



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIAS E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

NATALLY ANDRADE FRITZ DE SOUZA

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA DEGRADAÇÃO DE RESÍDUOS DA
AGROINDÚSTRIA DE BIODIESEL**

**Recife
2014**

NATALLY ANDRADE FRITZ DE SOUZA

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA DEGRADAÇÃO DE RESÍDUOS DA
AGROINDÚSTRIA DE BIODIESEL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Geotecnia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. José Fernando Thomé Jucá

**Recife
2014**

Catálogo na fonte

Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

S729pSouza, Natally Andrade Fritz de.

Produção de biogás a partir da degradação de resíduos da agroindústria de biodiesel
/Natally Andrade Fritz de Souza.- 2014.

57folhas, il., tabs., abr. e sigl.

Orientador: Prof. Dr.José Fernando Thomé Jucá.

Dissertação(Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.Programa de
Pós-Graduação emEngenharia Civil, 2014.

Inclui Referências.

1. EngenhariaCivil. 2.Resíduos agroindustriais. 3.Biogás.4.Biodiesel. 5.
Energia.I.Jucá,José Fernando Thomé(Orientador).II.Título.

UFPE

NATALLY ANDRADE FRITZ DE SOUZA

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA DEGRADAÇÃO DE RESÍDUOS DA
AGROINDÚSTRIA DE BIODIESEL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), como requisito para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil.

Aprovada em: 21/01/2014.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Professor Dr. José Fernando Thomé Jucá (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Alexandre Ricardo Pereira Schuler (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Mauricio Alves da Motta Sobrinho (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico este trabalho a meus pais Diógenes Andrade e Érika Fritz, que dedicaram seus esforços para meu crescimento. Também ao meu noivo Renan, fundamental nesta conquista.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e Nossa Senhora de Fátima, por ter me abençoado e nunca me abandonado, aumentando minha fé em todos os momentos de dificuldade.

Aos meus pais, que sempre me ensinaram a importância do estudo e que me educaram para que eu alcançasse meus objetivos de forma íntegra. São meu estímulo para concretizar meus sonhos, pois sei que conquistando-os também os realizarei.

A Renan Menezes Cardoso, meu futuro marido, pela incansável paciência em inúmeros momentos em que não foi apenas meu noivo, foi meu amigo me incentivando nos momentos que precisei de apoio, nunca permitindo que eu me sentisse sozinha. Foi também um companheiro de trabalho mesmo sendo de área de formação distinta à minha, me dando conselhos e orientações.

À minha família, em especial Tia Nadjá e Lucia Karla, por serem minhas eternas amigas e meu maior apoio. Também agradeço a cada um que já tenha me incentivado com palavras e gestos nesta trajetória: tia Talia, Alcione, tia Cátia, Manuella Maia, Mirella Lira, Ana Góes, Christiane Lyra.

Ao meu orientador José Fernando Thomé Jucá, um grande mestre, que desde o primeiro contato que tive me estimulou como profissional, me incentivando a 'ser grande', aumentando a minha confiança e conhecimento através de suas aulas e ensinamentos.

À minha co-orientadora Alessandra Lee Barbosa Firmo, que enriqueceu minha dissertação com seus conhecimentos e que em momentos de dúvida mostrou sempre o melhor caminho com muita calma e sabedoria.

À minha prima, Alessandra Lee Barbosa Firmo, que cresceu comigo sendo uma amiga e permaneceu sendo em momentos de alegria e tristeza ao longo dos anos me dando força, serei eternamente grata por seu apoio, pelos momentos de descontração e palavras de carinho.

A todos os amigos com quem convivi durante anos no CETENE: Manuela Mota Lins, Roberta Sampaio P. Teixeira, Lili Ferreira Lima, Andrea Baltar, Claudia Crasto, Joana Alves, James Correa. Amigos para toda uma vida com quem amadureci e aprendi princípios de profissionalismo e integridade. Entre eles Luciano Silva, que salvou meu HD faltando pouco para minha defesa, fora tantas outras ajudas urgentes com meu computador que ele nunca se negou a colaborar!

A Savio de Holanda, na época do início da pesquisa nosso estagiário, sempre muito dedicado e disposto a aprender e trabalhar.

A todos os amigos que conheci no GRS, que me ajudaram a seguir em um novo caminho com muita descontração e profissionalismo, um carinho especial a Ericka, Laís Lopes, Hellisandra, Kelma Vitorino, que sempre foram solícitos a trabalhar e ajudar no que fosse necessário.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro para desenvolver esta pesquisa.

Aos professores da UFPE por todo conhecimento que me foi transmitido.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a elaboração deste trabalho, o meu muito obrigada!

RESUMO

As políticas ambientais executadas por órgãos governamentais e indústrias têm sido direcionadas ao gerenciamento de seus resíduos e sua agregação de valor. Esta questão também é evidenciada nas agroindústrias, que consistem nas atividades responsáveis pelo processo e transformação de matérias-primas provenientes da agricultura. Este tipo de indústria tem colaborado para o aumento de problemas ambientais com o desperdício de matéria prima e energia, resultando no aumento em investimentos para controlar a poluição, traduzido em perdas econômicas. Geralmente localizadas em regiões rurais, as usinas de biodiesel são um tipo de agroindústria que surgiram como uma oportunidade de alavancar economicamente as regiões produtoras, promover a transferência de tecnologia, formação de mão de obra e distribuição de renda. Todavia, como desvantagens, a produção de biodiesel produz resíduos como a glicerina, água de lavagem, a torta e borra de óleo, resultantes de seu processo de produção, havendo a necessidade de gestão ou tratamento desses resíduos, valorizando seus subprodutos, a exemplo da Usina Piloto de Biodiesel, localizada no município de Caetés, no estado de Pernambuco. Diante do panorama da geração de biomassa, frente ao elevado teor de matéria degradável existente nesses materiais, pode-se vislumbrar uma agregação de valor da biomassa produzida na Usina de Biodiesel com o tratamento anaeróbico dos resíduos, consubstanciando todos os parâmetros com a finalidade de produzir biogás e metano, possibilitando uso de energia renovável e diminuindo o consumo de energia elétrica na unidade. Com isso, pode-se contribuir para a geração de energia elétrica local e/ou a unidade de produção, além de diversificar a matriz energética e corroborar a viabilidade de produção deste tipo de energia de grande potencial nas regiões rurais. O presente trabalho avaliou os principais tipos de resíduos gerados na Usina Piloto de Biodiesel de Caetés, analisando o potencial de geração de biogás desses resíduos. A glicerina, em mistura com o lodo, não mostrou influência na produção do biogás; em interação com a torta e o lodo obteve resultados positivos com volume de biogás de 328,87NmL. Números expressivos foram obtidos com a mistura do lodo com a água de lavagem 431,53 NmL. É possível que a alta concentração de ácidos graxos presentes na amostra contendo a borra de óleo tenha provocado a inibição da atividade microbiana. Com bases nesses dados e no cálculo de eficiência energética, pode-se sugerir a adoção do uso

de biodigestores com resíduos da usina para produzir energia na unidade, possibilitando uma diminuição de 20% do consumo energético.

Palavras-chave: Resíduos agroindustriais. Biogás. Biodiesel. Energia.

ABSTRACT

Environmental policies executed by industries and government agencies have been increasingly directed to management their waste and adding value to it. This issue is also evidenced in agricultural industries, which consist of activities responsible for the process and transmutation of raw materials from agriculture. Such type of industry has contributed to the increase of environmental problems with the waste of raw materials and energy, resulting in increased investments to control pollution, translated into economic losses. Usually located in countryside, biodiesel plants are a type of agricultural industries which arose with an opportunity to leverage economically the producer regions, promote the Exchange of technology, training labor and income distribution. However, as disadvantages, the production of biodiesel produces waste resulting from this process, as glycerin, waste water, cotton oilseed cake and sludge, having the necessity to manage or treat waste, such as the Biodiesel Pilot Plant located in the municipality of Caetés in the state of Pernambuco, valuing by products and adding value to waste. Front of the panorama of biomass generation, front high level of degradable existing matter these materials, one could envisage an aggregation value of biomass produced in Biodiesel Plant with the anaerobic treatment of waste, consolidating all parameters in order to produce biogas and methane, enabling use of renewable energy and reducing electricity consumption in the unit. With this, one can contribute to the generation of local power and / or unit of production, also diversify the energy matrix and corroborate the viability of producing this kind of energy with great potential in rural areas. This thesis was to evaluate the main types of waste generated in the Biodiesel Pilot Plant Caetés and analyze the potential for biogas generation of this waste. The glycerin, mixed with sludge showed no influence on the production of biogas, in interaction with the oilseed cake and sludge obtained positive results with biogas volume of 328,87 NmL. Expressive numbers were obtained by mixing the sludge with the washing water NmL 431,53. It is possible that the high concentration of fatty acids present in the sample containing the oil sludge has caused the inhibition of microbial activity. Based on this data and calculation of energy efficiency, it can be suggested the adoption of the use of digesters with waste from the plant to produce energy in the unit.

Keyword: Agroindustrial waste. Biogas. Biodiesel. Energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Histórico do Biodiesel.....	22
Figura 2 -	Fluxograma simplificado da cadeia produtiva Produtiva de Biodiesel...	23
Figura 3 -	Maiores produtores de resíduos Agroindustriais.....	25
Figura 4 -	Fluxograma da Fabricação do Biodiesel por Transesterificação.....	28
Figura 5 -	Fluxograma de biodegradação.....	30
Figura 6 -	Mapa de Localização do Município de Caetés – Pernambuco.....	32
Figura 7 -	Fluxograma de produção da unidade experimental de biodiesel.....	34
Figura 8 -	Acúmulo de resíduos da borra de óleo na usina.....	35
Figura 9 -	Usina Experimental de Caetés – Pernambuco.....	36
Figura 10 -	Coleta da borra de óleo.....	37
Figura 11 -	Amostra de Torta de Pinhão Manso.....	37
Figura 12 -	Frascos BMP.....	38
Figura 13 -	Proporções utilizadas no ensaio BMP.....	41
Figura 14 -	Preenchimento dos frascos com os substratos.....	42
Figura 15 -	Incubação Frascos em estufa a 37°.....	42
Figura 16 -	Geração de biogás nas amostras de Lodo.....	43
Figura 17 -	Geração de biogás nas amostras de Lodo - adição de 10% de Torta...	44
Figura 18 -	Geração de biogás nas amostras de Lodo - adição de Lavagem.....	45
Figura 19 -	Geração de biogás nas amostras de Lodo com adição de Borra.....	46
Figura 20 -	Geração de biogás nas amostras de Lodo - adição de Glicerina.....	47
Figura 21 -	Geração de biogás nas amostras de Lodo - adição Glicerina e Torta...	48
Figura 22 -	Geração de biogás nas amostras de Glicerina com adição de Torta....	48
Figura 23 -	Proporção a ser utilizada no biodigestor para produção de biogás.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Resíduos agroindustriais gerado em usinas de biodiesel no Brasil....	27
Tabela 2 -	Unidades de demonstração de produção de biogás – Paraná.....	31
Tabela 3 -	Dados Socioeconômicos do Município de Caetés – Pernambuco.....	32
Tabela 4 -	Consumo energético - Municípios de Caetés, Garanhuns e Recife....	33
Tabela 5 -	Geração Anual de Resíduos na Usina Piloto de Caetés – PE.....	35
Tabela 6 -	Composição dos grupos analisados no ensaio BMP.....	39
Tabela 7 -	Valores de energia e potência instalada - usina de biodiesel Caetés.	50
Tabela 8 -	Energia consumida/ dia na usina e % de potência.....	50
Tabela 9 -	Potencial de CH ₄ dos resíduos gerados na usina.....	50
Tabela 10 -	Proporção de resíduos gerados na usina.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP	Agência Nacional de Petróleo
atm	atmosfera
BMP	Potencial bioquímico de metano
B20	20% de biodiesel no diesel fóssil
CO ₂	representação da molécula de metano
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
ETE	Estação de tratamento de esgoto
GEE	gases de efeito estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índices de Desenvolvimento Humano
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
P&D	Pesquisa e desenvolvimento
PNPB	pesquisa e desenvolvimento
Biodisel	programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel
pH	biodisel
pH	potencial hidrogeniônico
ONU	Redução científica de União
RSU	Resíduo sócio urbano

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	Aspectos Motivacionais da Pesquisa.....	14
1.2	Justificativa da Pesquisa.....	20
1.3	Objetivos.....	20
1.4	Estrutura do Trabalho.....	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
2.1	O Biodiesel, a Cadeia Produtiva e suas Principais Matérias Primas.....	22
2.2	Caracterização da Usina.....	31
3	METODOLOGIA.....	36
3.1	Estudo na Usina Piloto.....	36
3.2	Coleta e Amostragem dos Resíduos.....	36
3.3	Ensaio BMP.....	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4.1	Análise da Geração de Biogás.....	43
4.2	Capacidade de Geração de Energia Elétrica.....	49
5	CONCLUSÕES.....	52
5.1	Sugestões para Pesquisas Futuras.....	52
	REFERÊNCIAS.....	53

1 INTRODUÇÃO

A luz dos recentes avanços do mercado de energia renovável, impulsionado pelo aumento de produção de biocombustíveis no Brasil, Estados Unidos e Europa, há o consequente surgimento de uma nova rota de produção de resíduos, os resíduos de agroindústria de Biodiesel.

