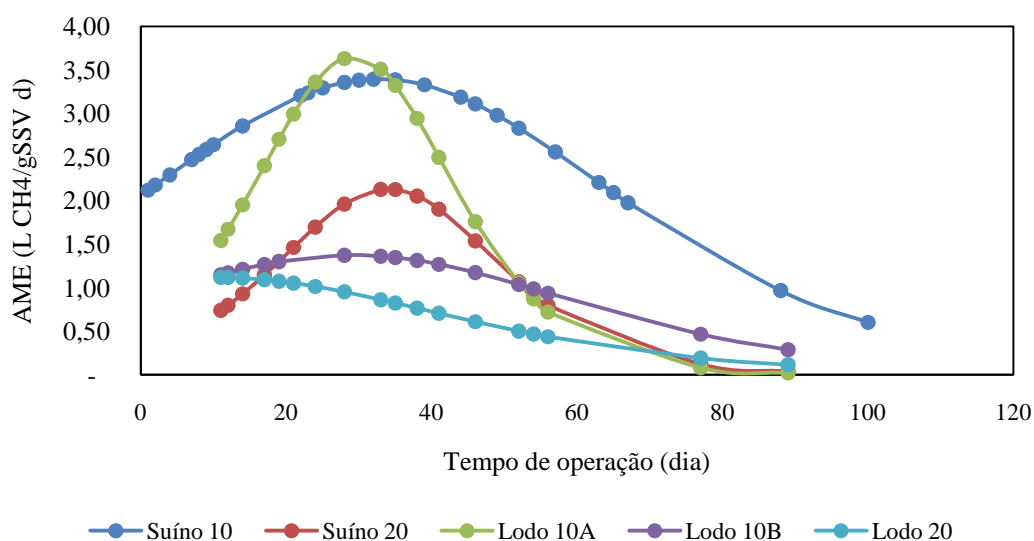


Figura 25. Perfil da AME para cada reator  
Fonte: Autora, 2017

#### 5.4 Comparação do desempenho entre os reatores

Os reatores analisados no presente estudo possuíam características de incubação diferentes, o que resultou em variações na geração de metano ao final do processo. Buscou-se variar a porcentagem de inóculo, bem como da pasta de resíduos, a fim de verificar a sua influência na geração de metano. Os dados encontrados (Tabela 17) indicam que o reator Suíno 10 apresentou a maior geração de metano, contudo, como só foi possível coletar o metano gerado pelos reatores Suíno 20, Lodo 10A, Lodo 10B e Lodo 20 a partir do 11<sup>a</sup> dia de operação, não foi possível identificar em qual dia foi iniciada a produção de metano para esses reatores. Dessa forma, fica impossibilitado realizar comparação efetiva dos resultados obtidos.

Tabela 17. Características da inoculação de cada reator e a produção acumulada ao final do experimento

Reator	Tempo operação (dias)	Pasta de resíduos (kg)	Produção acumulada (L CH <sub>4</sub> )	CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> /kg PR <sup>2</sup> )
Suíno 10	100	0,52	299,88	0,57
Suíno 20	89	0,46	212,66	0,46
Lodo 10A	89	0,52	217,86	0,42
Lodo 10B	89	0,52	146,14	0,28
Lodo 20	89	0,46	171,88	0,37

Fonte: Autora, 2017

Apesar dos reatores constituídos por inóculo suíno a 10% apresentarem tempo maior para a degradação da matéria orgânica do que os demais, em alguns momentos os tempos de

<sup>2</sup> Pasta de resíduos

operação coincidiram, como no 14º dia e 52º dia. Analisando os primeiros 14 dias de operação (Tabela 18), verifica-se que o reator Suíno 10 já apresentava o melhor desempenho em relação a geração de metano.

