

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO “STRICTU SENSU” EM
BIOENERGIA – NÍVEL MESTRADO**

**POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS E ENERGIA NA
INDÚSTRIA DE ABATE DE FRANGOS NO BRASIL**

MICHELLE MALAGGI

TOLEDO

2014

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTU SENSU EM
BIOENERGIA – NÍVEL MESTRADO
MICHELLE MALAGGI**

**POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS E ENERGIA NA
INDÚSTRIA DE ABATE DE FRANGOS NO BRASIL**

**Toledo – Paraná - Brasil
Julho de 2014**

MICHELLE MALAGGI

**POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS E ENERGIA NA
INDÚSTRIA DE ABATE DE FRANGOS NO BRASIL**

Dissertação apresentada a Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, área de concentração em biocombustíveis, para a obtenção do título de mestre.

Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza
Orientador

Toledo – Paraná - Brasil
Julho de 2014

Catálogo na Publicação elaborada pela Biblioteca Universitária
UNIOESTE/Campus de Toledo.

Bibliotecária: Marilene de Fátima Donadel - CRB – 9/924

M236p Malaggi, Michelle
Potencial de produção de biogás e energia na indústria de abate de frangos no Brasil / Michelle Malaggi. -- Toledo, PR : [s. n.], 2014.
v, 90 f. : il. (algumas color.), figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza
Dissertação (Mestrado em Bioenergia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Campus de Toledo. Centro de Engenharias e Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação “Stricto sensu” em Bioenergia, 2012.
Inclui Bibliografia

1. Bioenergia – Dissertações 2. Agroenergia 3. Biodigestores 4. Biogás 5. Resíduos de animais – Tratamento 6. Agroindústria avícola 6. Biomassa 7. Aproveitamento energético 8. Energia – Fontes alternativas I. Souza, Samuel Nelson Melegari de, Orient. II. T

CDD 20. ed. 662.87
621.042

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CENTRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOENERGIA

Esta é a versão final da dissertação de Mestrado apresentada por MICHELLE MALAGGI a Comissão Julgadora do Curso de Mestrado em Bioenergia em 21 de julho de 2014

COMISSÃO JULGADORA



Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza
Orientador



Prof. Dr. Jean-Marc Stephane Lafay

Membro



Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira

Membro

Este trabalho é dedicado a minha família, com todo o meu amor.

AGRADECIMENTOS

A Deus que me conduz, me da força e coragem de prosseguir.

Aos meus familiares, Lourdes, Miquior, Michel e Goretti e outros tantos que sempre acreditaram, pelo apoio, incentivo, e acolhimento incondicional.

A Gilda Malaggi que sempre esteve ao meu lado me apoiando em todas as minhas escolhas, com seu amor incondicional.

Ao Carlos Alexandre Saito que me ajudou com as pesquisas e sempre me apoiou, aceitando e compreendendo as dificuldades.

Ao professor Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza que me orientou no caminho da pesquisa no decorrer deste trabalho.

Ao professor Dr. Edson Antônio da Silva, que me apoiou e auxiliou desde o início do mestrado.

A professora Dra. Elciane Regina Zanatta me conduzindo nos caminhos a serem percorridos, profissionais e pessoais.

Ao professor Dr. Éder Gubiani auxiliando no estágio na docência, com sugestões profissionais.

A querida Dirce, secretária da coordenação, sempre disposta a ajudar os alunos.

Aos meus colegas e amigos do mestrado de BIOENERGIA turma de 2012, em especial ao meu amigo Sandro Martins de Oliveira, pela amizade, pelas horas de estudo, pelas dificuldades que nos fazem crescer, e pelo incentivo.

Ao PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO “STRICTO SENSU” EM BIOENERGIA – NÍVEL MESTRADO, pela oportunidade, pela confiança e pela dedicação.

A Coordenação de aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro concedido.

A Unidade Industrial de Abate de Aves Lar, que permitiu utilizarmos a instituição como referência.

Ao James de Moraes e Alan Rosso que nos receberam com atenção na empresa.

Aos Professores presente na banca, Doutor Jean Marc Lafay e Doutor Carlos Eduardo Nogueira pela contribuição e melhoria do trabalho.

A todos aqueles que, de uma forma ou de outra, colaboraram para a realização deste projeto.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	i
LISTA DE FIGURAS	iii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 – Objetivos.....	3
1.1.1 – Objetivo Geral.....	3
1.1.2 - Objetivos específicos.....	3
1.2 - Estrutura da Dissertação.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 - Panorama mundial da energia	5
2.1.1 - Combustíveis fósseis e aquecimento global.....	6
2.1.2 - Fontes renováveis de energia	7
2.1.3 – Agroenergia	10
2.2 – Agroindústria e atividade avícola.....	12
2.3 – Biomassa	18
2.3.1 – Biomassa residual.....	22
2.4 – Biogás	24
2.4.1 – Histórico do biogás	24
2.4.2 – Formação e características do biogás	25
2.4.3 - Digestão anaeróbica.....	28
2.4.4 - Biodigestores.....	33
2.5 – Aspectos energéticos do biogás.....	37
2.6 – Produção de energia elétrica a partir do biogás	38
3 - MATERIAIS E MÉTODOS	44
3.1 – Local da pesquisa	44
3.2 – Coleta e análise de dados	44
3.3 – Sistema de tratamento dos efluentes da indústria	45
3.3.1 – Biodigestores	47
3.4 – Obtenção das concentrações de H₂S do biogás e poder calorífico	50
3.5 – Estimativa da produção de biogás	53
3.5.1 - Quantidade de biogás por animal abatido	54

3.6 – Potencial de produção de biogás na indústria de abate de frangos no Brasil.....	54
3.7 – Potencial de produção de energia elétrica através do biogás	56
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
4.1 - Características da biomassa.....	60
4.2 – Obtenção das concentrações de H ₂ S no biogás e poder calorífico	62
4.3 – Estimativa da produção de biogás	64
4.4 – Quantidade de biogás por animal abatido	65
4.5 – Potencial de produção de biogás na indústria de abate de frango no Brasil.....	66
4.6 – Potencial de produção de energia através do biogás	68
5 - CONCLUSÃO	72
6 - REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	74
ANEXOS	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Comparação entre a matriz energética brasileira e a matriz energética mundial, e a dependência do Brasil em relação aos combustíveis de origem fóssil	8
Tabela 2 - Estrutura da oferta interna de energia no Brasil	9
Tabela 3 - Produção brasileira de carne de frango por ano	15
Tabela 4 - Consumo per capita de carne de frango no Brasil	16
Tabela 5 - Abate de frango por estado.....	16
Tabela 6 - Características e composição do biogás proveniente de digestão anaeróbia	26
Tabela 7 - Gases constituintes do biogás e suas concentrações.....	26
Tabela 8 - Equivalência de 1 m ³ de biogás comparado a outras fontes de energia	27
Tabela 9 - Poder calorífico inferior e superior dos gases com maior presença no biogás.....	38
Tabela 10 - Peso específico e poder calorífico inferior do biogás em função da composição química.....	52
Tabela 11 - Abate anual de frangos por estado brasileiro	55
Tabela 12 - Abate anual de frangos por região brasileira.....	56
Tabela 13 - Motor a biogás Ciclo Diesel convertido para Ciclo Otto de 50 e 100 kVA.....	57
Tabela 14 - Geradores	57
Tabela 15 - Caracterização da biomassa	60
Tabela 16 - Comparação de parametros da biomassa	62
Tabela 17 - Concentração de Sulfeto de hidrogênio	63
Tabela 18 - Concentração de CH ₄ , CO ₂ , O ₂ no biogás	64
Tabela 19 - Média de produção de biogás entre Janeiro e Junho de 2012.....	65
Tabela 20 - Produção de Biogás por animal abatido numa Unidade Industrial de Aves	65
Tabela 21- Potencial de produção de biogás no Brasil por estado	67
Tabela 22 - Potencial de produção de biogás por região brasileira.....	68

Tabela 23 - Potencial de produção energética nos estados com maior índice de abate	69
Tabela 24 - Potencial de energia produzida por região brasileira	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Matriz Agroenergética	12
Figura 2 - Fontes de obtenção da biomassa	19
Figura 3 - Processo de conversão energética da biomassa de resíduos agrícolas.....	21
Figura 4 - Processo de degradação anaeróbia	29
Figura 5 - Biodigestor modelo indiano.....	35
Figura 6 - Biodigestor modelo chinês	36
Figura 7 - Biodigestor modelo canadense.....	37
Figura 8 - Diferentes possibilidades de uso do biogás.....	39
Figura 9 - Esquema representativo de geração de energia elétrica e calor	42
Figura 10 - Fluxograma do Sistema de Tratamento de Efluente.....	46
Figura 11 - Biodigestor 01	48
Figura 12 - Esquema do Biodigestor 01	49
Figura 13 - Distribuição dos Ramais	49
Figura 14 - Analisador portátil de gases.....	50
Figura 15 – Filtro de retirada de sulfeto de Hidrogênio	51
Figura 16 - Medidor de fluxo de biogás.....	53
Figura 17 - Grupo de motor gerador.....	58
Figura 18 - Fluxograma do processo de geração de biogás e energia elétrica	59
Figura 19 - Índices de Produção de Biogás	66

RESUMO

MALAGGI, Michelle, M.sc., **Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Julho de 2014. Potencial de Produção de Biogás e Energia na Indústria de Abate de Frangos no Brasil.** Orientador: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza.