1.1 Aspectos Motivacionais da Pesquisa

A agroindústria consiste em um modelo de indústria que desenvolve atividades responsáveis pelo processo e transformação de matérias-primas provenientes da agricultura, nela há um constante aumento de geração de resíduos e, por consequência, o desperdício de matéria prima e energia, ocasionando problemas ambientais, não condizentes com a finalidade dos biocombustíveis.

Representando o segundo biocombustível mais utilizado no Brasil, o biodiesel foi definido pela *National Biodiesel Board* (associação sem fins lucrativos, responsável pela coordenação da indústria de biodiesel nos Estados Unidos), como derivado alquil éster de ácidos graxos de cadeia longa, proveniente de fontes renováveis como óleos vegetais ou gordura animal, cuja utilização está associada à substituição de combustíveis fósseis em motores de ignição por compressão (motores do ciclo Diesel) (MMA, 2006).

O biodiesel pode ser caracterizado por:

- Ausência de enxofre e aromáticos;
- Número de cetano elevado;
- Teor de oxigênio próximo a 11%;
- Baixa viscosidade e maior ponto de fulgor, quando comparado ao diesel convencional;
- Direcionamento a mercado específico, especialmente voltado a atividades agrícolas;
- No caso do biodiesel proveniente de óleos e gorduras, já utilizados, este combustível apresenta, ainda, vantagens ambientais (MMA, 2006).

O biodiesel pode ser utilizado puro ou em misturas com o óleo convencional, em diferentes proporções. As misturas podem receber denominações de acordo com os percentuais do biodiesel adicionados à

mistura, como por exemplo, B20 para misturas contendo 20% deste biocombustível (MMA, 2006).

Em dezembro de 2005, a Comunidade Europeia lançou, sua “Estratégia Europeia para o Domínio de Biocombustíveis que define seis eixos estratégicos e três setores promissores pelo seu potencial de demanda por biocombustíveis. Os eixos estratégicos são (CEC, 2006 apud CGEE, 2008):

Estímulo da demanda por biocombustíveis; Avaliação e aproveitamento dos benefícios ambientais, como por exemplo a redução das emissões de CO₂; Desenvolvimento da produção e da distribuição de biocombustíveis; Expansão do fornecimento de matérias-primas; Alavancagem de oportunidades comerciais; Apoio a países em desenvolvimento e fomento de P&D.

Os setores considerados com alto potencial de demanda de biomassa são: transportes, eletricidade e geração de calor. A perspectiva futura é de que os biocombustíveis se assentarão o mais nas fontes de grãos de culturas anuais de plantas oleaginosas, enquanto a eletricidade e geração de calor serão resultantes de queima de madeira e resíduos de agroindústria (CEC, 2006 apud CGEE, 2008).

O grande responsável pela difusão do biodiesel no Brasil foi o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), criado em 2004. Considerando que o Brasil lidera na quantidade de opções viáveis para energia renovável, somado ao grande potencial agrícola do país, a produção de biodiesel teve um grande crescimento após a implementação do programa, aumentando o número de usinas produtoras. O PNPB é um programa de incentivo à produção de biodiesel no Brasil de forma sustentável com o objetivo de fomentar a dinamização na matriz energética brasileira, no que diz respeito às fontes de energias mais limpas. Entretanto, as usinas de produção de biodiesel, provocam impactos ambientais principalmente em função da geração de resíduos, tornando necessária a realização de estudos para identificar e quantificar estes problemas, a fim de promover otimização do seu processo e buscar alternativas viáveis para melhor aproveitamento ou destinação destes materiais.

O Brasil está em condições de liderar a agricultura de energia e o mercado de biocombustíveis em escala mundial, por reunir o maior quantitativo de vantagens comparativas em relação a outros países. “A primeira vantagem comparativa refere-se à perspectiva de incorporações de áreas à agricultura de energia, sem

competição com a agricultura de alimentos e com impactos ambientais circunscritos ao socialmente aceito”. (MAPA, 2006)

O Biodiesel é considerado uma promissora fonte energética em substituição aos derivados de petróleo, devido à sua neutralidade em relação ao CO₂, diminuindo significativamente as emissões de GEE (Gases de Efeito Estufa). Ele é produzido através de uma reação de transesterificação, que consiste em uma reação de triglicerídeos (óleos vegetais ou gorduras animais) com um intermediário ativo, formado pela reação de um álcool de cadeia curta (metanol ou etanol) e um catalisador, produzindo uma mistura de ésteres (o biodiesel) e o glicerol, como um coproduto (PARENTE, 2003).

No Brasil, o cenário de produção nos próximos 30 anos será de 120 milhões de toneladas de biomassa, como potencial de bioenergia. Esta meta irá requerer investimentos em logística (transporte e armazenamento), políticas de atração de capital nacional e internacional e segurança patrimonial e contratual dos investimentos. Em curto prazo a principal força propulsora do crescimento da demanda por agroenergia será a pressão social pela substituição de combustíveis fósseis.

Considera-se que a concentração de CO₂ atmosférico teve um aumento de 31% nos últimos 250 anos, atingindo, provavelmente, o nível mais alto observado nos últimos 20 milhões de anos. Esses valores tendem a aumentar significativamente se as fontes emissoras de gases de efeito estufa (GEE) não forem controladas, como a queima de combustíveis fósseis e a produção de cimento, responsáveis por essa produção de cerca de 75% desses gases. (MAPA, 2006)

Impulsionado pela demanda crescente de biocombustíveis, a agroindústria também produz impactos que são inerentes a qualquer setor produtivo, sendo uma das principais desvantagens, as quantidades significativas de efluentes e resíduos potencialmente poluidores, que possivelmente causam impacto negativo no meio ao qual for destinado, o que gera uma necessidade de regulação e elaboração de diretrizes direcionadas a temática dos resíduos no setor, como também a regularização da geração dos resíduos e tratamento destes, um grande gargalo no setor agroindustrial, que necessita de legislação mais específica para esta tipologia de produção. Além disso, há também a necessidade de aumento de investimento para pesquisas de tratamento destes resíduos, com a finalidade de discutir opções de agregação de valor ao subproduto, evitando grandes perdas econômicas e fechando uma cadeia produtiva mais limpa.

Segundo a matéria da revista ISTOÉ (2011)“o Brasil é o segundo maior produtor de biocombustíveis no mundo, sendo o primeiro produtor mundial os Estados Unidos”. Com o quantitativo existente e a variedade de resíduos gerados em uma usina de biodiesel - que atendem parâmetros que possibilitam o reaproveitamento para fins energéticos - uma cadeia produtiva que inicia no campo e que pode ser processada em reatores de biodigestão para produção de biogás, configura a biodigestão como um importante vetor energético com grande versatilidade como fonte de energia, pois, suas características possibilitam a sua energia química ser convertida em energia elétrica, térmica e/ou veicular, auxiliando na variedade da matriz energética da própria agroindústria, e/ou nas comunidades vizinhas.

Esta prática é incentivada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Nº 12.305 / 2010) e Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei Nº 12.187 / 2009) regulamentada pelo Decreto nº 7.390/2010, onde fica estabelecido que um de seus objetivos é a redução das emissões de GEE's oriundos de diversas atividades humanas, inclusive às referentes aos resíduos (Artigo 4º, II) e oficializa o compromisso do Brasil junto à Convenção-Quadro da ONU sobre Mudança do Clima de redução de emissões de gases de efeito estufa entre 36,1% e 38,9% das emissões projetadas até 2020. (FIRMO, 2013)

Em 2012, foi criada uma proposta de Lei Nº 3.539 que, caso seja aprovada, estabelece para as empresas de distribuição de energia elétrica a contratarem anualmente, por meio de leilão, pelo menos 250 MegaWatts de energia elétrica produzida a partir de biomassa e resíduos sólidos urbanos, o que incentivará ainda mais o aproveitamento energético de biogás, neste caso em aterros.(FIRMO, 2013)

Com a crise energética mundial, as alternativas renováveis são estudadas com bastante afinco, com a finalidade de diversificar a matriz energética, sendo possivelmente utilizadas para substituir gradativamente o uso de combustíveis fósseis, evitando, com isso, colapsos no abastecimento. (HOLANDA, 2004)

Há uma demanda de aumento da capacidade na produção de biodiesel no país para que possa ser atendida a Lei nº 11097/05, que no ano de 2013 passou a exigir o percentual de 5% no diesel comum. Um dos principais gargalos na produção de biodiesel está na escolha da melhor matéria prima a ser adotada por todo território brasileiro, porém, com toda dimensão do País e suas peculiaridades presentes em cada região, dificilmente haverá apenas uma cultura a ser cultivada.

O biodiesel pode ser feito à base de qualquer óleo natural retirado de plantas como: soja, dendê, girassol, babaçu, amendoim, mamona, pinhão-manso ou de gordura animal. Além da diversidade de solo, clima e tipos de oleaginosas – são mais de 100 plantas com potencial energético – cada região do Brasil tem sua vocação natural para a produção do biodiesel, como as palmáceas do Norte (dendê e babaçu) ou a soja, no Centro-Sul. Por possuir uma cadeia produtiva já estruturada, a soja é a cultura mais utilizada na fabricação do biodiesel brasileiro hoje, respondendo por cerca de 80% da produção. Em termos de produtividade, no entanto, outras oleaginosas possuem maior potencial energético. Com dendê, por exemplo, é possível fabricar uma quantidade 13 vezes maior de biodiesel do que com a soja. Pinhão manso, algodão, girassol e amendoim também são consideradas fontes promissoras.” Muitas oleaginosas estão em fase de pesquisa e desenvolvimento tecnológico e ainda levarão um tempo para serem usadas em larga escala (BRASIL, 2010)”. Os principais plantios estão localizados nos estados da região sudeste do Brasil, nesses locais, houve um aumento na produção agrícola, na geração de emprego, renda, aumento do poder econômico através do agronegócio e melhoria do poder econômico da população rural.

Dentro do processo produtivo, há a problemática do consequente aumento da geração de resíduos na agroindústria. Para solucionar esse problema, existem diversas tecnologias que poderiam ser utilizadas para tratar e/ou destinar esses resíduos, dentre elas está a biodigestão anaeróbia em reatores. Assim, além de biodegradar os resíduos presentes nos reatores, estes mesmos resíduos em associação concomitante em suas estruturas físico-químicas são capazes de executar determinadas funções metabólicas, havendo então a produção de energia elétrica a partir da geração de biogás através desta sinergia, além de estabilizar o material para futuro uso como biofertilizante no campo, impulsionando a produção agrícola. Para isso, precisa-se avaliar o potencial de geração de biogás e metano desses principais resíduos gerados na produção de biodiesel.

Estratégias semelhantes vêm sendo adotadas por muitos setores produtivos que buscam a sustentabilidade e a independência quanto o consumo energético, um exemplo clássico é o uso de energia térmica através da destinação de bagaço de cana em usinas produtoras de álcool em suas caldeiras, possibilitando paralelamente alinhamento às diretrizes do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que viabiliza o alcance de metas de redução com um melhor custo-

benefício por meio da emissão de Redução Certificada de Emissão (RCE) e comercialização de créditos de carbono. (MDL, 2009apud FIRMO, 2013)

Os principais fatores que motivaram esta pesquisa visando o aproveitamento energético da biomassa na usina de Caetés foram o reconhecimento da importância da energia de biomassa para efetuar a transição para uma nova matriz energética no empreendimento, buscando a sustentabilidade local, a fim de gerar energia, proporcionando ganhos ambientais e econômicos não só para a unidade de produção, que se beneficiaria com a diminuição do custo de produção, como também, traria desenvolvimento e ganhos à população circunvizinha.

1.2 Justificativa da Pesquisa

Principais perguntas que motivaram a pesquisa:

- Quais as leis / diretrizes para o setor e qual o perfil do setor?
 - Qual a geração e tipologia dos resíduos gerados numa usina de biodiesel?
 - Qual o tratamento e destinação final dos resíduos gerados na produção de biodiesel?
- Esses resíduos têm elevado potencial para geração de biogás, podendo contribuir para aumentar a geração de energia no setor?

1.3 Objetivos

Objetivos Gerais

O objetivo geral desta pesquisa propõe-se a realizar um diagnóstico dos principais setores críticos de geração de resíduos em uma usina piloto de produção de biodiesel, localizada no município de Caetés-PE, com a finalidade de avaliar o potencial de geração de biogás desses resíduos, possibilitando abiodigestão anaeróbia como estratégia para tratamento.

Objetivos Específicos

Os principais objetivos específicos desta pesquisa são:

- a) Analisar o processo produtivo do biodiesel identificando os principais pontos de geração de resíduos;
- b) Caracterizar quimicamente os principais resíduos gerados, analisando o teor de matéria degradável;
- c) Analisar o potencial de geração de biogás e metano utilizando o ensaio BMP;
- d) Analisar o uso de biodigestores anaeróbios como tecnologia de tratamento dos resíduos da usina de biodiesel.

1.4 Estrutura do Trabalho

O texto da dissertação encontra-se em um volume único, distribuído da seguinte forma:

Capítulo 1: Introdução - Apresenta os aspectos motivacionais do trabalho e uma visão geral com a introdução, justificativa e objetivos a serem alcançados.

Capítulo 2: Revisão bibliográfica - Disserta sobre a cadeia produtiva de Biodiesel, a geração de resíduos na unidade de produção estudada, além da problemática dos resíduos agroindustriais do biodiesel.