Tabela 18. Comparação entre os reatores em relação a produção acumulada de metano nos primeiros 14 dias de operação

<b>Reator</b>	<b>Produção acumulada (L CH<sub>4</sub>)</b>	<b>Rendimento (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg PR)</b>
Suíno 10	59,33	0,11
Suíno 20	27,14	0,06
Lodo 10A	23,59	0,05
Lodo 10B	23,07	0,04
Lodo 20	26,74	0,06

Fonte: Autora, 2017

Excluindo-se o reator Suíno 10, observa-se através da Tabela 18 que o reator inoculado com dejetos suínos a 20% apresentou produção acumulada de metano maior, porém próxima ao valor encontrado para o reator Lodo 20. Para essa situação, a maior quantidade de matéria orgânica presente no sistema pode ter favorecido a produção de metano, ao contrário do que foi apresentado para a análise do tempo de operação. Além disso, ambos os reatores apresentaram o melhor desempenho em m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg PR.

Ao comparar o desempenho dos reatores a partir do 52ª dia, verifica-se, através da Tabela 19, que o reator Suíno 10 continua a apresentar produção acumulada de metano mais expressiva. Em segundo lugar, tem-se o reator Lodo 10A. No entanto, o mesmo não ocorreu para a sua réplica, sendo a que apresentou menor desempenho. Para tanto, pode ser que a massa microbiana responsável pela síntese de metano tenha diminuído devido a alguma falha no mecanismo regulador do processo, como por exemplo, a redução do pH.

Tabela 19. Comparação entre os reatores em relação a produção acumulada de metano nos primeiros 52 dias de operação

<b>Reator</b>	<b>Produção acumulada (L CH<sub>4</sub>)</b>	<b>Rendimento (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg PR)</b>
Suíno 10	207,76	0,40
Suíno 20	182,40	0,39
Lodo 10A	200,13	0,43
Lodo 10B	106,77	0,23
Lodo 20	137,37	0,30

Fonte: Autora, 2017

Considerando a geração diária de resíduos orgânicos no RU (Tabela 20), tem-se uma produção de metano de 285,06 m<sup>3</sup> para o reator Suíno 10, seguido do reator Suíno 20 (228,52 m<sup>3</sup>).

Tabela 20. Geração de metano considerando a geração diária de resíduos orgânicos no RU

<b>Reator</b>	<b>m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub></b>
Suíno 10	285,06
Suíno 20	228,52
Lodo 10A	207,10
Lodo 10B	138,92
Lodo 20	184,69

Fonte: Autora, 2017

As alterações nos tipos e porcentagens de inóculo e as diferentes amostras de substrato coletadas e utilizadas em cada reator resultaram em valores distintos para os parâmetros analisados neste estudo (Tabela 13 e Tabela 14).

Os reatores apresentaram eficiência de remoção de DQO na faixa de 20 a 48%, ficando abaixo do encontrado por Reis (2012), Souto (2005) e Leite, Lopes e Prasad (2001): 70 a 90%. No entanto, o tempo de operação dos reatores foi superior ao desta pesquisa, sendo iguais a 600, 95 e 365 dias, respectivamente.

Em todos os reatores observa-se a redução nos valores de SST (mínimo 3,96% para o reator Lodo 10 e máxima 21,72% para o reator Suíno 20) e de SSV (mínimo 4,98 % para o reator Suíno 10 e máxima 41,96% para o reator Suíno 20), o que coincide com a degradação da matéria orgânica identificada no processo de digestão anaeróbia.

Verifica-se que, a partir da Tabela 14, a redução do pH ao final do estudo, ficou fora da faixa ideal proposta por Foresti (1997): 6,6 e 7,4. No entanto, Schulz (2015), tratando a fração orgânica de resíduos sólidos urbanos encontrou valores entre 5,5 e 5,6 de pH ao final do processo, sendo ainda registrada a produção de biogás.

Segundo Aquino e Chernicharo (2005) em um reator estável, operando sob condições ótimas de crescimento microbiano, e na ausência de fatores de estresse, as etapas acidogênica, acetogênica e metanogênica ocorrerão em passos similares, de forma a haver uma equalização nas taxas de produção e consumo dos compostos intermediários, não havendo, nesse caso, acumulação significativa de ácidos graxos voláteis e o processo deveria operar próximo às condições de equilíbrio dinâmico. Apesar de não ter sido realizadas análises de AGV supõe-se que o acúmulo desses compostos no sistema tenha sido responsável pela redução nos valores de pH ao final do experimento.