O presente trabalho teve como objetivo estimar a produção de biogás proveniente das indústrias brasileiras de abate de frangos e a capacidade de produzir energia por meio do biogás. Alguns dos dados base foram obtidos junto a uma agroindústria avícola que serviu como referência. A empresa possui um abate médio de 266 mil frangos por dia, com sistema de tratamento de efluentes baseado no biodigestor modelo canadense, o qual através da degradação anaeróbia produz o biogás como resultado final. A indústria de abate de frangos produz em média $743,77 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ de biogás ou seja, gera $2,78 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ por animal abatido. O valor médio para a conversão em eletricidade é de $1,47 \text{ kWh}$ por m^3 de biogás. Com este dado e outros obtidos em literaturas pertinentes, conseguiu-se estimar que o Brasil possui capacidade para gerar $39.335,44 \text{ mil m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ de biogás e de produzir $57.823,11 \text{ kWh}$ de energia elétrica. Provando ser possível utilizar resíduos de agroindústrias para gerar a agroenergia, assim auxiliando e aliviando o sistema elétrico brasileiro, o qual se encontra em crise.

Palavras Chaves: Agroenergia, Agroindústria avícola, Biodigestores, Biogás.

ABSTRACT

MALAGGI, Michelle, M.Sc., State University of West of Paraná, in July 2014. **Potential for Biogas Production and Energy in Poultry Agroindustry in Brazil.** Adviser: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza.

The current paper had as an objective to calculate the amount of biogas being made by the Brazilian chicken slaughter companies and the biogas capacitance for producing energy. Some of the substantial data from this paper was gathered in partnership with a poultry agroindustry that served as standard basis. The company has a daily cull of 266 thousands chickens a day, with a treatment system based on the Canadian bio digestive model, which through anaerobic degradation produces biogas as a result. The chicken slaughter industry produces an average of 743,77 m³.day⁻¹ of biogas meaning that, it generates 2,78 m³.day⁻¹ per slaughtered animal. Which its electricity production is of 1,47 kWh. With this data and other ones taken from relevant readings, we were able to calculate that Brazil has a capability of producing 39.335,44 thousands m³.day⁻¹ of biogas and generating 57.823,11 kWh of electricity. Proving to be possible the use of agro industrial residues to generate the agro energy, helping and relieving the Brazilian electric energy system, which is currently on a critical situation.

Key words: Agroenergy; Poultry agroindustry; Biodigester; Biogas.

1 - INTRODUÇÃO

A energia tornou-se indispensável à sociedade, com uso nas mais variadas atividades, multiplicando a sua demanda a cada ano. Entretanto as formas de obtenção dessa energia vêm sofrendo alterações periódicas, onde antes eram obtidas quase que na sua totalidade das fontes não renováveis, como o petróleo e o carvão mineral, atualmente também é adquirida através de origem renovável, como a eólica, hidráulica e ainda a biomassa, conhecida como fonte de energia alternativa.

O uso de fontes alternativas de energia passou a ter um crescimento ininterrupto e, no mundo todo, vários programas e pesquisas começaram a ganhar espaço, mostrando a necessidade de se utilizar outros recursos geradores de eletricidade, como o aproveitamento de resíduos biomássicos oriundos das mais variadas atividades.

Neste contexto encontra-se a biomassa oriunda dos processos agroindustriais, utilizada como fonte alternativa de produção de energia. A agroindústria é considerada como uma fonte de crescimento promissora para os próximos anos, avaliando este setor em 2013, observou-se que a produção brasileira de carne de frango totalizou 12,308 milhões de toneladas, com consumo médio nacional *per capita* de 41,8 quilos por habitante/ano, sendo a carne de aves é a segunda mais produzida e consumida no mundo, tornando o Brasil o terceiro maior produtor e exportador mundial. (ABPA, 2013).

A biomassa é uma fonte de energia renovável pelo fato de que sua reposição na natureza pode ser feita de maneira simples, sem grandes dificuldades, em poucos anos, ao contrário dos combustíveis fósseis. A biomassa proveniente das agroindústria será responsável pela diversificação da matriz energética e a independência do setor elétrico dos combustíveis fósseis.

Para escolher qual a tecnologia a ser empregada no tratamento da biomassa residual é necessário conhecer o funcionamento e as condições ambientais do local, na maioria dos casos utiliza-se o tratamento anaeróbio como o reator anaeróbio de manta de lodo, lagoas de estabilização e biodigestores, pois

envolvem baixo custo operacional, e geram subprodutos de importante interesse econômico.

O biodigestor é uma escolha eficaz para aplicar no tratamento de efluentes em indústrias de abate. Não encontra-se na literatura um modelo específico de biodigestor anaeróbio aplicado para tratamento de efluentes, pois existe uma grande variedade e tipos construtivos, com variação de aspectos operacionais, que devem ser conhecidos visando atender as condições e necessidades de cada empresa e substrato.

Para o projeto estudado foi utilizado o biodigestor modelo canadense ou fluxo tubular, que são definidos com uma base retangular, impermeabilizada onde é depositado o substrato, com gasômetro feito em manta flexível de policloreto de vinila (PVC) ou polietileno de alta densidade (PEAD), fixo sobre uma valeta coberta de água que circunda a base ou por sistema de ancoragem ao redor do biodigestor.

O maior desafio para a produção de biogás consiste na escolha de um sistema capaz de adequar-se as atividades desenvolvidas pela indústria, ligadas ao meio ambiente e ao cuidado com os recursos naturais. O biodigestor responsável pela produção de biogás é a alternativa mais adequada ao tratamento dos resíduos gerados neste processo.

O biogás é composto basicamente por uma mistura de gases de metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) e nitrogênio (N_2), gás sulfídrico (H_2S), monóxido de carbono (CO) e amônia (NH_3), que variam de acordo com a tecnologia empregada, tipo de biomassa e condições de operação, como pH, temperatura, pressão e tempo de retenção.

As propriedades físico-químicas do biogás tem naturalmente influência na tecnologia utilizada na sua limpeza e combustão e varia de acordo com a concentração dos diferentes gases presentes, dentre estas propriedades encontram-se o poder calorífico inferior, a densidade, os limites de inflamabilidade, a velocidade da chama, a temperatura da chama e a umidade do biogás.

O interesse na produção e estudo do biogás é devido o seu alto poder energético, semelhante ao gás natural e, que pode ser substituído em muitas aplicações. A diferença entre estes gases é a facilidade de produção do biogás

em locais que haja disponibilidade de biomassa e o fato de ser uma energia renovável, entretanto o poder calorífico do biogás é inferior ao do gás natural.

Assim, características tão próximas ao gás natural, fazem do biogás um relevante produtor de energia renovável que inserido na matriz energética abre novas perspectivas para a economia, novas possibilidades de emprego e desenvolvimento profissional, bem como, alto valor ambiental.

1.1 – Objetivos

Diante do contexto apresentado, este trabalho teve os seguintes objetivos:

1.1.1 – Objetivo Geral

O presente estudo estima a quantidade de biogás que poderia ser produzida pelas indústrias brasileiras de abate de frango e sua capacidade de gerar energia.

Para atender o objetivo geral foi necessário o desenvolvimento de algumas etapas, que se concretizam nos objetivos específicos deste trabalho.

1.1.2 - Objetivos específicos

- Caracterização da biomassa utilizada para gerar biogás numa indústria de abate de frangos;
- Obtenção das concentrações de sulfeto de hidrogênio no biogás e poder calorífico;
- Quantificar a média mensal de produção do biogás nos meses de janeiro a junho de 2012 como referência para o estudo através de uma Unidade Industrial de Aves da região Oeste do Paraná;
- Determinar o potencial de produção de biogás e energia elétrica na indústria de abate de frangos no Brasil;

1.2 - Estrutura da Dissertação

Inicialmente, no Capítulo 1 deste trabalho fez-se uma breve introdução no que tange as perspectivas sobre o cenário agroindustrial, a atividade avícola, definição de biomassa, escolha de um sistema de tratamento adequado para o

tipo de resíduo gerado, definição de biogás e o interesse na produção de biogás através do emprego de tecnologias, bem como os objetivos do trabalho de tal forma a justificar sua relevância dentro do contexto atual.