Capítulo 3: Matriz energética e uso do biogás – É mostrada a atual matriz energética no Brasil e a previsão de uso do biogás para as agroindústrias.

Capítulo 4: Metodologia – Metodologia adotada para visitas e coletas de resíduos, como a inclusão do mesmo nos biorreatores BMP.

Capítulo 5: Resultados e discussões – São analisados os resultados do monitoramento dos reatores.

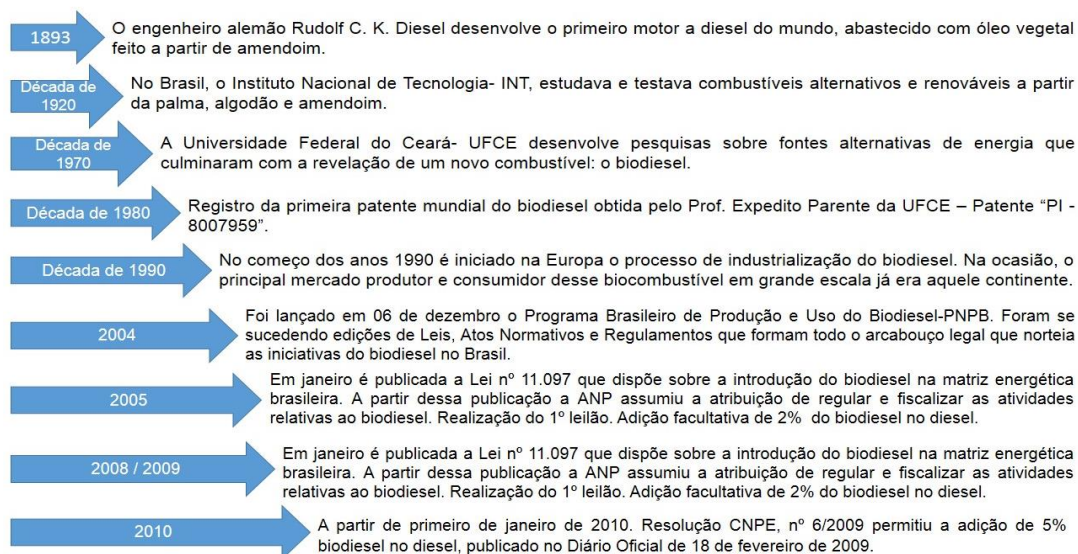
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo aborda a cadeia produtiva de biodiesel e seus resíduos resultantes do processo de produção e a destinação com finalidade energética, utilizando como base metodologias aplicadas aos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).

2.1 O Biodiesel, a Cadeia Produtiva e suas Principais Matérias Primas

O biodiesel é difundido na Europa desde o início do século XX, após Rudolph Diesel inventar o motor diesel, em 1893, quando foi abastecido com óleo de amendoim. Passados esses anos, na década de 1920, o Brasil testava combustíveis alternativos e renováveis, com base nos óleos de palma, algodão e amendoim, e na década de 1970, a Universidade Federal do Ceará passou a realizar pesquisas sobre fontes alternativas de energia que permitiram, em seguida, a obtenção da primeira patente mundial do biodiesel. A figura 1 apresenta esses marcos (MARRA,2010).

Figura 1 - Histórico do Biodiesel.



Fonte: Adaptado de Ubrabio, 2009 - dados atualizados da Embrapa.

O biodiesel pode ser produzido à base de qualquer óleo natural retirado de plantas. No Brasil as oleaginosas são as mais utilizadas, como soja, algodão, dendê, girassol, babaçu, amendoim, mamona, pinhão-mansão; ou a partir de ácidos graxos, como a gordura animal. Além da diversidade de solo, clima e tipos de oleaginosas – são mais de 100 plantas com potencial energético - cada região do Brasil tem sua

vocação natural para a produção do biodiesel, como as palmáceas do Norte (dendê e babaçu) ou a soja, no Centro-Sul. Por possuir, com uma cadeia produtiva já estruturada, a soja é a cultura mais utilizada na fabricação do biodiesel brasileiro, respondendo por cerca de 80% da produção. Em termos de produtividade, no entanto, outras oleaginosas possuem maior potencial energético.

Citando especificamente o dendê, por exemplo, é possível fabricar uma quantidade 13 vezes maior de biodiesel do que com a soja. Pinhão manso, algodão, girassol e amendoim também são consideradas fontes promissoras (BRASIL, 2010).

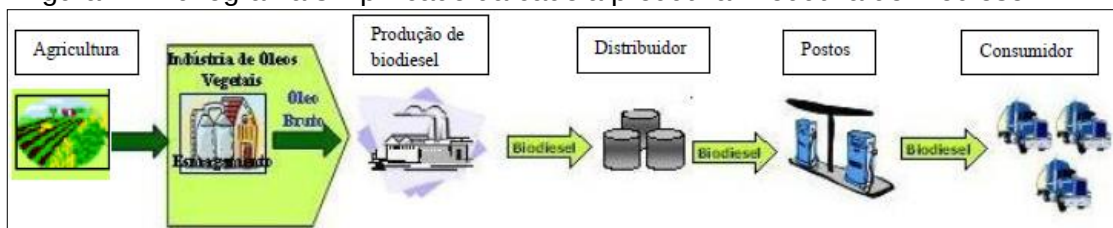
Por conter muitas variáveis quanto à escolha da melhor oleaginosa para produção do biodiesel no Brasil, muitas delas estão em fase de pesquisa e desenvolvimento, e ainda levarão um tempo para serem utilizadas em larga escala. Com a matéria-prima eleita, tornando-a competitiva, tecnologia empregada e um mercado maduro para crescer, os especialistas apontam o Brasil como líder no setor de agroenergia, tornando ainda mais necessário, a demanda de estudos para tratamento e destinação dos resíduos neste setor. “Os investimentos feitos pelo País têm sido fundamentais para consolidar o biocombustível como alternativa econômica viável de energia limpa (BRASIL, 2010)”.

A Lei 11097/05, define biodiesel como biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil (PINHEIRO, 2010).

Cadeia Produtiva do Biodiesel

A cadeia produtiva de biodiesel mostrada esquematicamente na Figura II.2 apresenta como segmentos principais da cadeia, os produtores das oleaginosas, as usinas de extração do óleo, as indústrias produtoras de biodiesel, as distribuidoras, os postos de combustíveis e os consumidores (ALMEIDA, 2012).

Figura 2 - Fluxograma simplificado da cadeia produtiva Produtiva de Biodiesel



Fonte: Adaptado de Neutzling, 2009.

Devido às limitações das reservas de petróleo, apesar das novas descobertas, e às consequências ambientais dos gases de escape de combustíveis derivados do petróleo, tais como gasolina e diesel, o biodiesel tem atraído a atenção durante a última década como um combustível renovável e ambientalmente menos impactante, que está sendo usado cada vez mais no transporte público na Europa, Japão, América do Norte e do Sul (YANG; TSUKAHARA; SAWAYAMA, 2008; DEMIRBAS, 2008).

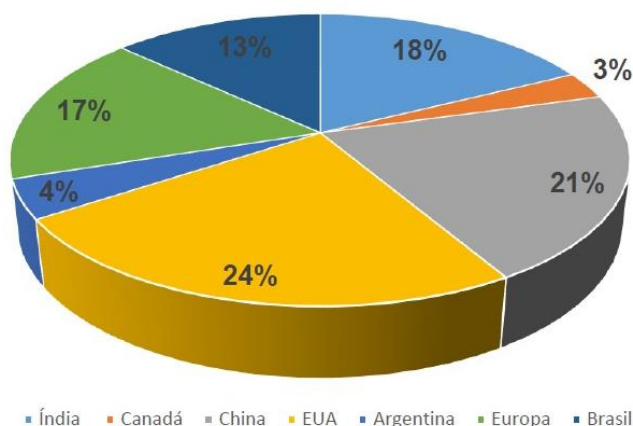
“Estudos indicam que o biodiesel pode ser utilizado diretamente ou misturado ao diesel derivado do petróleo em motores ciclo diesel (BRASIL, 2005; GALBIERI; SIMÕES, 2011)”.

Em dezembro de 2011, dados preliminares com base nas entregas dos leilões promovidos pela Agência Nacional de Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis (ANP), mostraram que a produção de biodiesel estimada para o mês de dezembro foi de 232 mil m³. No acumulado do ano, acrescido da estimativa para dezembro, a produção atingiu 2.661 mil m³, um aumento médio de 12% em relação ao mesmo período de 2010 (2.386 mil m³). A capacidade instalada nacional totalizou 390 mil m³/mês (4,6 bilhões de litros anuais). “A capacidade instalada, em dezembro de 2011, ficou em 6.019 mil m³/ano (524 mil m³/mês). Dessa capacidade, 78% são referentes às empresas detentoras do Selo Combustível Social (BRASIL, 2012)”.

Toda cadeia agroindustrial é grande produtora de diversificados resíduos, tais como resíduos vegetais de colheita, e resíduos do beneficiamento, cascas, palhas, caroços e tortas que podem ser aproveitadas energeticamente. Porém, o Brasil utiliza menos da metade dos seus resíduos - não são aproveitados mais de 200 milhões de toneladas de resíduos agroindustriais (CORTEZ, 2008).

“Num contexto de aumento da produção de muitas culturas agrícolas, e consequentemente dos seus resíduos, estima-se que o Brasil pode produzir cerca de 451 milhões de toneladas de resíduos agroindustriais” (BENSTSEN; FEBLY, 2010). “Avalia-se que a contribuição da biomassa residual de grãos seja da ordem de 195,2 milhões de GJ/ano, valor que poderia ser somado ao uso já estabelecido do bagaço de cana para fins energéticos (GREENPECE, 2004 *apud* OLIVEIRA *et al.*, 2012)”.

Figura 3: Maiores produtores de resíduos Agroindustriais.



Fonte: Benstsen e Febly, 2010.

Muitos países em desenvolvimento têm uma grande variedade de resíduos agrícolas. Elevadas quantidades de resíduos vegetais agrícolas são produzidas anualmente em todo o mundo e são amplamente subutilizados (DEMIRBAS; OZTURK; DEMIRBAS, 2006).

O Brasil é um grande produtor agrícola de cana-de-açúcar, arroz, mandioca e soja e deste modo, produz imensa quantidade de biomassa residual, proveniente das cascas, folhas e do bagaço. Estimular o desenvolvimento e a implantação de tecnologias modernas que permitam integrar, por exemplo, os resíduos agrícolas e suas respectivas cadeias produtivas para geração de energia, constituem, para esta década, alternativas que podem combater as restrições de ordem econômica, técnicas e ambientais que progressivamente vêm limitando a expansão de fontes de energias convencionais.

Existe um grande número de tecnologias de conversão energética da biomassa, adequadas para aplicações em pequenas e grandes escalas, mas, todas as tecnologias de biomassa atualmente usadas no mundo possuem dois problemas cruciais: o custo da biomassa e a eficiência energética de sua cadeia produtiva. (CORTEZ, 2008; VIEIRA.et.al., 2011)

Quando se busca determinada disponibilidade de biomassa energética, é importante considerar as restrições de ordem ecológica, econômica, social, política e tecnológica. As restrições ecológicas estão associadas à preservação do meio ambiente e à qualidade de vida. As limitações econômicas são analisadas em dois níveis, sendo que, em primeiro lugar, é necessário saber se a biomassa a ser

explorada energeticamente não tem outros usos mais econômicos, como industrial ou alimentício; e em segundo lugar, se todos os custos da biomassa explorada são compatíveis com os benefícios energéticos e comparáveis com os demais combustíveis. “Finalmente, as restrições tecnológicas se devem à existência ou não de processos confiáveis e operações para conversão da biomassa em combustíveis de uso mais geral. (FERNANDES et al., 2011)

Na cadeia do biodiesel na primeira etapa, na colheita, restam folhas e caules na lavoura. Na etapa seguinte na extração do óleo, resíduos como torta e farelo são considerados subprodutos ou coprodutos, dependendo do valor de venda destes materiais, e em geral, são utilizados como ração animal ou em adubação do solo, conforme ilustra a Tabela 1.” Entretanto, estudos que ampliam a utilização dos resíduos desta cadeia produtiva em outros produtos, como a produção de compósitos para redução sonora, vem sendo foco de várias pesquisas” (SCHINEIDER et al., 2012). Outra alternativa possível “é aproveitar o significativo percentual amiláceo e/ou lignocelulósico existente nessa biomassa residual para a produção de bioetanol através de processos hidrolíticos e fermentativo”. (SANTOS et al., 2012).