Em relação ao rendimento em metano, Elbeshbishy, Nakhla e Hafez (2012), encontraram melhores taxas para menores relações resíduo/inóculo, em conformidade com este estudo, porém valores inferiores, ficando entre 440 e 1.400 mL CH<sub>4</sub>/gSSV<sub>sub</sub> para relações resíduo/inóculo de 1; 0,5 e 0,25 gSTV<sub>resíduo</sub>.gSTV<sub>inóculo</sub><sup>-1</sup>. O mesmo ocorreu para AME, onde os autores encontraram valores na faixa de 9-72 mL CH<sub>4</sub>/gSSV.d.



## 5.5 Proposta de utilização do metano gerado

### a. Combustão direta

No RU são consumidos semanalmente 6 botijões GLP de 45 kg, equivalendo a 1.080 kg de GLP por mês. Considerando que 1 m<sup>3</sup> de biogás equivale a 0,92 kg de GLP (POMPERMAYER, 2000 apud SALOMON, 2007), a demanda mensal em termos de biogás é igual a 1.173,91 m<sup>3</sup>.

$$1.080 \frac{\text{kg GLP}}{\text{mês}} \times \frac{1 \text{ m}^3 \text{ biogás}}{0,92 \text{ kg GLP}} = 1.173,91 \text{ m}^3 \text{ biogás/mês}$$

De acordo com Transoliveira Gás (2017), o preço de um botijão P45 kg custa R\$285,00 reais. Sendo assim, estima-se que seriam economizados R\$1.710,00 mensalmente.

Considerando o percentual de metano presente nos reatores, a demanda mensal de metano no RU seria de até 383,7 m<sup>3</sup> (Tabela 21).

Tabela 21. Demanda mensal de metano no RU

<b>Reator</b>	<b>Demanda CH<sub>4</sub> (m<sup>3</sup>/mês)</b>
Suíno 10	147,91
Suíno 20	383,87
Lodo 10A	328,70
Lodo 10B	324,78
Lodo 20	158,48

Fonte: Autora, 2017

A partir da Tabela 22, observa-se que o metano produzido através da digestão anaeróbia da fração orgânica dos resíduos sólidos gerados no restaurante poderia atender até 2 vezes a demanda mensal (Suíno 10).

Tabela 22. Demanda suprida no RU

<b>Reator</b>	<b>Demanda suprida</b>
Suíno 10	192,72%
Suíno 20	59,53%
Lodo 10A	63,00%
Lodo 10B	40,53%
Lodo 20	116,54%

Fonte: Autora, 2017

### b. Conversão em energia elétrica

Para estimar a geração de energia elétrica a partir da fração orgânica dos resíduos sólidos do RU, considera-se que o poder calorífico inferior do metano é igual a 10,5 kWh/m<sup>3</sup> (LMOP, 2004 apud GONÇALVES, 2007), a eficiência de conversão em energia elétrica do

conjunto motor-gerador é igual a 30% e a eficiência na captação do biogás é igual a 80%. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 23.

Tabela 23. Potência gerada

<b>Reator</b>	<b>Energia (kWh/mês)</b>	<b>Potência (kW)</b>
Suíno 10	718,34	0,609
Suíno 20	575,86	0,488
Lodo 10A	521,88	0,443
Lodo 10B	350,07	0,297
Lodo 20	465,43	0,395

Fonte: Autora, 2017

O consumo médio de eletricidade no *Campus* A.C. Simões, contando com o Hospital Universitário, é de 942.610,00 kWh (ELETROBRÁS, 2016 apud FRIAS, 2016). Sendo assim, o metano gerado tem potencial para atender apenas 0,08% da demanda energética da UFAL, o que não seria viável devido ao baixo valor suprido. Ao considerar um custo de R\$0,70/kWh (ELETROBRÁS, 2016 apud FRIAS, 2016), proporciona-se uma redução dos custos em até R\$502,84 reais por mês.