No Capítulo 2, apresenta-se uma revisão bibliográfica, abordando os assuntos referentes ao panorama da energia, da agroenergia e da agroindústria avícola no Brasil. Em seguida abordou-se o tema biomassa e biomassa residual que origina o biogás. No item relativo a biogás, descreveu-se sobre a digestão anaeróbia, modelo de biodigestores e por fim, os aspectos de geração da energia elétrica a partir do biogás.

O Capítulo 3 apresenta a metodologia utilizada na execução do trabalho, referente ao campo de pesquisa e a coleta e análise de dados. Descreveu-se o sistema de tratamento de efluente, onde enquadra-se o biodigestor, em seguida são reunidos os dados coletados em fontes literárias como Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Agência Nacional de Energia Elétrica, Ministério de Minas e Energia, além de informações e dados coletados na empresa colaboradora. Os dados permitiram escrever sobre as características do biogás, a concentração de sulfeto de hidrogênio e estimar através de fórmulas o potencial de produção de biogás e energia na indústria avícola brasileira.

A apresentação dos resultados e discussões está no Capítulo 4.

No Capítulo 5 relatam-se as conclusões realizadas a partir dos dados obtidos junto a empresa pesquisada e pesquisa referencial.

Por fim, são especificadas as referências citadas e que serviram de suporte na construção das informações deste trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Panorama mundial da energia

A base da matriz energética mundial está apoiada nos combustíveis fósseis. Entretanto o panorama mundial vem sofrendo rápidas mudanças devido a três grandes preocupações da humanidade, meio ambiente, energia e economia global. Áreas aparentemente distintas, mas que estão interligadas. As duas primeiras são mais perceptíveis ao cidadão comum, devido os problemas causados pelo uso descontrolado de combustíveis fósseis, porém quanto à economia, somente o tempo poderá mostrar quais os efeitos permanentes que esta crise no sistema financeiro internacional terá sobre o setor energético e o seu reflexo no meio ambiente (VICHI e MANSOR, 2009).

Os maiores consumidores mundiais de energia são os países desenvolvidos que compõem a Organização para Cooperação do Desenvolvimento Econômico (OCDE) que vem do Francês, *Organisation de Coopération et de Développement Économiques*. Entretanto essa participação vem diminuindo ao longo dos anos, esses países são caracterizados por uma economia relativamente estável, onde não ocorrem aumentos acentuados na produção industrial ou no consumo de bens que necessitam incrementar a demanda energética, pois a maior parte da população conseguiu adquiri-los ao longo da segunda metade do século XX (ANEEL, 2008).

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (2008), nas regiões ainda em franco desenvolvimento, como Ásia, África, América Latina, Oriente médio entre outros, o consumo de energia aumentou nas últimas décadas, um dos fatores é a melhoria da economia. A América Latina obteve aumento superior a 100% no uso da energia, devido ao aumento na frota veicular, bens eletroeletrônicos, surgimento ou melhoria de indústrias energointensivas.

Para este século, supõe-se que as reservas mundiais de combustíveis fósseis sofrerão redução. O que torna fundamental o desenvolvimento de tecnologias baseadas em recursos renováveis e que, gradativamente, substituirão os combustíveis primários, grande responsável pelo aumento da concentração de CO₂ na atmosfera (ZANATTA, 2012).

Uma nova matriz energética dependerá de várias questões e elementos que são difíceis de prever. Indubitavelmente, haverá uma diversificação nas fontes de geração de energia elétrica, para que não haja dependência de uma fonte exclusiva. Interesses comerciais atrelados ao respeito com o meio ambiente farão com que novos empreendimentos operem de maneira clara e eficiente, por fim a evolução dos processos e equipamentos promoverão o consumo racional, palavras-chave no cenário sustentável do uso da energia (FARIAS e SELLITTO, 2011).

Chen *et al.* (2006) acredita que neste século enfrentaremos um novo desafio no contexto energético, ou seja, ocorrerá uma transição na utilização de fontes não renováveis para energias menos poluentes.

2.1.1 - Combustíveis fósseis e aquecimento global

Desde 1850 a utilização de combustíveis de origem fóssil (carvão, petróleo e gás) no mundo vem progredindo, o que contribui para o rápido aumento das emissões de dióxido de carbono e outros gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera. O quarto relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, que vem do inglês *Intergovernmental Panel Climate Change* (IPCC), concluiu que a maior parte do aumento observado nas temperaturas desde meados do século XX se deve muito provavelmente ao aumento antropogênico nas concentrações de GEE (INTERGOVERNMENTAL PANEL CLIMATE CHANGE, 2011).

Para o IPCC (2011), dados obtidos recentemente confirmam que o consumo de combustíveis de origem fóssil representam a maior parte das emissões mundiais, as quais seguem aumentando. Em 2010 as concentrações de CO₂ já eram superiores a 390 ppm, cerca de 39% acima dos níveis aceitáveis para as indústrias.

LV *et al.* (2008), aponta que a vantagem de se utilizar fontes renováveis é que estas não contribuem para o aumento da quantidade de CO₂ emitida para a atmosfera, porque a sua proporção liberada é igualmente compensada na quantidade absorvida pela plantas durante a fotossíntese, denominada de fontes

renováveis de CO₂ neutro. Já para Mckendry (2002), outra vantagem é que nos momentos de crise a matéria prima usada, como por exemplo, a biomassa, pode ser convertida em produtos químicos, combustíveis, gases, energia ou calor.

Segundo o relatório Síntese do Balanço Energético Nacional (2013), cujo ano base foi 2012, o total de emissões proveniente da ação humana associados à matriz energética brasileira atingiu 429 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (MtCO₂-eq), sendo que a maior porção 209,3 MtCO₂-eq é gerada no setor de transportes. A proporção de carbono na economia do Brasil foi de 0,19 kgCO₂/U\$, o que deixa o país sendo em média 2 vezes menos intensa em carbono do que a economia americana, que é 1,3 vezes menor que a economia europeia e 4 vezes menor do que a economia chinesa. Avaliando as emissões *per capita*, cada brasileiro, produzindo e consumindo energia em 2012, emitiu em média 2,2 tCO₂-eq, ou seja, cerca de 4 vezes menos do que um europeu, 9 vezes menos do que um americano e 3 vezes menos do que emitiu um chinês.

Conclui-se que o clima da terra está ameaçado pela economia energética mundial a base de carbono que contribuem para as perigosas mudanças climáticas, que causam as ondas de calor, tempestades destrutivas, elevação acelerada do nível do mar e assentamentos de refugiados do clima. Para isso é essencial reduzir as emissões de carbono em 80% até 2020 (EARTH POLICY INSTITUTE, 2011).

2.1.2 - Fontes renováveis de energia

Entende-se que grande parte dos problemas ambientais que existem, são ocasionados direta ou indiretamente pela ação humana, como os gases CH₄, NO₂, ozônio (O₃), hidrofluorcarbonos (HFCs), e o CO₂, alguns dos quais já estão presentes na atmosfera, mas que ao serem liberados em excesso no espaço causam o desequilíbrio do mesmo, atrelados aos problemas sociais e econômicos ocasionados pelo uso abusivo de energias fósseis. Por isso desperta-se a necessidade de desenvolver tecnologias de uso das energias alternativas (SANTOS, 2010).

Os projetos que desenvolvem energia utilizando biomassa, energia solar, energia eólica e nuclear crescem anualmente em muitos países (ZANATTA, 2012). O estudo acerca de tecnologias que utilizam outros resíduos para obtenção de insumos e energia é de vital importância para a humanidade e a economia mundial (MARTINI, 2009).

A energia proveniente de biomassa tem sido enfoque de muitas pesquisas, com foco maior nos biocombustíveis, fontes renováveis de energia derivados de matéria prima biológica, como o bioetanol ou etanol, o biodiesel e o biogás na forma de metano (MARQUES, 2012).

Neste contexto, a Tabela 1 mostra que o Brasil se destaca dos demais países devido a matriz energética brasileira, que já é composta por cerca de 84,6% de energia renovável, comparada à média mundial de 18,9% conforme apresentado (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2013).

Tabela 1- Comparação entre a matriz energética brasileira e a matriz energética mundial, e a dependência do Brasil em relação aos combustíveis de origem fóssil

Fonte de Energia	Brasil (%)	Mundo (%)
Petróleo	3,3	35
Hidráulica e eletricidade	76,9	2,3
Energia Eólica	0,9	0,2
Nuclear	2,7	6,0
Carvão Mineral	1,6	26
Gás Natural	7,9	21
Biomassa	6,8	10,2

Fonte: Adaptado do BEN (2013) e IPCC (2011).