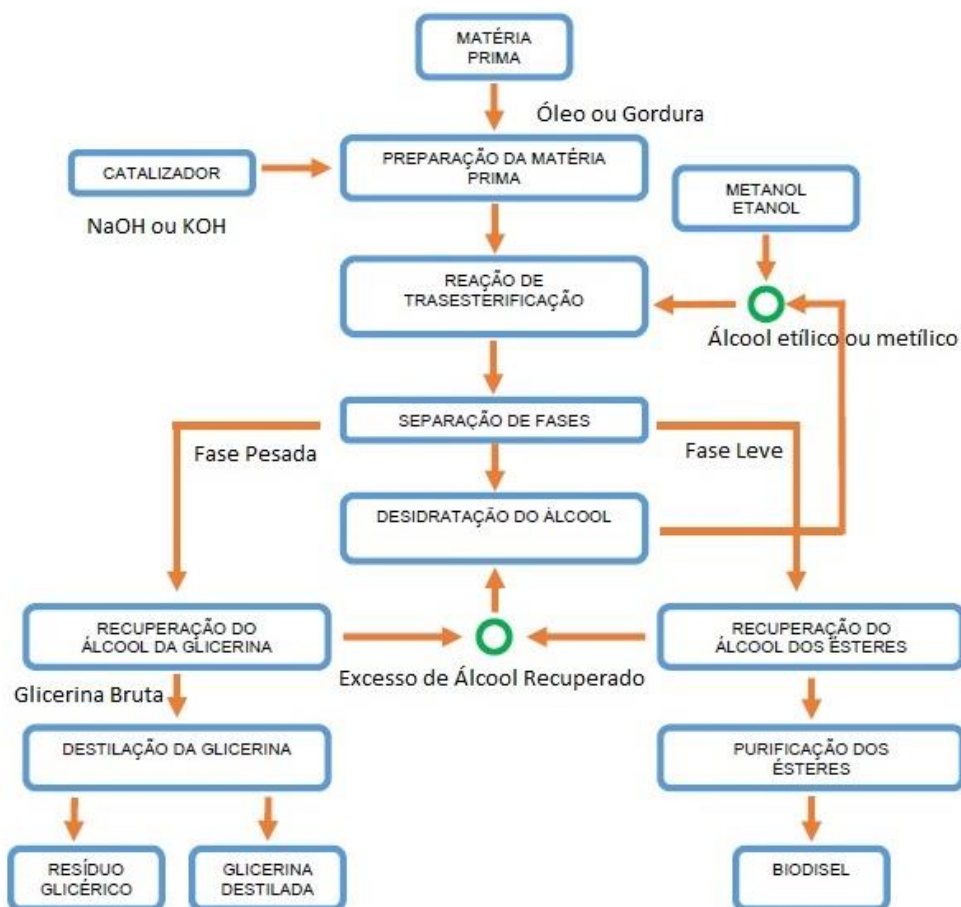
Tabela 1 - Resíduos agroindustriais gerado em usinas de biodiesel no Brasil.

Processo	Categoria do Rejeito	Origem	Composição	Tratamento	Reuso/Reciclo
Extração do óleo vegetal	Farinha desengordurada, cascas	Limpeza, preparação e moagem de grãos, bagas e amêndoas	Proteínas, fibras e celulose, com teor de umidade de 40-60%		Co-geração de energia elétrica, obtenção de composto (adubo orgânico), produção de ração animal, produção de aglomerados
Extração do óleo vegetal	Particulados	Limpeza, preparação e moagem de grãos, bagas e amêndoas	Farelo e outras partículas sólidas	Uso de ciclones, filtros de mangas e lavadores úmidos	
Extração do óleo vegetal	Efluentes	Extração do óleo com solvente	Baixa DBO, farelo dissolvido em suspensão e traços do solvente (normalmente n-Hexano)	Tratamento de aeração forçada seguida do polimento em lagoas.	
Refino do óleo vegetal/ Preparo da matéria-prima	Efluentes, Gomas, Borrás	Processos químicos: Branqueamento, Neutralização, Degomagem. Processo físico: Desodorização	Efluente rico em fosfatos, sabões, metais, leticinas, ceras e substâncias coloidais. Características específicas do efluente: Alta DQO (faixa de 4000 a 6000 mg/L) e alto teor de óleos e graxas, sulfatos, sólidos em suspensão, nitrogênio, fosfatos, compostos fenólicos, metais pesados, catalisadores, substâncias oxidáveis	Processos físico-químicos (flotação, floculação e coagulação) seguido por tratamento biológico (lodos ativados, lagoas de polimento, etc).	Obtenção de composto (adubo orgânico), utilização na indústria química.
Produção de Biodiesel	Ácido Graxo	Processo de refino físico/químico de óleo vegetal e/ou matéria graxa, processo de transesterificação e do tratamento da glicerina	Líquido oleoso, de coloração levemente amarelada (propriedades químicas dependem do óleo utilizado)		Combustível para caldeiras; Esterificação para produção de B100
Produção de Biodiesel	Glicerina	Processo de transesterificação	Nome Químico: 1, 2, 3- Propanotriol Nome Comum: Glicerol/Água de processo		Utilização na indústria química; Combustível para caldeiras (queima controlada);
Produção de Biodiesel	Água dos condensadores e água condensadas nos exaporadores	Processo de secagem (óleo vegetal, glicerina e biodiesel) e da destilação da glicerina e do éster	Água de processo	Resfriamento, desaeração	Reciclagem no processo de geração, lavagem dos filtros, preparo de soluções
Produção de Biodiesel	Efluente de Lavagem do biodiesel	Lavagem do biodiesel	Sabão, resíduo de catalisadores e água acidificada. Características específicas do efluente: DBO na faixa de 3000 a 4000 mg/L, DQO entre 60000 a 80000 mg/L, presença de ácidos, bases e sais.	Processos físico-químicos (Flotação, floculação e coagulação) seguido por tratamento biológico (lodos ativados, lagoas de polimento, etc).	
Produção de Biodiesel	Sal	Filtragem	Resíduos do dessecante utilizado, NaOH ou KOH		Obtenção de composto (adubo orgânico).
Tratamento de Glicerina	Resíduo Glicérico	Destilação da Glicerina	Resíduos obtidos na destilação da glicerina: ácidos graxos livres e impurezas minerais inerentes à matéria-prima.		Energia, adubo orgânico, produção de álcool, catalisador.

Fonte: SPTC, 2009.

Com relação ao processo de produção, o biodiesel é predominantemente produzido por uma reação denominada transesterificação, que consiste em uma reação de triglicerídeos (óleos vegetais ou gorduras animais) com um intermediário ativo, formado pela reação de um álcool de cadeia curta (metanol ou etanol) e um catalisador, produzindo uma mistura de ésteres (o biodiesel) e o glicerol, como um coproduto (PARENTE, 2003). Assim consiste na separação da glicerina do óleo vegetal, cerca de 20% de uma molécula de óleo vegetal é formada por glicerina (DALL'AGNOL, 2010). A glicerina torna o óleo mais denso e viscoso. Durante o processo de transesterificação, a glicerina é removida do óleo vegetal, deixando-o mais fino e reduzindo a viscosidade. As etapas do processo de transesterificação são mostradas na Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma da Fabricação do Biodiesel por Transesterificação.



Fonte: Adaptado de PARENTE, 2003.

Os principais resíduos produzidos na Usina de fabricação de biodiesel que foi objeto do nosso estudo foram a borra de óleo de algodão, água de lavagem, torta de oleaginosas, glicerina e lodo de estação de tratamento de esgoto. Esses resíduos foram utilizados em nossa pesquisa para avaliar o potencial produtivo de biogás através de reatores de bancada, utilizando metodologia empregada nos estudos de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), desenvolvida por *Alves, 2008*, no qual será mais detalhado no Capítulo 3.

Biodegradação Anaeróbia

Os processos de digestão anaeróbia, ou biodegradação anaeróbia podem ser utilizados para o tratamento de qualquer material de origem orgânica. O tratamento de resíduos urbanos, agropecuários e de efluentes domésticos e industriais representa, atualmente, a principal aplicação desses processos em escala que permite o aproveitamento do biogás produzido (ZANETTE, 2009).

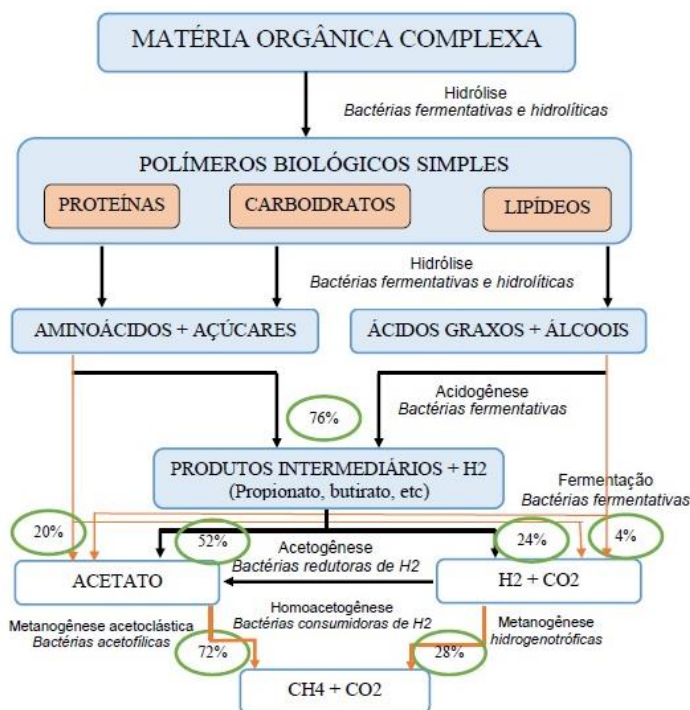
Em todos os processos de digestão anaeróbica da matéria orgânica apresentados, três etapas básicas estão envolvidas: hidrólise, fermentação (também conhecida como acidogênese) e metanogênese. A primeira etapa, para a maioria dos processos de fermentação, na qual o material particulado é convertido em compostos solúveis que podem então ser hidrolisados em monômeros simples que são utilizados pelas bactérias, que realizam a fermentação, é chamada de hidrólise. Para alguns efluentes industriais, a fermentação pode ser a primeira etapa no processo anaeróbico. O ponto de partida para uma aplicação, em particular, depende da natureza do resíduo a ser processado. A segunda etapa é a fermentação ou acidogênese. No processo de fermentação, aminoácidos, açúcares e alguns ácidos graxos são degradados. Os substratos orgânicos servem tanto como doadores como aceptores de elétrons. Os principais produtos da fermentação são acetato, hidrogênio, CO₂, propionato e butirato. O propionato e o butirato são fermentados posteriormente para também produzir hidrogênio, CO₂ e acetato (ZANETTE, 2009).

Os produtos finais da fermentação (acetato, hidrogênio e CO₂) são, portanto, os precursores para a formação de metano na metanogênese. A energia livre associada com a conversão de propionato e butirato a acetado e hidrogênio requer

que o hidrogênio esteja presente em baixas concentrações no sistema ($\text{pH} < 10^{-4}$ atm), ou a reação não ocorrerá (METCALF & EDDY, 2003).

A terceira etapa, a metanogênese, é realizada por um grupo de microrganismos coletivamente chamados de metanógenos. Dois grupos de organismos metanogênicos estão envolvidos na produção de metano. Um grupo, chamado de metanógenos acetoclásticos, converte o acetato em metano e dióxido de carbono. O segundo grupo, denominado metanógenos utilizadores de hidrogênio, utilizam hidrogênio como doador de elétrons e o CO_2 como aceptor de elétrons para produzir metano. Bactérias dentro dos processos anaeróbicos, denominadas acetógenos, também são capazes de utilizar o CO_2 para oxidar o hidrogênio e produzir ácido acético (Figura 5). Entretanto, como o ácido acético será convertido em metano, o impacto desta reação é pequeno. (ZANETTE, 2009).

Figura 5 - Fluxograma de biodegradação.



Fonte: Adaptado de FIRMO, 2013.

Uma em cada cinco pessoas no planeta – ao todo 1,3 bilhão de pessoas – ainda não tem acesso a eletricidade. Cerca de 2,7 bilhões dependem de madeira, carvão, carvão vegetal ou resíduo animal para cozinhar e aquecer. Na atual conjuntura econômica este quadro é inaceitável, o que torna também uma grande

barreira para a erradicação da pobreza (ONU, 2013). A questão é como o Brasil, um país com enormes proporções geográficas, diversidade climatológica e grande produtor agrícola e de biomassa, pode fazer parte de dados alarmantes que indicam a incoerência na prioridade de gestores públicos? Na contramão deste cenário, há a existência de projetos que buscam atenuar esse panorama vivido pelo país, como podemos verificar na Tabela 2.

Tabela 2 - Unidades de demonstração de produção de biogás – Paraná.

Unidade de Demonstração	Local	Escala	Características	Redução das Emissões
Condomínio de agroenergia com biogás para agricultura familiar/ Ajuricaba	Sanga do Ajuricaba, Marechal Cândido Rondon (PR)	Agricultores familiares, interligados por um gasoduto rural a uma Microcentral Termelétrica	Biogás: 1.014,16 m ³ / dia. Potência Instalada: 100 kVA. (Venda de excedentes)	2.647 ton CO ₂ eq/ ano (Estimado)
Estação de Tratamento de Esgotos - ETE Ouro Verde - SANEPAR	Foz do Iguaçu (PR)	Estação de Tratamento de Esgotos	Pessoas servidas: 40 mil. Potência Instalada: 25 kVA	-
Unidade Produtora de Leite - Cooperativa Lar	Itapuilândia (PR)	UPL com 5 mil matrizes suínas	Biogás: 2.016 m ³ / dia. Potência Instalada: 25 Kva	9.100 ton CO ₂ eq/ ano
Unidade Industrial de Aves - Cooperativa Lar	Matelândia (PR)	Abatedouro com 260 mil aves/ dia	Biogás: 2.000 m ³ / dia. Potência Instalada: 50 kVA	24.000 ton CO ₂ eq/ ano
Unidade Industrial de Vegetais - Cooperativa Lar	Itapuilândia (PR)	Vegetais enlatados e congelados	Biogás: 300 m ³ /dia Potência Instalada: 50 Kva	1.500 ton CO ₂ eq/ ano
Granja Star Milk	Vera Cruz do Oeste (PR)	Granja com 900 vacas leiteiras	Biogás: 720 m ³ /dia Potência Instalada: 50 Kva	1.223 ton CO ₂
Granja Colombari	Foz do Iguaçu (PR)	Estação de Tratamento de Esgotos	Pessoas servidas: 40 mil. Potência Instalada: 25 kVA	4.067 ton CO ₂ eq/ano (Estimado)

Fonte: a autora.