## 6 CONCLUSÃO

A partir da realização deste trabalho foi possível chegar as seguintes conclusões:

- As análises físico-químicas realizadas na fração orgânica indicaram a acidez do material, bem como o alto teor de sólidos suspensos e de matéria orgânica. Para os inóculos utilizados, dejetos suínos e lodo anaeróbio, foi verificado valores próximos ao da neutralidade para o pH, o que favorece o processo da digestão anaeróbia.
- A produção acumulada de metano variou de 146 mil a 299 mil mL para os reatores preenchidos com inóculo e pasta de resíduos, sendo os melhores resultados apresentados pelos reatores inoculados a 10%, com exceção do reator Lodo 10B.
- O inóculo dejetos suínos adaptou-se de imediato a pasta de resíduos, visto que foi verificada a produção de metano já nos primeiros dias de operação.
- Os reatores inoculados com pasta de resíduos apresentaram menores valores para a produção acumulada de CH<sub>4</sub> quando comparados aos reatores branco, o que pode estar relacionado ao excesso de matéria orgânica, dificultando a ação dos microrganismos.
- Os reatores preenchidos apenas com lodo anaeróbio e água destilada apresentaram maiores valores para a produção acumulada de metano. No entanto, quando associados a pasta de resíduos, não apresentaram desempenho tão satisfatório em comparação aos reatores preenchidos com dejetos suínos, levando a acreditar que o substrato provocou alterações no comportamento dos microrganismos.
- O tempo para atingir a taxa máxima foi menor para os reatores preenchidos com inóculo + pasta de resíduos indicando que o consórcio bacteriano ajudou a acelerar a degradação da matéria orgânica levando os reatores a atingirem a taxa máxima em um menor tempo.
- Os maiores valores para AME foram encontrados para concentrações menores de biomassa em gSSV/L (reatores Lodo 10A e Suíno 10).
- Apesar dos inóculos auxiliarem na degradação da matéria orgânica fazendo com que os reatores preenchidos com pasta de resíduos atingissem a máxima taxa em um menor tempo, após o período de operação, os meios de reação ainda apresentaram valores elevados de SSV.
- As alterações nos tipos e porcentagens de inóculo e as diferentes amostras de substrato coletadas e utilizados em cada reator resultaram em valores distintos para os parâmetros analisados neste estudo.

- A fração orgânica dos resíduos sólidos gerados no restaurante universitário da Universidade Federal de Alagoas, *Campus A. C. Simões*, apresenta potencial para geração de biogás e, conseqüentemente, de metano, conforme dados apresentados.
- O metano gerado a partir da degradação anaeróbia da fração orgânica dos resíduos sólidos gerados no RU poderia ser utilizado como complemento da demanda por botijões GLP ou em substituição dos botijões, tendo em vista que poderia atender até 2 vezes a demanda mensal do restaurante. Já para a geração de energia elétrica, suprimiria apenas 0,08%, não sendo viável a utilização para este fim.

## 7 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para a otimização do sistema de produção de metano em reator em batelada, recomenda-se que:

- Realizar homogeneização da amostra resíduos para que ela seja mais representativa, através do método quarteamento.
- Utilizar recipientes de plástico/silicone como reatores para evitar a quebra dos mesmos devido a possíveis congelamentos.
- Utilizar um sistema de agitação a fim de homogeneizar o meio e, conseqüentemente, auxiliar a ação da biomassa microbiana no substrato.
- Realizar pré-incubação dos inóculos para remover a matéria orgânica remanescente, evitando possível sobrecarga de matéria orgânica no sistema.
- Realizar o experimento em triplicata para que seja avaliada a reprodutibilidade do método utilizado e obter resultados estatísticos representativos.
- Realizar testes com proporções menores que 10% para o inóculo a fim de verificar a influência na produção de metano.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 10004 –Resíduos sólidos – Classificação*. Rio de Janeiro, 2004.
- ACHARYA, C. R.; MUKUNDAN, U.; *Effect of Substrate Variation on Biomethane Production at Pilot Scale*. 2015. Artigo. Disponível em: < <http://www.biosciencejournals.com/>>. Acesso em: Novembro de 2016
- ABRELPE. Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. *Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil*. 2015. Disponível em: < <http://www.abrelpe.org.br/>>. Acesso em: Julho de 2017.
- ALBUQUERQUE et al. *Gestão de resíduos sólidos na Universidade Federal de Santa Catarina: os programas desenvolvidos pela coordenadoria de gestão ambiental*. In: COLOQUIO INTERNACIONAL SOBRE GESTIÒN UNIVERSITARIA EM AMÉRICA DEL SUR, 10., 2010, Mar del Plata.
- ALVES, I. R. F. S. *Análise Experimental do Potencial de Geração de Biogás em Resíduos Sólidos Urbanos*. 2008. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2008. Disponível em: < <http://www.repositorio.ufpe.br/> >. Acesso em: Janeiro de 2016.
- ALVES, L. C.; CAMMAROTA, M. C.; FRANCA, F. P. *Inibição de lodo biológico anaeróbio por constituintes de efluente de laboratório de controle de poluição*. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v. 10, n. 3, p. 236-242, Sept. 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/>>. Acesso em: Maio de 2017.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. *Atlas de energia elétrica do Brasil*. 2ª ed. 2005. Disponível em:< <http://www2.aneel.gov.br/>>. Acesso em: Março de 2016.
- AQUINO, S. F.; CHERNICHARO, C. A. L. *Acúmulo de ácidos graxos voláteis (AGVs) em reatores anaeróbios sob estresse: causas e estratégias de controle*. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro , v. 10, n. 2, p. 152-161, June 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/>>. Acesso em: Abril de 2017.
- BARCELOS, B. R. *Avaliação de diferentes inóculos na digestão anaeróbia da fração orgânica de resíduos sólidos domésticos*. 2009. 75 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Brasília. 2009. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/>>. Acesso em: Março de 2016.
- BRACK, L. B. *Determinação da atividade metanogênica específica (AME) através da biodigestão anaeróbia de materiais colagênicos*. 2012. 44 f. Monografia (Graduação em Engenharia Química) – Escola de Engenharia. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2012.
- BRASIL. Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: < <http://www.planalto.gov.br/>>. Acesso em: Março de 2016.

BUENO, S. *Minidicionário da língua portuguesa*. FTD, 1996.

CAMPOS, J. R. et al. *Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo*. PROSAB: Rio de Janeiro, 1999.

CARRILHO, N. F. Q. *Valorização de Bio-Resíduos Alimentares por Digestão Anaeróbia Descentralizada – Caso de Estudo: Campus da FCT/UNL*. 2012. 126 f. Dissertação (Mestrado em Energia e Bioenergia) – Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa. 2012. Disponível em: <<https://run.unl.pt/>>. Acesso em: Março de 2017.

ELBESHISHY, E.; NAKHLA, G.; HAFEZ, H. *Biochemical methane potencial (BMP) of food waste and primary sludge: influence of inoculum pre-incubation and inoculum source*. *Bioresource Technology*, v. 110, p. 18, 2012. ISSN 0960-8524.

FLORENTINO, H.; BISCARO, A.; PASSOS, J. *Funções sigmoidais aplicadas na determinação da atividade metanogênica específica – AME*. *Revista Brasileira de Biomassa*, São Paulo, v.28, n.1, p.141-150, 2010. Disponível em: <<http://jaguar.fcav.unesp.br/>>. Acesso em: Maio de 2016.

FORESTI, E. *Fundamentos do Processo de Digestão Anaeróbia In: Sistemas de Tratamento Anaeróbio*. CURSO DE TRATAMENTO BIOLÓGICO DE RESÍDUOS, 3, Florianópolis, 1997. Anais.... Florianópolis-Br, 1997. p. 1 -12.