A implementação de energias renováveis no mundo tem aumentado rapidamente nos últimos anos e políticas governamentais tem sido criadas para proporcionar esse crescimento. O barateamento de muitas tecnologias, as variações no preço dos combustíveis fósseis, o aumento na demanda de energia, entre outros fatores tem incentivado o aumento do uso de energias alternativas. (Intergovernmental Panel Climate Change, 2011).

O Brasil emprega diversas fontes de energia, conforme mostra a Tabela 2, (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2008). O petróleo ocupa a maior parte da matriz energética mundial, espera-se que no futuro ocupe um espaço menor em favor de outras fontes limpas de energia.

Tabela 2 - Estrutura da oferta interna de energia no Brasil

Energia Não Renovável	2005	2010	2020	2030
Petróleo e Derivados	84.553	97.025	119.136	155.907
Gás Natural	20.526	37.335	56.693	86.531
Carvão Mineral	13.721	20.014	30.202	38.404
Nuclear	2.594	4.635	9.976	16.944
Total	121.396	159.009	216.007	297.786
Energia Renovável	2005	2010	2020	2030
Hidráulica e eletricidade	32.379	37.800	54.551	75.067
Biomassa	30.147	39.330	69.475	103.026
Outras Fontes	6.320	14.718	30.335	50.561
Total	68.946	91.848	154.361	228.654

Fonte: Adaptado de Ministério de Minas e energia (2008).

Nota: Milhares de Toneladas equivalentes de petróleo (Tep).

A partir de 2005, quando iniciaram as prospecções da evolução da matriz energética nacional para 2030, houve uma ampliação na diversificação da mesma. Estimou-se que o período compreendido entre 2005 a 2030 haverá uma redução significativa da utilização de lenha e carvão vegetal, que em 2005 era de 13% passará para 5,5% em 2030; ocorrerá também um aumento da participação do gás natural, de 9,4% para 15,5%; redução na participação do petróleo e derivados de 38,7% para 28%; um aumento da participação das fontes provenientes de produtos da cana-de-açúcar e outras renováveis, dentre elas etanol, H-Bio, biodiesel, de 16,7% para 27,6% (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2013).

A matriz renovável permanecerá em manutenção. Atualmente é de 42,4% diante de 8,0% dos países que compõem a OCDE e 13,2% para o restante do mundo (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2013).

Segundo Balat (2006), a energia é considerada um agente primário na geração de riqueza e também um fator significativo para o desenvolvimento da economia.

2.1.3 – Agroenergia

A crise do petróleo e o esgotamento das reservas para os próximos anos são defendidas por muitos autores, que informam que mesmo com as descobertas de novas fontes a demanda vem aumentando numa proporção muito maior. No entanto, o estudo elaborado por Maugeri (2012), afirma decisivamente que o fim da era do petróleo está longe e que nos próximos oito anos o aumento da capacidade de produção alcançará quase 20%, devido as recentes reservas descobertas e mesmo o aumento na exploração de poços já existentes. O que significa que o mundo poderá produzir 110,7 milhões de barris de petróleo por dia em 2020.

Segundo o autor acima citado as reservas provadas são apenas uma pequena fatia da oferta global de petróleo que o planeta esconde. Entretanto com a tecnologia de hoje e os altos preços dos barris, apenas uma parte das reservas poderão ser recuperadas economicamente, ou seja, a quantidade de petróleo a ser explorada não é suficiente para repor os gastos com tecnologia e ainda obter lucro com a venda.

O aumento da capacidade petrolífera torna-se uma vantagem econômica, pois deixam os países exploradores independente de outras economias, reduzindo a possibilidade de ficar a mercê da escassez de combustíveis de origem fóssil e dos altos preços cobrados. A preocupação com os níveis de petróleo favorece e fortalece o desenvolvimento da matriz energética renovável (PLANO NACIONAL DA AGROENERGIA, 2006).

O Brasil tem uma série de vantagens quanto às questões energéticas renováveis, pois já é um forte candidato a liderar a agricultura energética e o mercado da bioenergia em patamares mundiais, devido à possibilidade de dedicar novas terras à agricultura de energia, sem necessariamente reduzir as áreas utilizadas na agricultura de alimentos (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUARIA E ABASTECIMENTO, 2006).

Com isso o Brasil torna-se referência na produção de agroenergia, através do etanol e biodiesel, atraindo a atenção mundial por ofertar alternativas econômicas e ecologicamente viáveis para a substituição dos combustíveis fósseis. Considerada uma fonte de energia menos poluente e mais barata, o uso

dos produtos agrícolas representa a segunda principal fonte de energia primária do país (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUARIA E ABASTECIMENTO, 2006).

A produção de agroenergia surge para ser uma alternativa ao uso de combustíveis fósseis e diminuir as emissões de gases de efeito estufa, amenizando os efeitos de um possível aquecimento global bem como fazer parte do Protocolo de Kyoto, programa internacional que prevê medidas para reduzir emissões de dióxido de carbono entre outros gases (BARBOSA, 2007).

Jandrey *et al.* (2010) define genericamente agroenergia com base na utilização da biomassa para fins energéticos. Portanto a biomassa é considerada a matéria vegetal que se amplia através da captação da energia solar por intermédio da fotossíntese.

Segundo Canepa (2004) dentre os produtos da agroenergia utilizados estão incluídos aqueles com origem nos produtos e resíduos da agricultura, florestas e indústrias com as frações biodegradáveis.

Segundo Junior *et al.* (2009) a agroenergia pode ser compreendida de duas maneiras: a primeira corresponde às fontes biológicas, como os biocombustíveis, obtidos através da degradação da matéria orgânica por microrganismos, e que produz biogás, na segunda ela é compreendida como bioenergia térmica, proveniente da queima de materiais como madeira e palhas, referindo-se as fontes naturais de energia, que não estão diretamente vinculadas às atividades agropecuárias.

A agroenergia está concentrada em quatro grandes grupos: florestas, biodiesel, etanol e resíduos. Nas florestas obtém-se distintas formas de energia, como através da lenha, carvão, briquetes e os finos e licor negro; já o biogás é originado da digestão anaeróbica da matéria orgânica em indústrias, aterros sanitários, granjas; o biodiesel pode ser adquirido dos óleos vegetais, gorduras animais ou resíduos da agroindústria; o etanol por sua vez, é integralmente retirado da cana-de-açúcar e por fim os resíduos da produção agrícola e da agroindústria, todos são potencialmente convertidos em diferentes formas secundárias de energia, como os briquetes, gás, biodiesel, carvão, entre outros (BIODIESELBR, 2013).

O esquema da Figura 1 mostra a matriz energética da agroenergia.

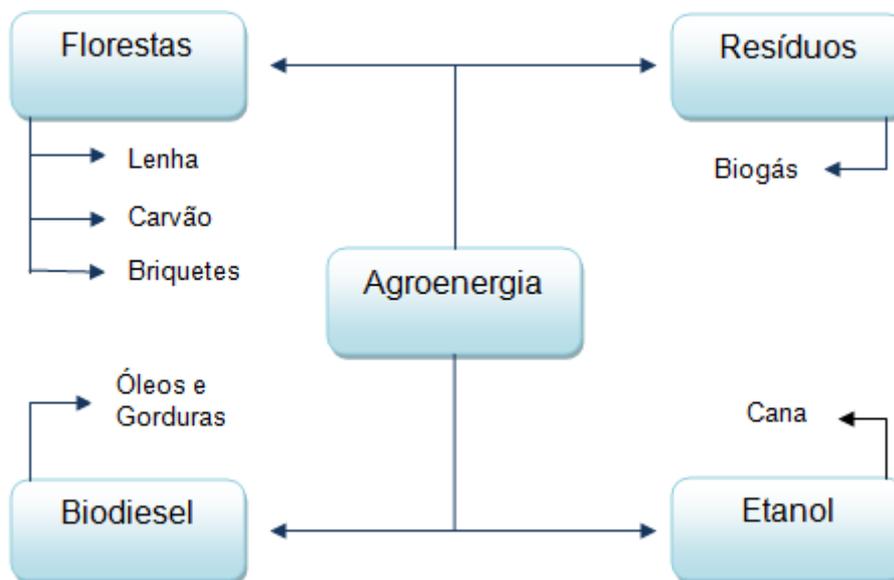


Figura 1 - Matriz Agroenergética
Fonte: Adaptado de BiodieselBr (2013).

Junior *et al.* (2009) explica que a reordenação das propriedades rurais nas últimas décadas, promoveu um estímulo para desenvolver e difundir projetos de geração de energia elétrica a partir das fontes renováveis, eólica, solar e da biomassa residual, instituindo assim a agroenergia, que vem a contribuir também com a economia, pois passa a utilizar ativos que estavam parados para gerar valor capital, ou seja, consolidou a agroenergia, tornando-a atividade lucrativa.