2.2 Caracterização da Usina

A usina de biodiesel no qual foi realizada a pesquisa está localizada no município de Caetés, no agreste de Pernambuco (Figura 6). É uma usina experimental localizada na Zona Rural do Município, que foi implantada no início de 2006 com recursos do Governo Federal.

Figura 6 - Mapa de Localização do Município de Caetés – Pernambuco.



Fonte: Internet.

O município de Caetés faz fronteira com o município de Garanhuns, e está situado a 252 km de distância da capital do estado, Recife. Além da distância geográfica, o município também está socioeconomicamente distante no que tange os Índices de Desenvolvimento Humano (IDH) e consequentemente os índices de qualidade de vida. Na Tabela 3 podemos observar os números que afastam as três realidades dos municípios.

Tabela 1 - Dados Socioeconômicos do Município de Caetés – Pernambuco.

	Caetés	Garanhuns	Recife
Área	330,472 km ²	35.138,00 mil	217,494 km ²
População	27766,00 mil	135.138,00 mil	1.599,514,00 mil
Densidade	84,02 hab./ km ²	286,03 hab./km ²	354,29 hab./ km ²
IDH	0,522	0,666	0,772
PIB	R\$ 115678,00 mil	R\$ 1.201,225 mil	R\$ 33.149,385 mil
PIB Per capita	R\$ 4.321,98	R\$ 9.218,71	R\$ 21.434,88

Fonte: PNUD (2010).

Segundo dados coletados pelo IBGE para o mapeamento da pobreza e desigualdade nos municípios brasileiros em 2003, o município de Caetés tem uma

incidência de pobreza de 68,08% comparada ao município de Garanhuns e de Recife (43,41% e 39,46%), como se pode observar na Tabela 4, o que reflete no padrão de consumo energético da população. Enquanto Garanhuns registra um consumo energético total cidade de 142.760 (Mwh) o consumo registrado no município em Caetés cai drasticamente para ínfimos 8.720 (Mwh). Grande parcela do consumo energético do município está localizada na zona rural (2.510 Mwh), local onde está situada a usina de biodiesel onde foi realizado o estudo, ratificando a necessidade de realizar mais estudos com a finalidade de diversificar a matriz energética na região de forma sustentável, utilizando recursos já disponibilizados no local, além de possibilitar uma maior distribuição de energia para populações vizinhas, diminui o custo energético na própria unidade de produção.

Tabela 4 - Consumo energético - Municípios de Caetés, Garanhuns e Recife.

	Total (Mwh)	Residencial (Mwh)	Industrial (Mwh)	Comercial (Mwh)	Rural (Mwh)	Poderes públicos (Mwh)	Iluminação Pública (Mwh)	Outros (Mwh)
Caetés	8.720	4.357	87	452	2.510	473	822	19
Garanhuns	142.760	58.996	18.139	25.352	7.660	7.077	5.739	19.796
Recife	3.016.146	1.305.241	128.776	1.108.269	323	306.289	74.479	92.769

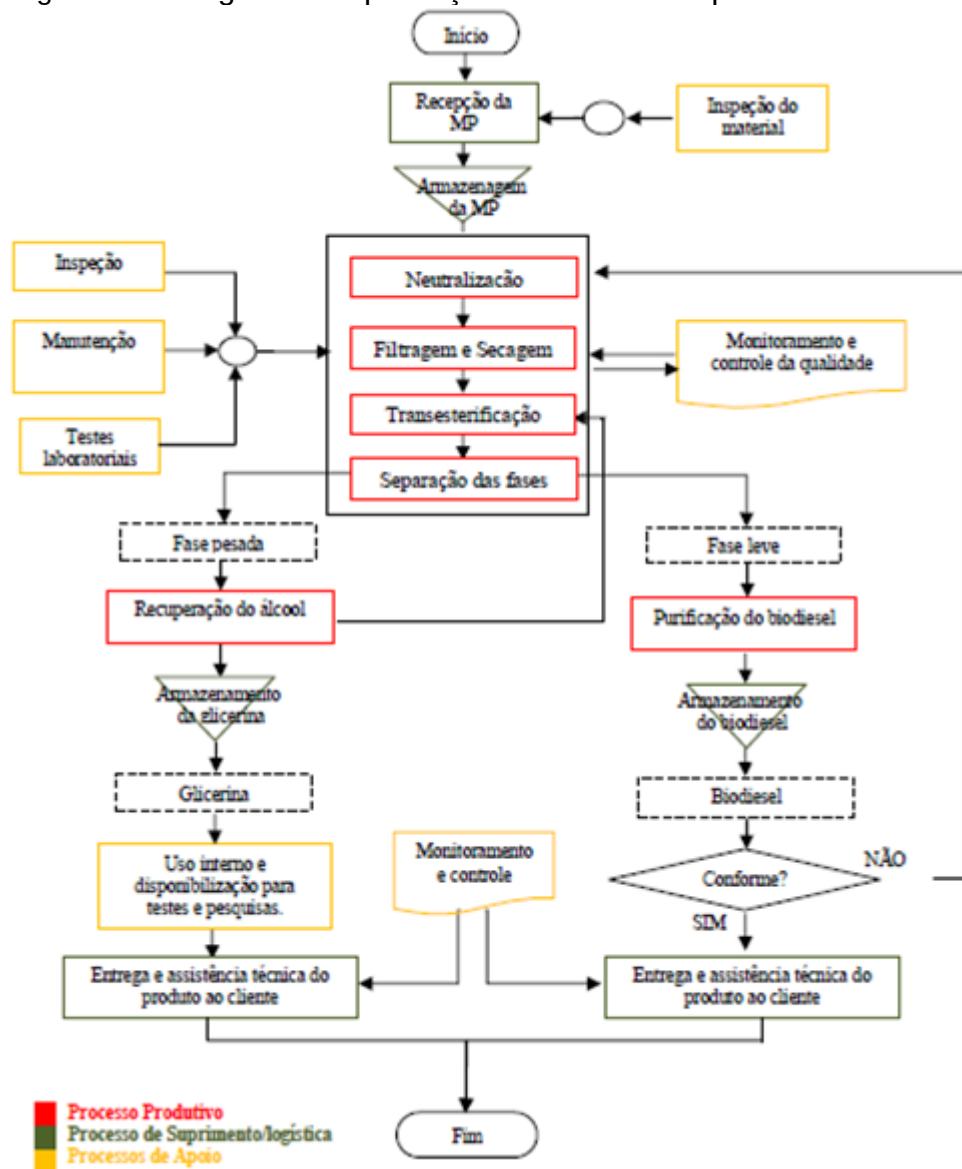
Fonte: BDE ,2014.

A Usina Experimental de Biodiesel de Caetés é uma unidade de processamento de biodiesel que viabiliza soluções tecnológicas inovadoras para o desenvolvimento da cadeia de produção de biocombustível, sendo uma unidade de referência para o desenvolvimento de pesquisas e empreendimentos no setor na Região Nordeste, seu fluxo de produção está ilustrado na figura seguinte.

A Usina, regulamentada pela ANP, possui capacidade de produção de 1m³ de biodiesel/dia, totalizando uma produção anual de aproximadamente 360 mil litros, utilizando óleo vegetal de várias espécies oleaginosas como matéria-prima para produção, sendo mais comum o óleo de algodão (ALMEIDA, 2012). Na unidade, existe um plantio experimental que analisa diferentes culturas de oleaginosas, bem como seus resíduos – borra de óleo. O caroço de Algodão (*Gossypiumhirsutum*) é a principal matéria prima utilizada na unidade, porém o presente trabalho investigou em suas análises a torta de Pinhão Manso (*Jatropha curcas*) – cultura também

promissora para produção de biodiesel – por haver disponibilidade nas coletas que foram realizadas, figura 7 e 8.

Figura1 - Fluxograma de produção da unidade experimental de biodiesel.



Fonte: SOUZA, 2010.

Figura 2 - Acúmulo de resíduos da borra de óleo na usina.



Fonte: a autora.

A usina de Caetés tem licença de funcionamento para fins de pesquisa, sendo assim a geração de resíduos na unidade é pequena, porém em processos como a purificação do biodiesel e recuperação do álcool, existem geração de resíduos e demonstrado quantitativamente. Apesar de ter capacidade de produção maior, a usina respeita o limite estabelecido pela ANP de 1m³/dia, tabela 5.

Tabela 5 - Geração Anual de Resíduos na Usina Piloto de Caetés – PE.

Resíduo/ Coproducto	Quantidade	Disposição	Tratamento	Destinação	Destino	Distância (Km)
Glicerina	30	Tanques	-	Doação/ Armazenamento	Garanhuns - PE	20
Borra de Neutralização do óleo	15	Tanques	-	Armazenamento	Própria Usina	-
Torta de Pinhão Manso	240*	Caçambas	-	Adubação	Própria Usina	-
Água de Lavagem do óleo	30	Tanques de Decantação	-	Fertirrigação	Própria Usina	-
Recicláveis	Não Informado	Abrigo de Resíduos	-	Reciclagem	Própria Usina	20

***Dado estimado através da eficiência do equipamento de prensagem da semente**

Fonte: Adaptado de ALMEIDA, 2012.

3 METODOLOGIA

Os procedimentos de pesquisa utilizados para o estudo consistiram no mapeamento das usinas produtoras de biodiesel no estado, a fim de adotar uma unidade para realização da pesquisa; identificação das matérias primas utilizadas no processo de produção de biodiesel na unidade estudada

3.1 Estudo na Usina Piloto

Realização de visitas técnicas para identificação dos resíduos produzidos no local, bem como, a destinação dada a cada um deles; coletas dos resíduos, e por fim, incubação em reatores e monitoramento da produção de gás no período de 60 dias, figura 9.

Figura 9 - Usina Experimental de Caetés – Pernambuco.



Fonte: a autora.

3.2 Coleta e Amostragem dos Resíduos

Para realização da pesquisa foram utilizados resíduos da Usina de Biodiesel de Caetés – PE. As coletas foram realizadas em Outubro de 2012, na qual foram utilizados bobonas de 05 litros para armazenamento dos resíduos, foram eles: glicerina, torta de pinhão manso, água de lavagem, borra de óleo de algodão.

Figura 10 - Coleta da borra de óleo.



Fonte: a autora.

Figura 11 - Amostra de Torta de Pinhão Manso.



Fonte: a autora

3.3 Ensaio BMP

A avaliação da biodegradabilidade dos resíduos analisados da usina foi feita através do ensaio BMP (*BiochemicalMethanePotential* ou Potencial Bioquímico de

Metano). O ensaio BMP se destina a avaliar a biodegradabilidade dos resíduos com base na produção total de CH_4 em condições ótimas de degradação (ALVES, 2008).

O inóculo utilizado nos ensaios (Lodo) foi proveniente de uma lagoa anaeróbia da Estação de Tratamento de Esgoto da COMPESA, localizada no bairro da Mangueira, Recife – PE. Tão logo ocorreu a coleta, o lodo foi utilizado para o experimento a fim de manter preservado o *pool* de microrganismos presentes na amostra.

No laboratório as amostras foram submetidas à pesagem e trituração, com a finalidade de diminuir partículas dos resíduos, aumentando a superfície de contato do microrganismo com o meio, acelerando o processo de degradação, posteriormente foram formados grupos de ensaios. Utilizou-se frascos de vidro com tampa rosqueável, aos quais foram acopladas válvulas de saída e entrada de gás e um manômetro de 1 kgf/cm^2 , com escala de $0,02 \text{ kgf/cm}^2$, para controle da pressão interna de cada frasco. Os frascos foram envolvidos com papel alumínio para evitar influência da luz durante o processo de biodegradação.

Figura 12 - Frascos BMP.



Fonte: Frascos BMP.

Para preenchimento dos frascos BMP, uma câmara de fluxo laminar com exaustão foi utilizada para possibilitar o manuseio dos frascos preservando suas características e respeitando regras de biossegurança exigida nos laboratórios. Os substratos foram submetidos à degradação nos frascos de vidro de 250 mL, em 07 grupos, realizados em triplicata, como se pode observar na tabela 6.

Tabela 6 - Composição dos grupos analisados no ensaio BMP.

Grupos	Composição	Inóculo	Coproduto
1	Lodo (50 g)	Lodo	Lodo
2	Lodo (50 g) + Glicerina (5 g)	Lodo	Glicerina
3	Lodo (50g) + Torta (5g)	Lodo	Torta
4	Lodo (50 g) + Água de Lavagem (5 g)	Lodo	Água de Lavagem
5	Lodo (50 g) + Borra de óleo (5 g)	Lodo	Borra de Neutralização
6	Lodo (50 g) + Glicerina (2,5 g) +Torta (5 g)	Lodo	Glicerina e Torta
7	Glicerina (50 g) + Torta (5g)	Ausente	Glicerina e Torta

Fonte: a autora.