FRIAS, F. J. *Proposta de um biodigestor para geração de energia a partir dos resíduos orgânicos do restaurante universitário – Campus A. C. Simões*. 2016. 66 f. Dissertação (Mestrado em Energia da Biomassa) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo. 2016.

GADELHA, E. P. *Avaliação de inóculos metanogênicos na aceleração do processo de degradação da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos*. 2005. 109 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Departamento de Eng. Civil e Ambiental, Universidade Federal de Brasília, Brasília. 2005.

GARCIA, C.H. *Tabelas para classificação do coeficiente de variação*. Piracicaba: IPEF, 1989. 12p. (Circular técnica, 171).

GILONI-LIMA, P. C; LIMA, V. A. *Gestão integrada de resíduos químicos em instituições de ensino superior*. *Quím. Nova*, São Paulo, v. 31, n. 6, p. 1595-1598, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/>>. Acesso em: Agosto de 2017.

GONÇALVES, A.T.T. *Potencialidade energética dos resíduos sólidos domiciliares e comerciais do município de Itajubá – MG*. 2007. 194 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá. 2007. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/>>. Acesso em: Janeiro de 2016.

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual*. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/>>. Acesso em março de 2016.

JULIATTO, D.L; CALVO, M.J; CARDOSO, T.E. *Gestão Integrada de Resíduos Sólidos para Instituições Públicas de Ensino Superior*. Gestão Universitária na América Latina - GUAL, Florianópolis, v. 4, n. 3, p.170-193, 2011.

LEITE. V. D.; LOPES, W. S.; PRASAD, S. *Bioestabilização anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos em reatores de batelada*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.5, n.1, p.119-123, 2001.

LIMA, L. Q. M. *Remediação de Lixões Municipais (Aplicações da Biotecnologia)*. Hemus, 2005. p. 284.

LIMA, L. L.; NUNES, G. H.; BEZERRA, F. *Coefficientes de variação de algumas características do meloeiro: uma proposta de classificação*. Hort. Bras., Brasília, v. 22, n. 1, p. 14-17, Mar. 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/>>. Acesso em: Julho de 2017.

MACHADO et al. *Caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos da Cidade de Maceió*. Universidade Federal da Bahia. Relatório. Salvador, 2012.

MADEIRA, S. J. D; MARTINELLI, B. A. M. *Diagnóstico dos resíduos sólidos na Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Medianeira*. 2014. 44 f. Monografia (Tecnólogo em Gestão Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira. 2014. Disponível em: <<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/>>. Acesso em: Junho de 2017.

MARQUES, F. C. A.; VAZ, L. M. S. *Gestão de resíduos laboratoriais em instituição de ensino superior: análise do sistema de gestão dos resíduos laboratoriais da faculdade de tecnologia e ciências*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25., 2009, Recife.

MME. Ministério de Minas e Energia. *Balanço Energético Nacional*. 2015a. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/>>. Acesso em: Abril de 2016.

MME. Ministério de Minas e Energia. *Biomassa supera 12 GW de potência e se aproxima do gás como segunda fonte de energia*. 2015b. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/>>. Acesso em abril de 2016.

NECKER, H. S. *Estimativa teórica da geração de biogás do aterro sanitário que será construído no município de Ji-Paraná – RO*. Monografia (Graduação em). 2013. 67 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Rondônia, Ji-Paraná. 2013. Disponível em: <<http://www.engenhariaambiental.unir.br/>>. Acesso em: Abril de 2016.

OLIVEIRA, S. *Gestão dos resíduos sólidos urbanos na microrregião homogênea serra de Botucatu: caracterização física dos resíduos sólidos domésticos na cidade de Botucatu/SP*. 1997. 138 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 1997. Disponível em: <<http://repositorio.unesp.br/>>. Acesso em: Junho de 2016.



ONUDI. *Observatório de Energias Renováveis para a América Latina e Caribe*. Programa de Capacitação em Energias Renováveis. Curso online, 2013. Disponível em: < <http://www.renenergyobservatory.org/>>. Acesso em: Fevereiro de 2016.