A consolidação da agroenergia como uma atividade oficialmente econômica, reconhecida e estimulada, fez surgir um novo negócio, uma nova fonte de receitas para as propriedades rurais, gerando faturamento independente dos obtidos através de agronegócio tradicional e criando uma nova perspectiva para o setor (HACHISUCA *et al.* 2010).

Diante desse panorama, o progresso da agroenergia mostra-se uma excelente oportunidade de alto valor estratégico para o Brasil, tanto pela ótica energética, quanto pela econômica.

2.2 – Agroindústria e atividade avícola

Manfroi (2008) define o agronegócio brasileiro como atividade econômica ligada essencialmente a insumos advindos da agricultura, como a produção

agrícola compreendendo, as lavouras, a pecuária, as florestas e o extrativismo, a industrialização dos produtos primários, o transporte e a comercialização desses produtos processados.

Vòlia e Triches (2013) apontam o final da década de 50 como um período de transição, em que os frangos ainda eram abatidos de maneira artesanal e vendidos em feiras livres, com vendas regionalizadas e que somente mais tarde a avicultura começou a ganhar escalas industriais, com o surgimento dos primeiros abatedouros.

A transição política brasileira que ocorreu nas décadas de 60 e 70 proporcionou um grande incentivo para a atualização e avanço de técnicas utilizadas na agricultura, iniciando nesse período a chamada Revolução Verde, em que o capital industrial passou a atuar fortemente na área agrícola (ROSSI, 2010).

Para Martini (2009) vários eventos proporcionaram a mudança da estrutura agrícola a partir de 1965, entre eles a mudança do parque industrial, a organização de um estilo de desenvolvimento visando a modernização, ampliação do crédito rural subsidiado e de outros incentivos a produção agrícola, a internacionalização da tecnologia da revolução verde, melhoria de preços para produtos agrícolas, entre outros.

Na década de 70 houve uma reorganização na produção de carnes no Brasil, levando a atividade para a região Sul do País, já que antes esta era centralizada na região Sudeste. Criou-se então um sistema integrado, entre empresas e agricultores possibilitando um rápido desenvolvimento da carne de frango nacional (JUNIOR *et al.* 2009).

Tessaro (2011) também acredita que a indústria avícola desenvolveu-se melhor na década de 70, o que só foi possível graças a reestruturação do setor, que deu início na industrialização da carne de aves.

As mudanças ocorridas no setor proporcionaram a implantação de tecnologias utilizadas em outros países capitalistas avançados com a consequente entrada de multinacionais. Com esses avanços atrelados ainda as mudanças de hábitos alimentares da população, passou-se a consumir mais carne de frango ao invés de carne vermelha, consequentemente mais indústrias

surgiram e assim a carne branca tornou-se indispensável para a nutrição humana (ROSSI, 2010).

Ainda para o autor acima, essa tecnificação agrícola promovida no Brasil, ocasionou a reestruturação do capital industrial, devido a redefinição comercial e produtiva relacionada com a agroindústria, que é considerada uma das áreas mais importantes, pois expandiu-se consideravelmente nas últimas décadas, principalmente no Paraná, devido a forte demanda que a carne de frango causou no mercado interno e externo.

Segundo Piacente (2005) com o surgimento de normas ambientais mais rigorosas na década de 90, devido ao grande desenvolvimento das indústrias e questionando o interesse do setor com a sustentabilidade, fizeram com que algumas agroindústrias adiantassem-se e repensassem no uso racional dos recursos naturais, pois estes agregariam valor aos produtos e renderiam ganho em um mercado cada vez mais competitivo.

Manfroi (2008) afirma que nos últimos 20 anos, os níveis tecnológicos alcançados por produtores rurais no País atingiram patamares expressivos e que o agronegócio é entendido como a soma do setor produtivo com o setor de processamento do produto final e a fabricação de insumos, que juntos correspondem por quase um terço do Produto Interno Bruto (PIB) nacional.

Em contra partida ao aumento da produção e da produtividade, reflexo da especialização da mão de obra e maquinário dos empreendimentos, resultou na concentração da agroindústria avícola em determinadas regiões, devido à disponibilidade de espaço, alimento e mão de obra, como é o caso do Oeste Paranaense, que contribui com grande porcentagem da produção brasileira de frangos (TESSARO, 2011).

Fernandes (2012), afirma que para a economia brasileira, a atividade agroindustrial destacou-se, pois apresenta um intenso dinamismo na economia nacional, tornando-se a base de sustentação do País. Um exemplo seria o estado do Paraná, que vivencia esse cenário, com grande destaque para a produção e importação de produtos do agronegócio, que se sobressaiu com a atividade avícola.

Dados da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2013) confirmam que no Brasil dentro da atividade agrícola a produção de aves é

responsável por empregar mais de 3,6 milhões de pessoas, direta e indiretamente e, responder por quase 1,5% do PIB nacional.

A ABPA (2013) afirma que a avicultura brasileira acabou resultando em um interesse social, por possuir forte presença no interior do país, nas regiões sul e sudeste, principalmente em cidades de pequeno porte em que a principal atividade econômica é a indústria de abate de frango, fazendo estas cidades progredirem e melhorarem as condições de vida da população.

Em 2011 a produção brasileira atingiu marca histórica de 13,058 milhões de toneladas, como mostra a Tabela 3, mantendo o Brasil na sua posição de terceiro maior produtor mundial de carne de frango, junto com Estados Unidos e China, deste total cerca de 69% permaneceu no mercado interno e 3,9 milhões de toneladas foram destinadas para mais de 150 países (ABPA, 2013).

Tabela 3 - Produção brasileira de carne de frango por ano

Período	Quantidade (milhões.toneladas)
2000	5,98
2001	6,74
2002	7,52
2003	7,84
2004	8,49
2005	8,95
2006	9,34
2007	10,31
2008	10,94
2009	10,98
2010	12,23
2011	13,05
2012	12,64

Fonte – Adaptado da Associação Brasileira de Proteína Animal(2013)

O consumo per capita de carne de aves está em aproximadamente 39 quilos por ano, como mostra a Tabela 4, perfazendo uma receita total de US\$ 7,703 bilhões. Em 2012 o consumo per capita foi de 45 quilos, com uma produção anual de 12,64 milhões de toneladas. Espera-se para o próximo ano a ampliação de embarques para novos países, entre eles Nigéria e Argélia, na África, Indonésia, Malásia e Camboja, na Ásia, além do fortalecimento em mercados já estabelecidos.

Tabela 4 - Consumo per capita de carne de frango no Brasil

Ano	Quantidade (kg/por pessoa)
2000	29,91
2001	31,82
2002	33,81
2003	33,34
2004	33,89
2005	35,48
2006	35,68
2007	37,02
2008	38,47
2009	38,47
2010	44,09
2011	47,38
2012	45,00

Fonte – Adaptado da Associação Brasileira de Proteína Animal (2013).

Os estados com maior produção nos últimos anos, como verifica-se na Tabela 5, foram: Paraná, responsável por 30,39% do total, seguido de Santa Catarina, com 17,29%; Rio Grande do Sul, com 14,12%; e São Paulo com 12,86%.

Tabela 5 - Abate de frango por estado

Ranking	Estado	Porcentagem abatida (%)
1	Paraná	30,39
2	Santa Catarina	17,29
3	Rio Grande do Sul	14,12
4	São Paulo	12,86
5	Minas Gerais	7,20
6	Goiás	6,45
7	Mato Grosso	4,73
8	Mato Grosso do Sul	2,80
9	Distrito Federal	1,63
10	Outros	2,54

Fonte: Adaptado da Associação Brasileira de Proteína Animal (2012).

A avicultura consagrou-se fortemente no Sul do país, como mostra a Tabela 5, acredita-se que isso se deve ao fato de que a industrialização do setor ocorreu primeiramente nessa região, com linhas de produção integrada. Os estados com maior exportação de frangos são em ordem, o Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e São Paulo (TESSARO, 2011).

No ano de 2012 os estados com maior abate de frango registraram um total anual de 3,751 bilhões de unidades de frango abatidos, sendo que o país registrou um total de 5,164 bilhões de unidades abatidas. Este resultado expressou pela segunda vez nos últimos 10 anos uma redução no abate de frangos. Em 2009 houve uma redução devido a crise financeira internacional, e em 2012 a cadeia produtiva de frangos sofreu com o elevado aumento nos preços dos insumos, como a soja e o milho (IBGE, 2012d).

O Sul do país foi responsável por 58,6% do abate nacional de frangos em 2012 já a região Sudeste registrou um índice de 22,1%. O Paraná é líder no *ranking* brasileiro de produção e abate, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e São Paulo tiveram uma queda na produção em comparação a 2011 (IBGE, 2012b). No primeiro trimestre de 2012 ocorreu o maior abate de frangos, chegando a 1,363 bilhão de cabeças (IBGE, 2012a).