Grupo 1 – Lodo (50g)

O lodo coletado para a análise desta pesquisa foi na Estação de Tratamento de Esgoto da Mangueira, no bairro de Recife, Pernambuco. O objetivo em coletar o resíduo em outra cidade, foi por conta da proximidade com o laboratório onde foram realizados os testes, mantendo as características iniciais da amostra preservada. Como esta pesquisa propõe um modelo de geração de energia elétrica utilizando resíduos provenientes da usina de biodiesel de Caetés, propõe-se que esta coleta seja realizada na ETE do município de Caetés ou municípios próximos.

Grupo 2 – Lodo (50g) + Glicerina (5g)

Para cada 100 L de biodiesel produzidos, são gerados 10 Kg de glicerina bruta. Com a excessiva oferta, o mercado – tradicionalmente o mercado de cosmético- não tem elasticidade para absorver esse montante de coprodutos, o que, a longo prazo, com o aumento da produção de biodiesel exigida pela legislação, apenas irá agravar esse quadro, tornando necessário o teste com a glicerina, onde neste trabalho foi pesquisado em 3 condições. No grupo um, foi proposto uma mistura do inóculo com a adição de 10% de glicerina no meio.

Grupo 3 – Lodo (50g) + Torta (5g)

A usina de biodiesel de Caetés trabalha com mais de um tipo de matéria prima, sendo o caroço de algodão utilizado com maior frequência. Durante todas as visitas feitas no local para realizar coletas, a oleaginosa presente no instante da visita foi a torta de pinhão manso (*Jatropha curcas*), que produz óleo em quantidades desejáveis para a produção de biodiesel. O óleo de pinhão manso tem em sua característica sua alta toxicidade, tornando a torta inadequada para uso como fertilizante ou alimentação animal (ADERIBIGBE, 1997). Portanto a codigestão anaeróbia deste coproduto é uma opção para a produção de biogás.

Grupo 4 – Lodo (50g) + Água de Lavagem (5g)

As águas de lavagem obtida após a etapa de purificação contêm basicamente resíduo de sabões de sódio ou potássio, além dos ácidos graxos, glicerina, álcool (metanol ou etanol) e outros contaminantes. Nesta etapa, é gerada uma grande quantidade de efluente, de 20 a 120 L por cada 100 L de biodiesel (BANDA, 2011). Em geral, estas águas resultantes do processo de lavagem do biodiesel apresentam-se quimicamente inadequadas para serem lançadas a qualquer corpo hídrico sendo, do ponto de vista de preservação ambiental, necessária a adoção de técnicas de tratamento para este efluente (BANDA, 2011).

Grupo 5 – Lodo (50g) + Borra de óleo (5g)

Através do processo químico da neutralização, são removidos os ácidos graxos livres, dando origem às borras aciduladas. As borras são utilizadas na fabricação de sabão e ração animal (MMA, 2006).

Grupo 6 – Lodo (50g) + Glicerina (2,5g) + Torta (2,5g)

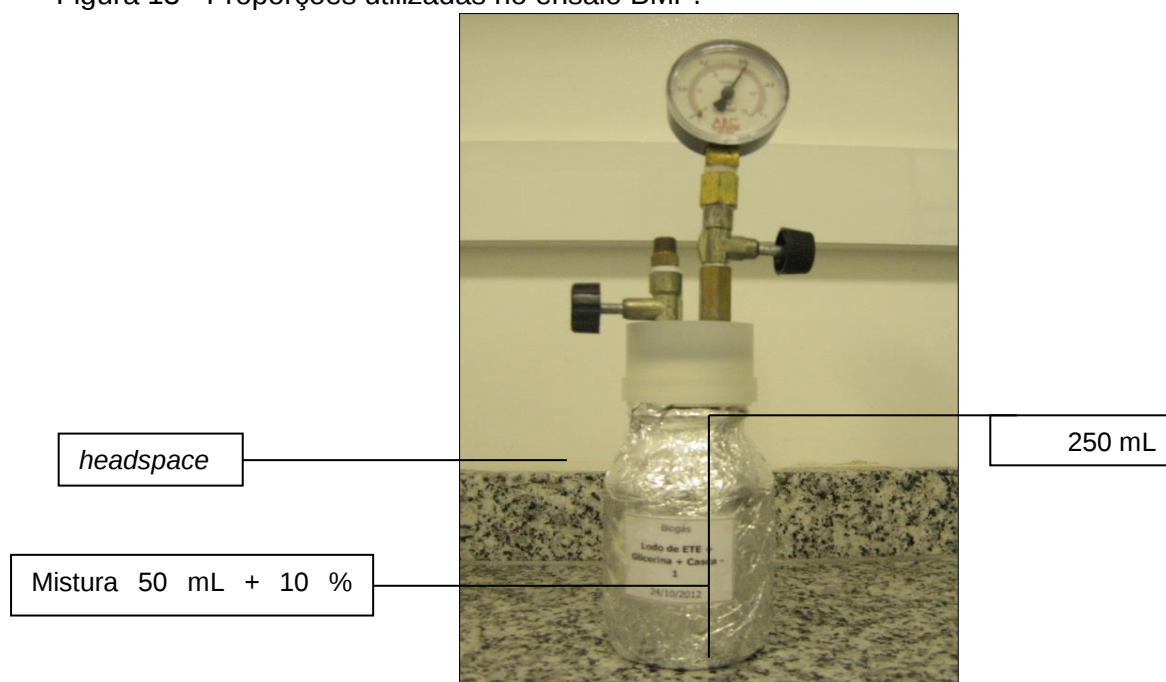
Foi analisada essa mistura com a finalidade de observar o comportamento da interação da glicerina e torta em consórcio com o lodo.

Grupo 7 – Glicerina (5g) + Torta (5g)

Objetivou-se investigar a interação da glicerina com a torta na ausência do lodo, para buscar resultados sobre a importância da presença do lodo na biodegradação dos resíduos.

Foram colocados 50mL de inóculo nos grupos 1, 2, 3, 4, 5 e 6, com adição de suas respectivas misturas citadas acima, exceto pelo Grupo 1, o controle. O grupo 7 foi formado apenas de Glicerina e Torta, com a finalidade de observar a influência do lodo nesta mistura. Todos os frascos foram fechados e submetidos à circulação de uma mistura gasosa contendo 80% de N_2 e 20% de CO_2 , com o objetivo de proporcionar a eliminação da atmosfera aeróbia existente nos frascos. Após dois minutos de entrada e saída da mistura gasosa, as válvulas foram fechadas e o manômetro acoplado, figura 13.

Figura 13 - Proporções utilizadas no ensaio BMP.



Fonte: a autora.

Os frascos foram mantidos a 37°C durante 60 dias e, neste período, ocorreu monitoramento diário da pressão e temperatura interna dos frascos. De acordo com a pressão atingida no interior dos frascos, como pode ser observado nas seguintes.

Figura 14 - Preenchimento dos frascos com os substratos.



Fonte: a autora.

Figura 15 - Incubação Frascos em estufa a 37°



Fonte: a autoa

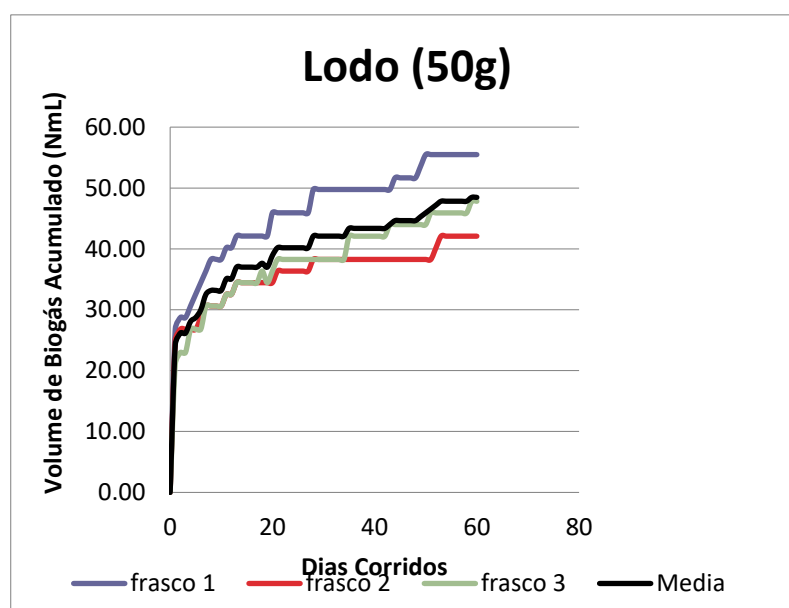
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Justificado pela eficiência dos microrganismos presentes em seu meio que aumentam a atividade microbiológica proporcionando a produção de biogás, também foram realizadas análises de BMP com o lodo sem nenhuma adição de mistura, com a finalidade de obter um dado comparativo com os outros resultados.

4.1 Análise da Geração de Biogás

Como se pode observar, a geração média acumulada ao longo dos 60 dias de monitoramento foi de 48,46 NmL e o potencial de geração de biogás de 0,96926 NmL/g, figura 16.

Figura. 16 - Geração de biogás nas amostras de Lodo.



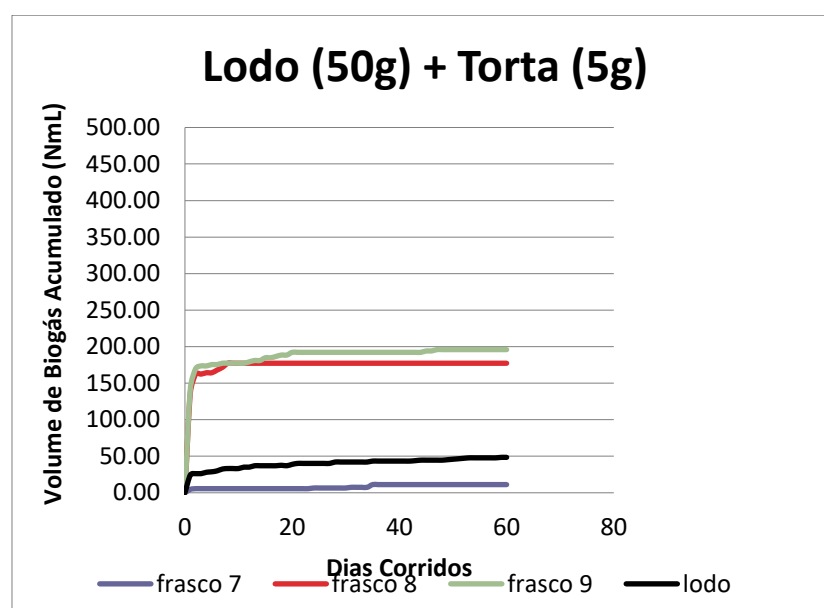
Fonte: a autora.

4.1.1 Análise do Lodo x Torta

Durante a realização do ensaio BMP, notou-se que houve uma geração de biogás no frasco de 186,4 NmL, superior ao volume produzido no controle (grupo 1). Subtraindo este valor com o valor produzido pelo lodo, temos um volume de biogás acumulado de 138,18 NmL e um potencial de geração de 27,6352 NmL/g. Como a

geração do gás metano é aproximadamente 50% do valor obtido de biogás (FIRMO, 2009), tem-se que o potencial de biogás produzido nessa amostra foi de 13,81 NmL/g. Conforme Robra (2009) que também testou o pinhão manso (*Jatropha curcas*) em uma atmosfera aquecida a 37°C e na ausência de luz, os resultados do experimento mostraram que a produção de biogás é satisfatória, tendo mistura com a glicerina bruta, mostrando alta capacidade para a produção de biogás, figura 17.

Figura 17 - Geração de biogás nas amostras de Lodo - adição de 10% de Torta

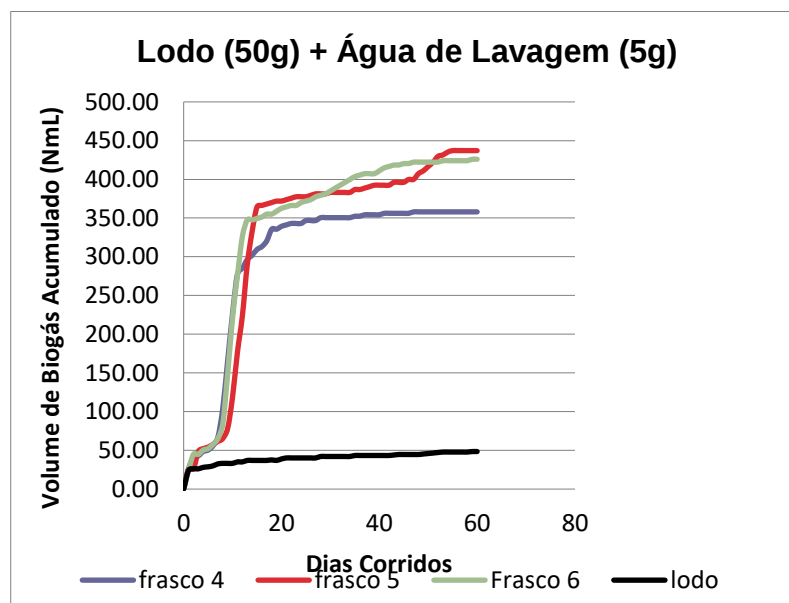


Fonte: a autora.