PECORA, V. *Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP – Estudo de caso*. 2006. 153 f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2006.

PERS. Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de Alagoas, 2015. Disponível em: < <http://residuossolidos.al.gov.br/>>. Acesso em julho de 2017.

PMSB. Plano Municipal de Saneamento Básico de Maceió. *Diagnóstico da situação do saneamento básico e de seus impactos nas condições de vida da população*. 2016. Disponível em: < <http://www.pmsbmaceio.com.br/>>. Acesso em setembro de 2017.

POETSCH, B. P.; KOETZ, R. P. *Sistema de determinação da atividade metanogênica específica de lodos anaeróbicos*. Rev. Bras. de AGROCIÊNCIA, v.4, no 3, 161-165, Set.-Dez.,1998.

PORTAL BRASIL. *Brasil é destaque global no uso de biomassa*. 2011. Disponível em: < <http://www.brasil.gov.br/>>. Acesso em abril de 2016.

PORTAL UFAL. Restaurante Universitário. Disponível em: < <http://www.ufal.edu.br/> >. Acesso em maio de 2016.

REIS, A. S. *Tratamento de resíduos sólidos orgânicos em biodigestor anaeróbio*. 2012. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Centro Acadêmico do Agreste, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru. 2012. Disponível em: < <https://www.ufpe.br/ppgecam/> >. Acesso em: Março de 2016.

RUBERG et al. *Resíduos sólidos gerados na Universidade Federal do Pampa – Campus de São Gabriel/RS: Estimando a geração per capita*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25., 2009, Recife.

SCHULZ, F. *Biodigestão Anaeróbia da Fração Orgânica de Resíduos Sólidos Urbanos*. 2015. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo. 2015. Disponível em: < <http://dspace.unisinos.br/> >. Acesso em: Março de 2016.

SILVA, K. R. G. O. *Potencial de compostagem dos resíduos sólidos orgânicos gerados nos restaurantes do Campus A. C. Simões da Universidade Federal de Alagoas*. 2014. 49 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió. 2014.

SILVA, M. C. P. *Avaliação de Lodo Anaeróbio e Dejetos Bovinos Como Potenciais Inóculos Para Partida de Digestores Anaeróbios de Resíduos Alimentares*. 2014. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2014. Disponível em: < <http://www.smarh.eng.ufmg.br/> >. Acesso em: Fevereiro de 2016.

SLUM. Superintendência de Limpeza Urbana. Disponível em: <<http://www.maceio.al.gov.br/slum/>>. Acesso em agosto de 2017.

SOARES, E. L. S. *Estudo da Caracterização Gravimétrica e Poder Calorífico dos Resíduos Sólidos Urbanos*. 2011. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2011. Disponível em: <<http://www.getres.ufrj.br/>>. Acesso em: Maio de 2016.

SALOMON et al. *Atlas de bioenergia de Alagoas*. 1ª. ed. Maceió: EDUFAL, 2014.

SALOMON, K. R. *Avaliação técnica-econômica e ambiental da utilização do biogás proveniente da biodigestão da vinhaça em tecnologias para geração de eletricidade*. 2007. 249 f. Tese (Doutorado em Eng. Mecânica) – Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá. 2007.

SOUTO, G. D. B. *Efeito da variação gradual da taxa de recirculação do lixiviado em reatores anaeróbios híbridos na digestão da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos*. 2005. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

VON SPERLING, M. *Princípios básicos do tratamento de esgotos*. Belo Horizonte: UFMG, 1996. v. 2.

TAVARES, J. C. L. *Caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos da Cidade de Maceió*. 2008. 116 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió. 2008. Disponível em: <<http://www.ctec.ufal.br/>>. Acesso em: Março de 2016.

THE TALLOIRES DECLARATION, 1990. Disponível em: <<http://ulsf.org/>>. Acesso em agosto de 2017.

TRANSOLIVEIRA. Disponível em:< <http://www.transoliveira.com.br/gas/> >. Acesso em setembro de 2017.