No ano de 2013, o terceiro trimestre foi responsável por 1,444 bilhão de cabeças de frangos abatidas, esse resultado significou um aumento de 1,1% em relação ao trimestre anterior e 8,4% a mais na comparação com o terceiro trimestre de 2012 (IBGE, 2013b). Os resultados do terceiro trimestre de 2013 quando comparados com 2012, apresentaram um aumento de 58,8% para 60,3% na participação da região sul, o resultado desse aumento se deve ao Rio Grande do Sul que teve um acréscimo de 28,8% e no Paraná de 11,5%. O sudeste foi a segunda região brasileira em importância no volume de cabeças abatidas, o estado que mais contribuiu foi Minas Gerais, registrando aumento de 24,7% (IBGE, 2013a).

Para Diedrich, Rocha e Lopes (2012), o aumento da atividade avícola no País resulta no aumento da geração de dejetos, dos quais muitas vezes são lançados em rios e mananciais, contribuindo para a poluição e degradação destes locais. Os impactos que essas ações geram sobre os recursos ambientais, principalmente solo e água, são abrangentes.

Staiss e Pereira (2011) descrevem que houve um crescimento significativo nas últimas décadas no setor agrícola. A avicultura e a industrialização da carne de frango produzem uma quantidade expressiva de resíduos, por isso é necessário implantar sistemas de tratamento dos mesmos. Uma resposta viável para essa problemática seria a implantação de biodigestores que além de ser

uma tecnologia limpa, produz um coproduto, o biogás, que torna o processo sustentável.

2.3 – Biomassa

Há pouco mais de 100 anos a biomassa perdeu sua liderança histórica mundial para a energia advinda do carvão, e sequencialmente para o petróleo e o gás natural. A sua utilização manteve-se apenas ao uso em residências particulares agrícolas, entretanto com o aumento da demanda no consumo de combustíveis fósseis, a biomassa residual voltou a ter notoriedade, mais especificamente nas fontes alternativas de energia (CORTEZ, LORA E GÓMEZ, 2008).

Para Zanatta (2012) a excessiva demanda por petróleo, o aumento substancial no seu preço, as emissões de CO₂, NO₂ e SO₂, e as preocupações com as mudanças climáticas global dos últimos anos com suas consequências voltadas para a área ambiental, promoveram um aumento no interesse do uso de biomassas e recursos renováveis para a geração de energia. A biomassa pode ser considerada como uma solução atrativa e viável para os problemas energéticos dos países em desenvolvimento e em franco crescimento.

Pérez *et al.* (2002) define que a biomassa é como outros compostos ou materiais orgânicos encontrados na terra, em que a energia é obtida e armazenada nas ligações químicas de seus constituintes, como os carboidratos, produzidos pelo processo da fotossíntese.

Para Fernandes (2012) a biomassa é definida como sendo a massa total de matéria orgânica que se acumula num determinado espaço, fazendo parte dela a fauna e flora, incluindo seus resíduos. Essa biomassa que pode ser encontrada na natureza de diversas formas, como a lenha, resíduos gerados pelas culturas agrícolas, agroindústria, criação animal, florestas energéticas e resíduos sólidos municipais.

Os recursos biomássicos incluem madeira e seus resíduos, produtos agrícolas e seus subprodutos, resíduos sólidos municipais, resíduos animais, sobras do processamento de alimentos, plantas aquáticas e algas, estes recursos possibilitam serem classificados em duas categorias, os resíduos agrícolas,

resultante da produção e sobras da agricultura, de processamento de alimentos, resíduos de árvores urbanas e lixo orgânico municipal; e os produtos florestais, madeira, resíduos de lenha, lascas “cavacos”, árvores, arbustos, restos de poda, serragem, cortiça e outros (DEMIRBAS, 2002; ROSIE *et al.* 2008).

A biomassa também pode ser obtida dos biofluidos, como óleos e vegetais, no caso da mamona e soja (CORTEZ, LORA E AYARZA, 2008). Podemos verificar este arranjo na Figura 2, onde observa-se também a biomassa proveniente da industrialização da carne de frango, cujos resíduos são advindos da agricultura, se enquadrando na ordem estabelecida abaixo.

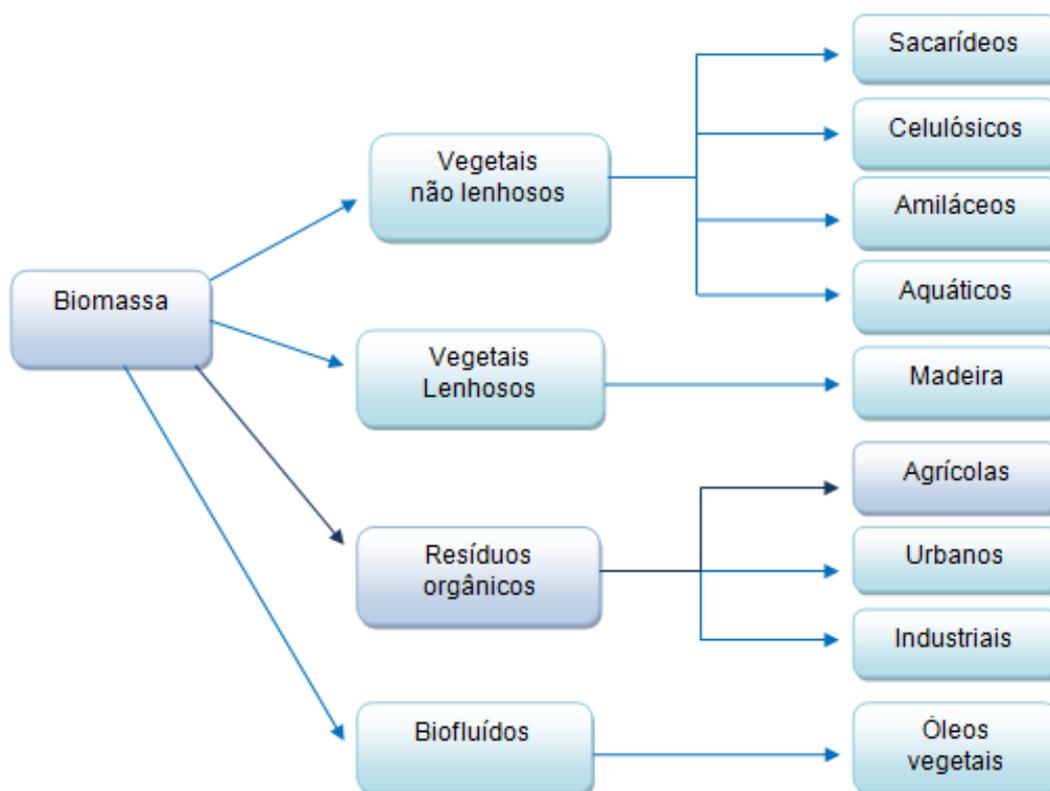


Figura 2 - Fontes de obtenção da biomassa
 Fonte: Adaptado de CORTEZ, LORA, AYARZA (2008).

A biomassa ainda pode ser utilizada para gerar três fontes de energia, o calor, a eletricidade e os combustíveis líquidos, que os tornam economicamente viáveis e competitivos (MCKENDRY, 2002; PEREZ *et al.* 2002).

Para Balat (2006), biomassa pode ser usada diretamente, como por exemplo, na queima de madeira para gerar calor, ou indiretamente, convertendo-a

em combustível líquido ou gasoso, como o álcool derivado da cana-de-açúcar ou o biogás, proveniente de resíduos animais. O poder calorífico disponível quando ocorre a queima da madeira verde varia em torno de 8 MJ/kg, quando se refere a matéria seca, fica em torno de 20 MJ/kg e 55 MJ/kg para o metano.

Para Azevedo (2000) o poder calorífico superior da madeira é 19 a 20 MJ/kg, já o poder calorífico superior do biogás é de 17 a 37 MJ/Kg, enquanto que o poder calorífico inferior é de 15 a 34 MJ/Kg. O poder calorífico superior do metano é de 55 MJ/kg, o PCI é de 50 MJ/kg.

Encontra-se um grande número de resíduos biomassícos disponíveis com grande potencialidade para produção de combustíveis. Em 1990 a capacidade de bioenergia disponível estava estimada em 225 EJ, o que equivalia a 5,4 bilhões de Tep. Entretanto o uso real dos biocombustíveis no mesmo ano foi de 46 EJ, o equivalente a 1,1 bilhão de Tep. Estes dados ainda estão estimados para crescer de 370 a 450 EJ até 2050 (FISCHER e SCHRATTENHOLZER, 2001).

A quantidade de biomassa existente na terra é cerca de 2 trilhões de toneladas, aproximadamente 400 toneladas *per capita*, em proporções energéticas isso significa mais ou menos 3.000 EJ por ano, cerca de oito vezes o consumo mundial de energia primária, a qual é 400 EJ por ano (MARQUES, 2012).