4.1.2 Análise do Lodo x Água de Lavagem

O potencial de geração de CH₄ presente nesta amostra foi de 76,61 NmL/g e um volume de biogás acumulado de 383,06 NmL, números significativos comparados aos analisados nos outros grupos. A água de lavagem do biodiesel contém uma quantidade alta de óleo diluído, o que favoreceu a biodegradabilidade do meio, figura 18.

Figura 18 - Geração de biogás nas amostras de Lodo - adição de Lavagem

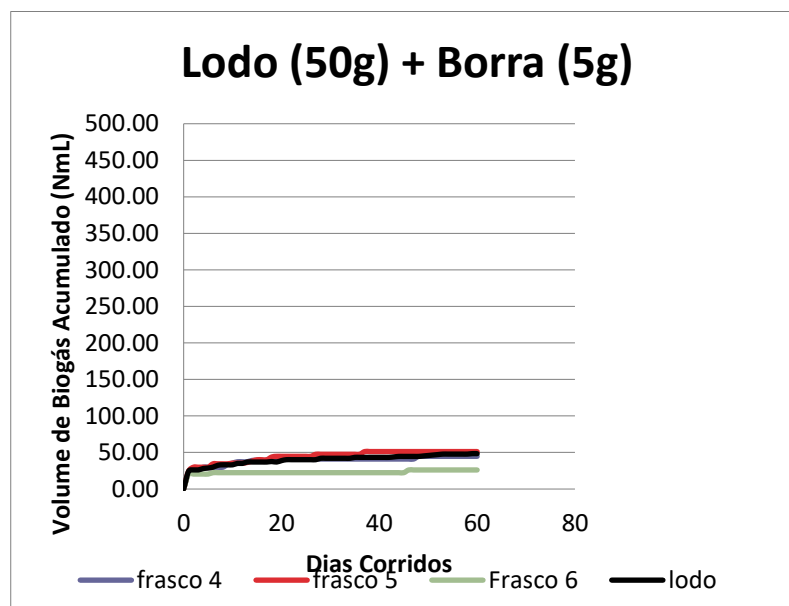


Fonte: a autora.

4.1.3 Análise do Lodo x Borra de Neutralização do Óleo

Observou-se nesta mistura que houve inibição na atividade microbiana na amostra, sendo o valor de média acumulada de biogás e o potencial de geração de CH_4 na amostra inferior ao valor alcançado pelo inóculo Grupo 1, (48,46 NmL e 0,96926 NmL/g respectivamente) apresentando resultado negativo. Através das características físicas, observou-se que a borra de óleo contém um alto teor de ácidos graxos, tornando o meio ácido para as bactérias fermentativas, gerando um baixo índice de biodegradação, conforme a figura 19.

Figura 19 - Geração de biogás nas amostras de Lodo com adição de Borra.



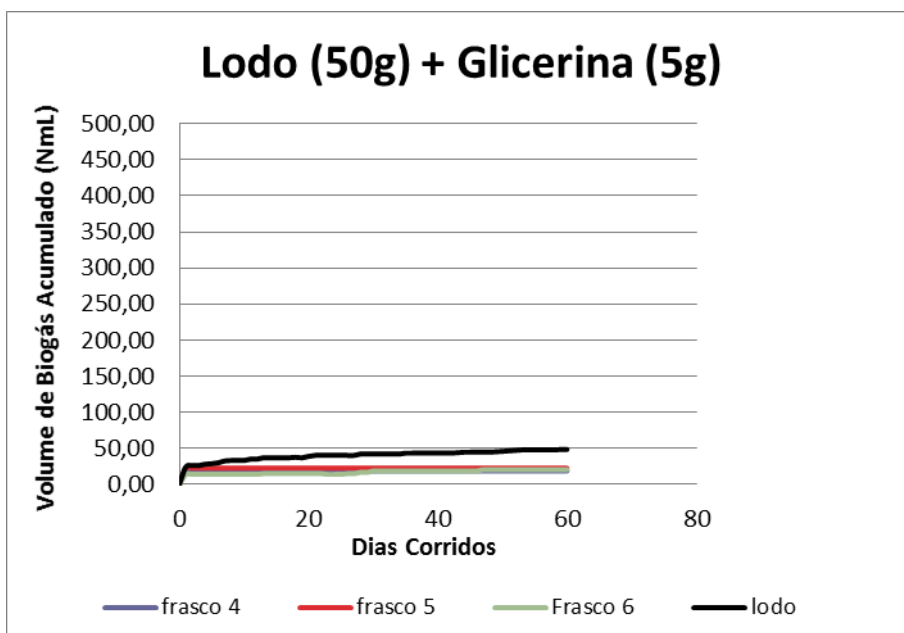
Fonte: a autora.

Análise do Lodo x Glicerina

Situação 1 – Análise Lodo x Glicerina

É possível observar que houve inibição na geração de biogás no meio, o que não permitiu que fosse definido o potencial de geração de biogás nessas condições. Conforme Chen (2008), apenas houve melhora na produção de biogás quando diminuiu a concentração da glicerina no meio, enquanto (Amon, 2006), testou diferentes porcentagens de suplementação de glicerina, sendo o percentual de 6% o mais favorável para produção de biogás, proporcionando aumento produção. Na literatura, a grande maioria dos trabalhos publicados indicam que a produção aumentou com o aumento da porcentagem de glicerina no reator (ROBRA,2006), tornando futuros testes necessários nas mesmas condições e com os mesmos resíduos para confirmar a presença em maior ou menor concentração para a produção de biogás com o lodo. Na usina estudada, como não há uma matéria prima padrão para produção de biogás, a glicerina utilizada nos experimentos sempre terá um comportamento distinto ao de outra glicerina oriunda de outra matéria prima, em pesquisas futuras sugere-se que todas as matérias primas utilizadas na usina sejam testadas a fim de obter um padrão para cada substrato.

Figura 20 - Geração de biogás nas amostras de Lodo - adição de Glicerina.

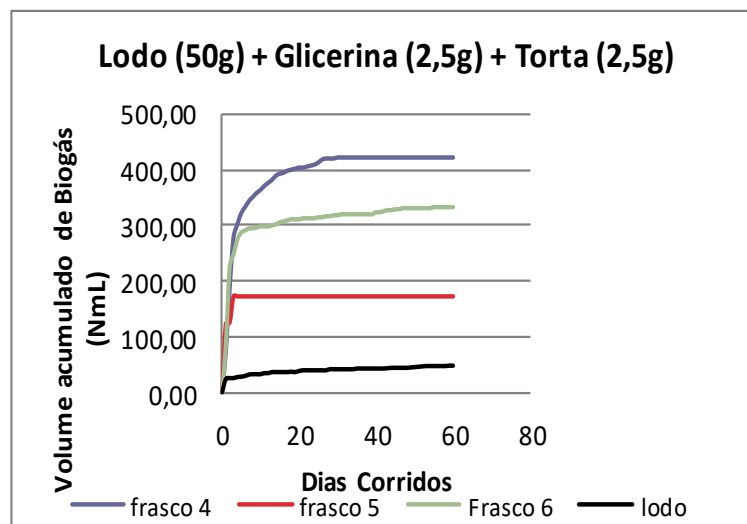


Fonte: a autora.

Análise Lodo x Glicerina x Torta

No ensaio realizado com o Lodo e a Glicerina demonstrou que houve inibição na atividade microbiana resultando em uma baixa geração de biogás, na presente amostra onde foi diminuído a quantidade de glicerina para 2,5g e adicionado 2,5g de glicerina, a sinergia entre os três resíduos colaborou para uma eficiente produção energética, resultando num volume de 328, 87 NmL e em uma potência de produção de CH₄ 32,8873 NmL/g.

Figura 21 - Geração de biogás nas amostras de Lodo - adição Glicerina e Torta.

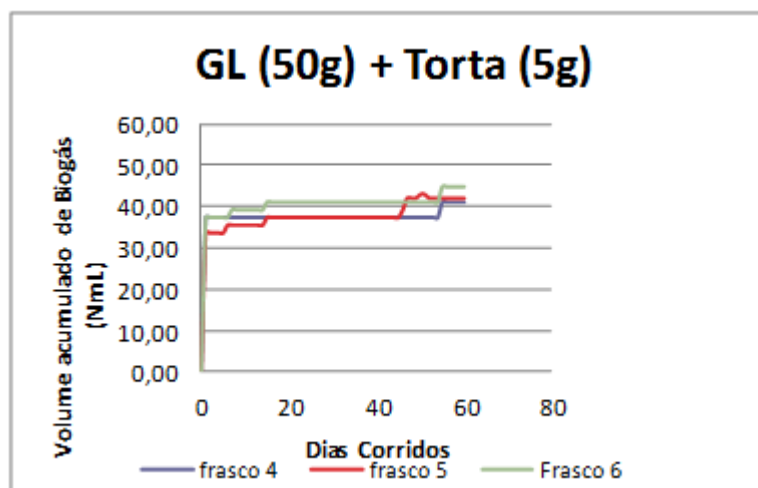


Fonte: a autora.

Análise Glicerina x Torta

Este ensaio foi realizado com o intuito de avaliar capacidade de produção da glicerina em adição com o lodo. Observou-se que não foi possível produção do biogás utilizando a glicerina e a torta em proporções de 90% de glicerina e 10% de torta com a ausência do inóculo, havendo inibição. Com valores menores que 5% há a possibilidade de que não haja inibição e obtenha-se um melhor aproveitamento da geração de biogás.

Figura 22 - Geração de biogás nas amostras de Glicerina com adição de Torta.



Fonte: a autora.

4.2 Capacidade de Geração de Energia Elétrica

4.2.1 Simulação

Segundo dados coletados pela autora a usina de biodiesel consome 5600 kW/mês, ou seja, 7,77 kW/h. Calculando a conversão teremos:

Se, 1 W = 1 J/s:

$$\begin{aligned}
 \text{kJ/mês} &= \frac{1000 \text{ J}}{30 \times 24 \times 60 \times 60 \text{ s}} \\
 W &= \text{Gerada / mês} = 3,858 \times 10^{-4} \\
 1W &= \frac{1000 \text{ J}}{2.592.000} \text{ J/s} \\
 &= 3,858 \times 10^{-4} \text{ J/s} = 1 \text{ kJ/mês}
 \end{aligned}
 \quad
 \begin{aligned}
 &\text{Energia} \\
 &(\text{kJ/ mês}) \times \\
 &\text{J/s}
 \end{aligned}$$

$\text{Energia Gerada/ mês} = \text{Poder Calorífico CH}_4 (\text{kJ/ m}^3) \times \text{Volume m}^3/\text{ mês}$

Segundo (MACIEL, 2009), o poder calorífico inferior do CH₄ = 35600 kJ/ m³, temos então:

$$\text{Energia Gerada/ mês} = 35600 \text{ kJ/ m}^3 \times 502,01 \text{ m}^3/\text{ mês}$$

$$\text{Energia Gerada/ mês} = 17.874.760 \text{ KJ/ mês}$$

$W = 6,89 \text{ kW}$

$$W = 17.874.760 \times 3,858 \times 10^{-4}$$

$$\rightarrow \underline{6,89 \text{ kW}}$$

35 kWh = 20% de eficiência energética.

Sendo assim, com os resíduos colocados em condições ótimas de biodegradação, respeitando as proporções feitas neste estudo, a usina tem condições de mitigar 20% de seu consumo energético por dia, tabela 7, 8 e 9.

Tabela 7 - Valores de energia e potência instalada - usina de biodiesel Caetés.

Energia				Potência instalada
Volume m3/mês	Poder Calorífico CH4 (KJ/m3)	Energia gerada/ mês (kJ/mês)	W	Kw
502,1	35600	17.874.760	6.896	6,89608241

Fonte: a autora.

Tabela 8 - Energia consumida/ dia na usina e % de potência.

Energia consumida (Kwh)	Energia que pode ser gerada (Kwh)	% Energia gerada /consumida
35	6,9	19,7

Fonte: a autora.

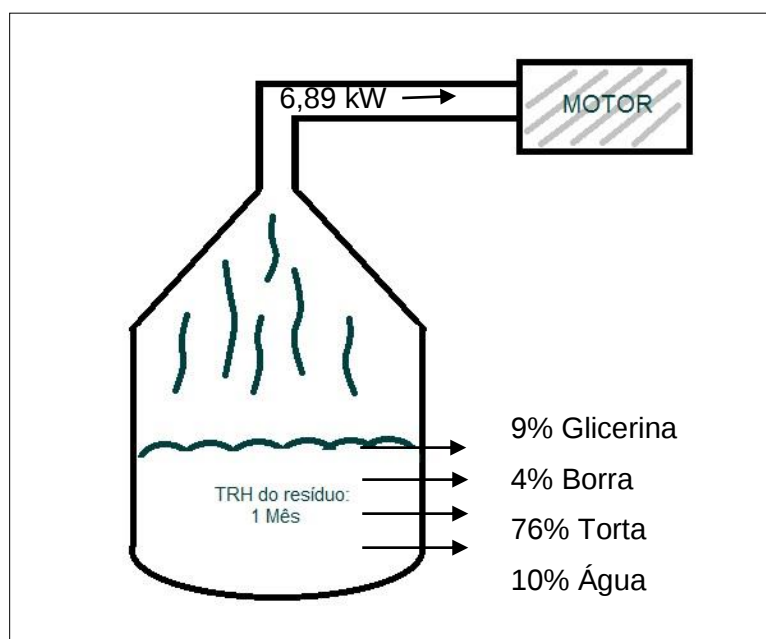
Tabela 9 - Potencial de CH₄ dos resíduos gerados na usina.