O uso da biomassa para gerar energia, traz inúmeros benefícios ambientais, econômicos e sociais quando comparados aos combustíveis fósseis. Para o meio ambiente, por exemplo, proporciona o melhor manejo da terra, a redução dos níveis de emissões de CO₂, controle de resíduos, reciclagem de nutrientes, já para a economia, por ser uma fonte de energia produzida regionalmente colabora para a independência energética e geração de receita, visto que no Brasil, por exemplo, os equipamentos utilizados para a conversão de biomassa em energia são de fabricação nacional (CENBIO, 2012).

Sordi *et al.* (2005), explica que depois da segunda guerra mundial, mais precisamente nos últimos 40 anos, o Brasil tem feito uma significativa transição para o uso moderno da biomassa. Antes era usada na forma de lenha, hoje ampliou suas fontes, passando a utilizar inúmeras matérias primas para gerar combustível, principalmente resíduos mais baratos e abundantes, como é o caso

da cana-de-açúcar, processada para produzir álcool e açúcar como produtos primários e a energia como subproduto.

O emprego da biomassa pode ser feito de algumas formas, como a combustão direta, com ou sem processos físicos de secagem, classificação, compressão, corte, entre outros. Outra forma seria através de processos termoquímicos, ou seja, a gaseificação, a pirólise, a liquefação e transesterificação, ou ainda por processos biológicos, como a digestão anaeróbia e fermentação, observados na Figura 3 (SILVA *et al.* 2005).

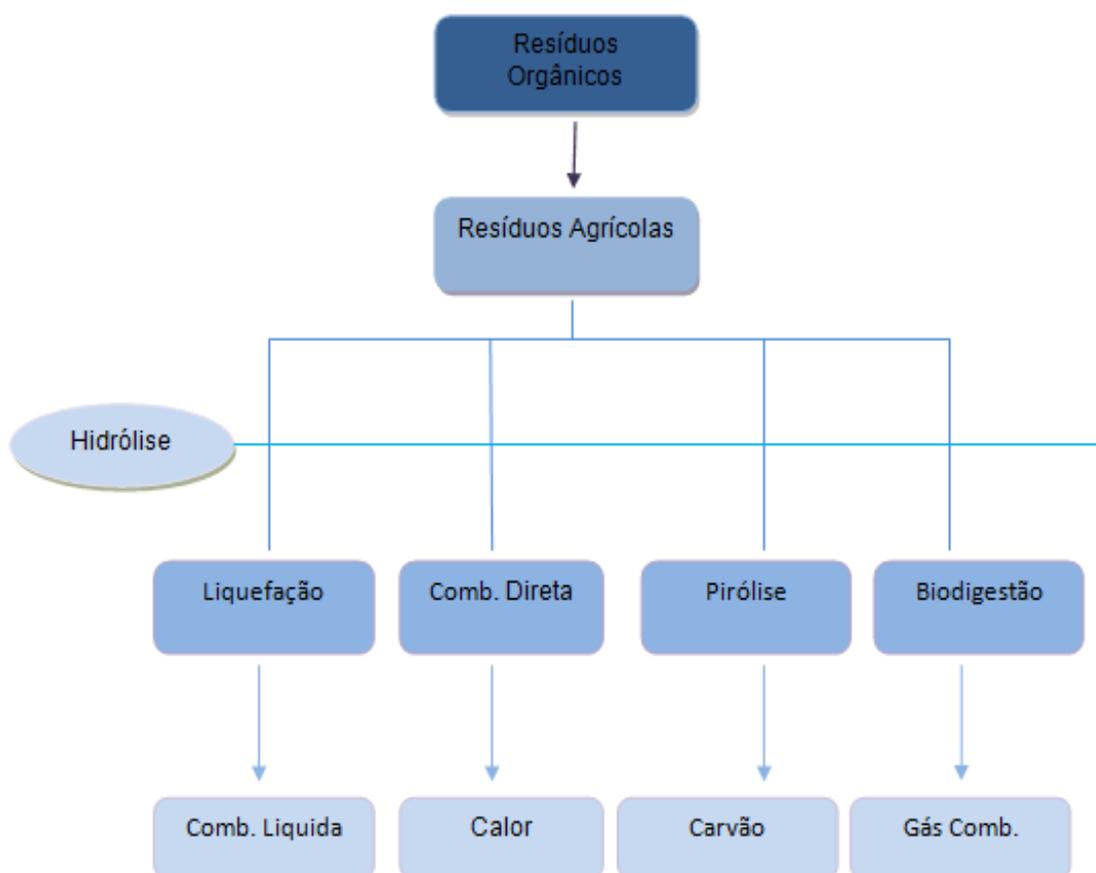


Figura 3 - Processo de conversão energética da biomassa de resíduos agrícolas
Fonte: Adaptado de Ministério de Minas e Energia (2008).

Conforme Brás *et al.* (2008), existem várias tecnologias para transformar a biomassa em energia, sendo que processos termoquímicos e biológicos são os mais utilizados. O biológico baseia-se na utilização de microrganismos, bactérias hidrolíticas e fermentativas que quebram a matéria orgânica em moléculas

menores, ou seja, transforma os compostos complexos em simples, e com alto valor energético.

O autor acima citado também explica que a transformação da biomassa origina diferentes tipos de energia, como, a energia térmica. O sistema de combustão direta pode ser utilizado na cocção de alimentos, no aquecimento e na secagem, podendo aproveitar o vapor para produção de eletricidade, já a energia elétrica, é obtida através da transformação da biomassa proveniente de culturas energéticas e de resíduos industriais e por fim a energia mecânica, resultado da utilização dos biocombustíveis, que permitem substituir, total ou parcialmente os combustíveis fósseis.

2.3.1 – Biomassa residual

Agroindústrias abatedouras tais como os frigoríficos de aves, caracterizam-se pela necessidade de utilização de grandes quantidades de água no processo produtivo, seja ela incorporada ao produto, ou na lavagem de caminhões, tubulações e pisos, na água do sistema de resfriamento e geradores a vapor. Essa demanda de água gera grande quantidade de efluentes líquidos, contaminados, que nada mais é do que a biomassa industrial, derivada do processamento dos frangos, alimentos provenientes da agricultura (GHANDI, 2005).

Os resíduos gerados numa unidade de abate de aves são conhecidos como resíduos biomássicos, pelas suas características, e podem ser tratados através do emprego de biodigestores, que degradam a matéria orgânica presente, na ausência de oxigênio e produzem como subproduto o biogás, o qual pode ser convertido e utilizado como energia renovável.

As indústrias usam água na lavagem dos caminhões, escaldagem e *toilette* das aves, lavagem e resfriamento de carcaças, miúdos, transporte de subprodutos e resíduos, higienização de pisos, paredes, equipamentos e bancadas, geração de vapor, sistema de resfriamento, entre outros (NARDI, *et al.* 2005).

A água consumida nos abatedouros e frigoríficos é função direta de sua capacidade de abate. Segundo Dallago (2009), para o abate e processamento de uma ave são necessários em média de 25 a 30 litros de água, já para Vilas Boas (2001) o volume gasto de água é de 19 a 38 litros por ave abatida.

Bellaver e Oliveira (2009) recomendam que nos processos de abate de aves o consumo de água seja de 30 litros/frango, abrangendo desde a plataforma de entrada até a expedição, incluindo todos os processos.

De acordo com Silva (2005), para cada ave processada, o consumo de água em média é de 5 a 20 L, incluindo a recepção dos animais, aspersão de água sobre as aves e lavagem das gaiolas de transporte. Percebe-se que o consumo de água na indústria varia muito de autor para autor, mas o ideal é gerar a menor quantidade de resíduos possíveis, aproveitando ao máximo a água dos processos.

A água resíduaria que constitui o efluente frigorífico, possui elevado índice de DBO e DQO, demanda bioquímica de oxigênio e demanda química de oxigênio, variando de 800 a 32.000 mg L⁻¹, grande presença de óleos e graxas, material flotável, alta concentração de sólidos sedimentáveis e sólidos suspensos e alta carga de nitrogênio orgânico e microrganismos (BRAILE e CAVALCANTE, 1993).

O tratamento desses efluentes com altas cargas de matéria orgânica são feitos por lagoas de estabilização, que diminuem as concentrações de poluentes a ponto de serem lançados no corpo receptor, ou ainda associados a outro tratamento possível (VON SPERLING, 2005).

A Resolução do CONAMA n° 357/2005, Conselho Nacional do Meio Ambiente, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, estabelece condições e padrões de lançamento para efluentes industriais. Qualquer efluente de fonte poluidora deverá impreterivelmente ser tratado antes de seu lançamento, direta ou indiretamente, nos corpos de água (BRASIL, 2005).