	Massa do Resíduo/ mês (g/mês)	Potencial CH ₄ (NmL/g)	CH ₄ Recuperado (NmL)	CH ₄ Recuperado (m3)
Torta	20.000.000	13,82	276.400.000	276,4
Água	2.500.000	38,31	95.775.000	95,775
Borra	1.250.000	0	0	0
Glicerina	2.500.000	51,97	129.925.000	129,925
Total		104,1	502.100.000	502,1

Fonte: a autora.

Observa-se a proporção de resíduos gerados na usina, propõe-se um biodigestor com capacidade de absorver 31,25 toneladas dos resíduos produzidos, respeitando as condições propostas nas análises de BMP. O único resíduo que ultrapassa a proporção sugerida é a torta, sendo necessário o excedente receber outra destinação.

Figura 23 - Proporção a ser utilizada no biodigestor para produção de biogás.



Fonte: a autora.

Tabela 10 - Proporção de resíduos gerados na usina.

Proporção em %	Quantidade/(m³/mês)	Resíduo/Coproduto	Quantidade (ton/ ano)
9,52	2,5	Glicerina	30
4,76	1,25	Borra de Neutralização do óleo	15
76,19	20	Torta	240
9,52	2,5	Água de Lavagem do óleo	30

Fonte: a autora.

5 CONCLUSÕES

O ensaio BMP apresenta-se como uma boa ferramenta para quantificar o potencial de geração de biogás de resíduos de agroindústria. Com a utilização de medições dos gases gerados e a obtenção dos dados de volume de produção de biogás, obtêm-se parâmetros de quantificação de produção das misturas.

A pesquisa realizada nos diferentes grupos mostrou influência nas quantidades sobre o potencial de geração de biogás.

Em relação à amostra contendo borra e glicerina, mostrou que altas quantidades de resíduos com ácidos graxos inibem a atividade microbiana.

O potencial de geração de biogás dos resíduos gerados no aterro colabora com a diminuição do gasto energético da usina em 20%.

5.1 Sugestões para Pesquisas Futuras

Realizar análises físicas e químicas com a finalidade de obter mais confiabilidade nos resultados.

Realizar testes com os resíduos em outras proporções assim como refazer testes com o óleo da borra, a água de lavagem e a torta, oriundas de outras matérias primas utilizadas na pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Kelma Maria Vitorino **Logística reversa para gestão de resíduos e coprodutos da cadeia de biodiesel – estudo de caso em usinas do nordeste brasileiro**. 2012. 197 f. Tese (Doutorado) Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2012.

ALVES, Ingrid Roberta França Soares. **Análise experimental do potencial de geração de biogás em resíduos sólidos urbanos**. 2008. 134 f. Dissertação (Mestrado) Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2008.

BENSTSEN, Nicolas Scott; FEBLY, Claus. Technical potentials of biomass for energy services from current agriculture and forestry in selected Countries in Europe, the Americas and Asia. **Forest & Landscape: Forest & Landscape**, Dinamarca, v. 7, n. 55, p.1-32, 13 ago. 2010. Disponível em: <<http://sl.ku.dk/rapporter/publikationer/publikationsliste/?pure=files/32260673/techpotentbiomasswp55.pdf>>. Acesso em: 13 ago. 2013.

BRASIL. Congresso. Senado. Constituição (2006). Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. **Lei Federal nº 11.428**: Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Brasília, 22 dez. 2006. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/mapa_de_aplicao_da_lei_11428_mata_atlantica.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2013.

BRASIL. Congresso. Senado. Constituição (2010). Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Lei Federal nº 12.305**: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, 02 ago. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 26 abr. 2013

BRASIL. Congresso. Senado. **Lei Federal Nº 11.097**. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm>. Acesso em 09 de fev de 2013.

BRASIL. **Estudo referente aos impactos ambientais na cadeia produtiva, distribuição e uso de biodiesel**. Brasília: Ministério de Meio Ambiente, 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/governanca-ambiental/portal-nacional-de-licenciamento-ambiental/licenciamento-ambiental/estudos-ambientais>> Acessado em 17 de out. 2013.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO. **Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011**. Brasília: Imprapa Informação Tecnológica, 2006. 109 p. Disponível em: <http://bbeletronica.sede.embrapa.br/bibweb/bbeletronica/2006/inst/inst_11.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2012.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. . **Boletim Mensal dos Combustíveis Renováveis**. 48. ed. Brasília: Departamento de Combustíveis Renováveis, 2012. 23 p. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1992924/Boletim_DCR_nx_048_-_janeiro_de_2012.pdf/27e37946-0fce-4fac-bc8b-82bc0051eb7e>. Acesso em: 25 mar. 2013.

BRASILIA'. CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. . **Estudo prospectivo. Visão de Futuro e Agenda INI – Biotecnologia: 2008-2025**. 2010. Disponível em: <[http://www.abdi.com.br/Estudo/Estudo Prospectivo Biotecnologia.pdf](http://www.abdi.com.br/Estudo/Estudo%20Prospectivo%20Biotecnologia.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2012.

BRASILIA. João Wagner Silva Alves. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **EMISSIONES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO TRATAMENTO E DISPOSICIÓN DE RESÍDUOS**. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2010. 100 f.

COMPANHIA DE ELETRICIDADE DE PERNAMBUCO. **Consumo de energia elétrica**. Disponível em: http://bde.pe.gov.br/visualizacao_formato2.aspx?codinformacao=416&Cod=3>. Acesso em 09 de fev . 2013.

CORTEZ, Luis Augusto Barbosa; LORA, Electo Eduardo Silva; GÓMEZ, Edgardo Olivares. **Biomassa para Energia**. Campinas: Editora da Unicamp, 2008. 733 p.

DALL'AGNOL, Amélio. Por que fazemos Biodiesel de Soja. **Biodiesel Br**, Curitiba - Paraná, v. 2, n. 002, p.1-3, 14 dez. 2007. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/noticias/colunistas/convidado/porque-fazemos-biodiesel-de-soja.htm>>. Acesso em: 10 out. 2013.

DEMIBRAS, Ayhan; OZTURK, Temel; DEMIRBRAS, MuhammetFatih. Recovery of Energy and Chemicals from Carbonaceous Materials. **Energy Sources, Part A , Recovery, Utilization, And Environmetral Effects**, Reino Unido, v. 28, n. 16, p.1473-1482, 23 nov. 2006. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/009083190932169>>. Acesso em: 14 out. 2013.

DEMIRER, Goskel N; S, Chen. Anaerobic biogasification of undiluted dairy manure in leaching bed reactors. **Science Direct, Waste Management**, Reino Unido, v. 1, n. 28, p.112-119, 16 jan. 2007.

FERNANDES, Dangelia Maria et al. Biomassa como fonte alternativa de energia. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA, 6., 2011, Curitiba. **Congresso**. Curitiba: Revista da Madeira, 2014. p. 1 - 3.

FIRMO, Alessandra Lee Barbosa. . **Estudo numérico e experimental da geração de biogás a partir da biodegradação de resíduos sólidos urbanos**. 2013. 288 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologias e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

FIRMO, Alessandra Lee Barbosa. **Análise Numérica de Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos: Calibração de Experimentos em Diferentes Escalas**. 2008. 156 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

GALBIERI, Rodrigo. Situação atual e perspectivas futuras dos biocombustíveis para uso no setor de transportes Brasileiro e mundial. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIONERGIA, 6., 2011, Curitiba. **Congresso**. Curitiba: Biomassa & Energia, 2011. p. 5 - 8.

HOLANDA, Ariosto. **Biodiesel e Inclusão Social**. 2004: Câmara dos Deputados, 2004. 186 p. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/a-camara/estruturaadm/altosestudios/pdf/biodiesel-e-inclusao-social/biodiesel-e-inclusao-social>>. Acesso em: 20 set. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico 2000 e Pesquisa de Orçamentos Familiares - POF 2002/2003, **Mapa de pobreza e desigualdade - municípios brasileiros – 2003**. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/QC01>>. Acesso em 09 de fev. 2013.

MACEDO, Alice Lopes et al. AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE COPRODUTOS DA CADEIA DO BIODIESEL PARA PRODUÇÃO DE ETANOL. In: XX CONGRESSO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 20., 2014, Florianópolis. **Congresso**. Florianópolis: BlucherChemicalEngineeringProceedings, 2015. v. 20, p. 1 - 8. Disponível em: <<http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/cobeq2014/0679-24464-162191.pdf>>. Acesso em: 30 dez. 2014.

MACIEL, Felipe Jucá. **Geração de biogás e energia em aterro experimental de resíduos sólidos urbanos**. 2009. 355 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2009.

MARRA, Renner; GOES, Tarcísio.; ARAÚJO, Marlene de. **Biodiesel e sua sustentabilidade**. Disponível em: <http://www.embrapa.br/imprensa/artigos/2010/Trabalho_biodiesel_11_de_janeiro_d_e_2010-versao_final.pdf>. Acesso em 20 de fev. 2013.

MEETCALF, Leonard; EDDY, Harrison P. **Wastewater Engineering treatment Disposal Reuse**. 4. ed. New York: Hill Book, 2003. 1815 p.

O, ADERIGIBE A. et al. Chemical composition and effect of heat on organic matter- and nitrogen-degradability and some antinutritional components of Jatropha meal. **Animal Feed Science And Technology**, Amsterdã, v.2, n.67, p.223-243, jul.1997. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377840196011364>>. Acesso em: 19 dez. 2013.

OLIVEIRA, Jackson Silva e et al. . Glicerina, coproduto do biodiesel: restrições qualitativas para uso na alimentação animal. In: 5º CONGRESSO DA REDE

BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODISEL, 5., 2012, Salvador. **Separatas**. Salvador: Revista Bahia Indústria, 2012. p. 1 - 2.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – RIO + 20 O FUTURO QUE QUEREMOS. **Fatos sobre energia sustentável**. Rio de Janeiro, jul. 2012. Disponível em:

<http://www.onu.org.br/rio20/energia.pdf>>. Acesso em 20 de jul .2013.

PARENTE, E. J. S. **Biodiesel**: uma aventura tecnológica num país engraçado. UniGráfica. 66p. Fortaleza-CE, 2003.

PINHEIRO, Bárbara de Fátima Soares; VALDEZ, Isabella de Sousa; MAIA, Suellen Gonçalves. Biodiesel: uma nova fonte de energia obtida pela reciclagem de óleos residuais. **Bolsista de Valor**, Campos dos Goytacazes - RJ, v. 1, n. 1, p.417-426, jan. 2010.

Portal Brasil. **Oleaginosas brasileiras**. 2010. Disponível em:

<<http://www.brasil.gov.br/ciencia-e-tecnologia/2010/10/oleaginosas-brasileiras-variadas-podem-gerar-biodiesel>>. Acesso em: 17 set. 2010.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil 2013, Atlas Metropolitano do Recife-PE**.

Disponível em: <<http://www2.recife.pe.gov.br/a-cidade/atlas-metropolitano/>>.

Acessado em 31 de jul . 2013.

RIO DE JANEIRO. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, **Estimativa Populacional 2013**. Censo Populacional 2013. Disponível em: <

ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2013/estimativa_2013_dou.pdf>. Acesso em: 29 de ago. 2013.

RIO DE JANEIRO. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **. METODOLOGIA DAS ESTIMATIVAS DA POPULAÇÃO RESIDENTE NOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS PARA 1º DE JULHO DE 2011**. 2.ed. Rio de Janeiro:

Ibge, 2011. Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2011/metodologia_08112011.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2013.

ROMERO, Joel A Palomino - et al. Tratamentos dos efluentes gerados na produção de biodiesel. **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 2, p.367-378, ago. 2012

SOUZA, Thibério Pinho Costa. **Simulação de uma planta piloto de Biodisel com estudo da viabilidade econômica preliminar utilizando o ASPEN/ HYSYS**. 2011. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Centro de

Tecnologias e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011. Disponível em:

<http://repositorio.ufpe.br/bitstream/handle/123456789/6345/arquivo213_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 14 jan. 2013.

STPC ENGENHARIA DE PROJETOS LTDA (Curitiba). **Diagnóstico da Produção do Biodisel no Brasil**. 2006. Disponível em:

<http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/item_4.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2013.

UNIÃO BRASILEIRA DO BIODISEL. **O Combustível da Sustentabilidade. O Combustível ecológico que mudou a matriz energética.** Revista Institucional, Brasília-DF, 2009.

VIEIRA, M. D.; SECCO, D.; SANTOS, R. F.; WERNER, O, V.; CORRÊIA, A. F.; VELOSO, G. **Fontes alternativas de energia e os impactos ambientais causados pelo uso de combustíveis fósseis.** In: 6º Congresso Internacional de bioenergia. Curitiba-PR-Brasil, 2011.

YANG, Yingnan; TSUKAHARA, Kenichiro; SAWAYAMA, Shigeki. Biodegradation and methane production from glycerol-containing synthetic wastes with fixed-bed bioreactor under mesophilic and thermophilic anaerobic conditions. **ProcessBiochemistry**, v. 43, n. 4, p.362-367, abr. 2008. Elsevier BV. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359511308000172>>. Acesso em: 17 fev. 2013.

ZANETTE, André Luiz. **Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil.** 2009. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Planejamento Energético, Coppe, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <http://ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/zanette_luiz.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2013.