Os benefícios do tratamento de efluentes industriais de forma biológica devem-se ao fato de que ocorrem através de um processo natural e que diminuem o volume de resíduos a serem descartados. Para o meio ambiente, maximiza os benefícios da reciclagem e reaproveitamento da matéria orgânica,

produzindo como resíduo o biofertilizante, rico em nutrientes e livres de microrganismos patogênicos. Por fim e não menos importante, possui benefícios econômicos, o aproveitamento do biogás pode chegar a ter um alto custo inicial, mas numa perspectiva de longo prazo resulta numa maior economia, já que reduz gastos com eletricidade, diminuição da quantidade de resíduos descartados, contaminação dos corpos d'água por efluente residual, esgoto, entre outras atividades (MERCADO, 2010).

Partindo da premissa que os resíduos da agroindústria avícola são altamente poluidores, surgiram estudos que mostravam a capacidade de aproveitamento energético desse tipo de material através da digestão anaeróbica, ou biogaseificação (SOUZA *et al.* 2004).

2.4 – Biogás

2.4.1 – Histórico do biogás

A história do biogás segundo Coelho *et al.* (2001), foi atribuída a Shirley em 1667, que na época também era conhecido como gás dos pântanos. Mas somente no século XIX que iniciaram-se os estudos sobre este gás, por um aluno de Louis Pasteur, que realizou uma fermentação anaeróbia misturando estrume e água, a 35°C, obtendo 100 litros de gás por m³ de matéria. Em 1884, Pasteur apresentou os trabalhos do aluno na Academia das Ciências que considerou o experimento como o surgimento de outra fonte de aquecimento e iluminação (MME, 1981).

Os primeiros dados descrevendo a coleta de biogás proveniente de um processo de digestão anaeróbia, que ocorreu numa estação de tratamento de efluentes, foi na Inglaterra em 1895. O primeiro estudo de aproveitamento de biogás em uma pequena planta, a partir de estrume e outros materiais, foi em 1941, na Índia (ROSS e DRAKE, 1996).

Algumas décadas depois, mais especificamente em 50 e 60, países como a China e Índia foram os primeiros a dar continuidade aos estudos sobre os processos de biodigestão, desenvolvendo seus próprios modelos de

biodigestores. No Brasil essa tecnologia chegou na década de 70 com a crise do petróleo, porém na época os resultados não foram satisfatórios (COELHO *et al.* 2001).

Atualmente, o que percebe-se é que o processo de formação do biogás vem expandindo-se por vários estados e países. Devido a grande crise que o petróleo sofreu acabou impulsionando a produção de energia através de processos de tratamento anaeróbio.

Nogueira (1986), já mencionava que de acordo com as necessidades surgiram as alternativas para substituir um dado tipo de energia, conforme os recursos humanos, financeiros e materiais disponíveis. A evolução do uso do biogás deu-se a pouco tempo, até então era conhecido como um subproduto.

2.4.2 – Formação e características do biogás

Para Cassini *et al.* (2003) a definição de biogás é a mistura de gases produzidos pela conversão microbiológica anaeróbia de resíduos provenientes da agroindústria, com o metano como o principal constituinte, além do dióxido de carbono, gás sulfídrico, entre outros componentes, que podem ser observadas na Tabela 6.

No processo de produção de Biogás ocorrem reações agrupadas em etapas, como a hidrólise, a acetogênese e a metanogênese. A composição e as características do biogás vão depender da matéria prima utilizada (CHIODO *et al.* 2012).

Observa-se na Tabela 6 a variação das características conforme cada autor.

Tabela 6 - Características e composição do biogás proveniente de digestão anaeróbia

Parâmetro	Unidade	Biogás de biodigestor anaeróbio	
		(PERSSON, <i>et al.</i> 2006)	(OKAMURA, 2013)
PCI	MJ/Nm ³	23	20
Densidade	Kg/Nm ³	-	1,1
Metano	Vol. %	53 – 70	65
Dióxido Carbono	Vol. %	30 – 47	35
Oxigênio	Vol. %	-	-
Nitrogênio	Vol. %	-	-
Gás Sulfídrico	Ppm	<1000	<500

Nota: Dados obtidos a partir da matéria orgânica de resíduos agropecuários em reatores anaeróbios.

Fonte: Adaptado de Persson (2006) e Okamura (2013).

Para Souza, Pereira e Pavan (2004), a mistura de gases que compõem o biogás varia conforme o tipo de resíduos e condições de funcionamento do processo de digestão, mas os principais constituintes são o metano com 65% de participação no biogás e o restante essencialmente de dióxido de carbono, os outros gases ocupam uma porcentagem muito pequena. Os tipos de gases que fazem parte do biogás e as respectivas concentrações podem ser observados na Tabela 7.

Tabela 7 - Gases constituintes do biogás e suas concentrações

Tipo de Gás	% presente
Metano	50 – 80
Dióxido de Carbono	20 – 40
Hidrogênio	1 – 3
Nitrogênio	0,5 – 3
Sulfídrico e outros	1 – 5

Fonte: Adaptado de Souza, Pereira e Pavan (2004).

Chernicharo (1997) afirma que a composição do biogás gerado pelo processo de digestão anaeróbia irá alterar conforme as condições ambientais e as características do composto a ser degradado.

A presença de substâncias como a água e dióxido de carbono, absorvem parte da energia gerada no procedimento de conversão do biogás, deixando-o menos eficiente, conseqüentemente o elevado teor de impurezas que estarão presentes diminuirão o poder calorífico (Alves, 2000).

O principal componente do biogás, o metano, não possui cheiro, cor ou sabor, mas os outros gases presentes atribuem-lhe um odor desagradável (BARRERA, 1993). Não produz fuligem e seu índice de poluição atmosférica é inferior ao do butano, presente no gás de cozinha.

Para Gaspar (2003) o fato do biogás apresentar alta porcentagem de metano em sua composição, lhe confere um elevado poder calorífico, variando de 5.000 a 7.000 Kcal/m³, e quando submetido a um alto grau de purificação, pode chegar a 12.000 kcal/m³.

Na Tabela 8, pode-se comparar a equivalência de 1 m³ de biogás com outros energéticos.

Tabela 8 - Equivalência de 1 m³ de biogás comparado a outras fontes de energia

Fonte de energia	Quantidade Equivalente para 1 m ³ de Biogás
Gasolina	0,000613 m ³
Querosene	0,000579 m ³
Diesel	0,000553 m ³
GLP	0,000454 m ³
Álcool	0,00079 m ³
Carvão Mineral	0,000735 m ³
Lenha	0,001538 m ³
Energia Elétrica	0,001428 m ³

Fonte: Adaptado de Nishimura (2009)

O biogás também possui uma série de impurezas, que quando combinadas podem ocasionar problemas. Segundo Anderson *et al.* (2004) e Bishop (2004), as combinações de concentrações entre sulfeto de hidrogênio e amoníaco são corrosivas para inúmeros objetos, como o cobre, latão e aço, podendo se tornar tóxicos dependendo das condições de reação, por isso é importante conhecer a composição e ter cuidado com os gases produzidos no biogás.

As concentrações de sulfeto de hidrogênio presente no biogás devem ser reduzidas, por isso o gás deve passar por processo de tratamento de gases, para removê-lo e deixá-lo de acordo com os padrões permitidos para emissão (TECPAR, 2002).

Existem muitos métodos de remoção do H₂S, de acordo com Nagl (1997), a escolha de um método de remoção depende de fatores como concentração do

gás, custo do tratamento, teor de H_2S presente e a quantidade absoluta a ser removida.

Um processo simples e economicamente viável é a retirada de H_2S através de limalhas de ferro e resíduos de serragem da madeira (TECPAR, 2002).

Segundo Zicari (2003), utilizar lascas de madeira com óxido de ferro para purificar o biogás é um método bastante utilizado, com baixo custo e simplicidade de instalação com possibilidade de completa remoção de H_2S .

2.4.3 - Digestão anaeróbica

Há séculos a decomposição da matéria orgânica e consequente geração de biogás vem sendo estudada e difundida, pois possui um papel fundamental na reciclagem de nutrientes, estes estudos demonstram que os efeitos da decomposição geram energia limpa e sustentável (BITTON, 2005).

Uma forma de se obter energia limpa é com a digestão anaeróbia, através de um processo extremamente estruturado em que cada bactéria, alga e protozoários tem funções bem definidas. Este processo se divide em duas etapas. Na primeira um grupo de bactérias converte material orgânico complexo em material orgânico simples, estágio conhecido como hidrólise. Na segunda etapa ocorre a conversão desse material simples em metano e gás carbônico, passando por acidogênese, acetogênese e metanogênese, conforme se observa na Figura 4 (AMARAL, 2011).

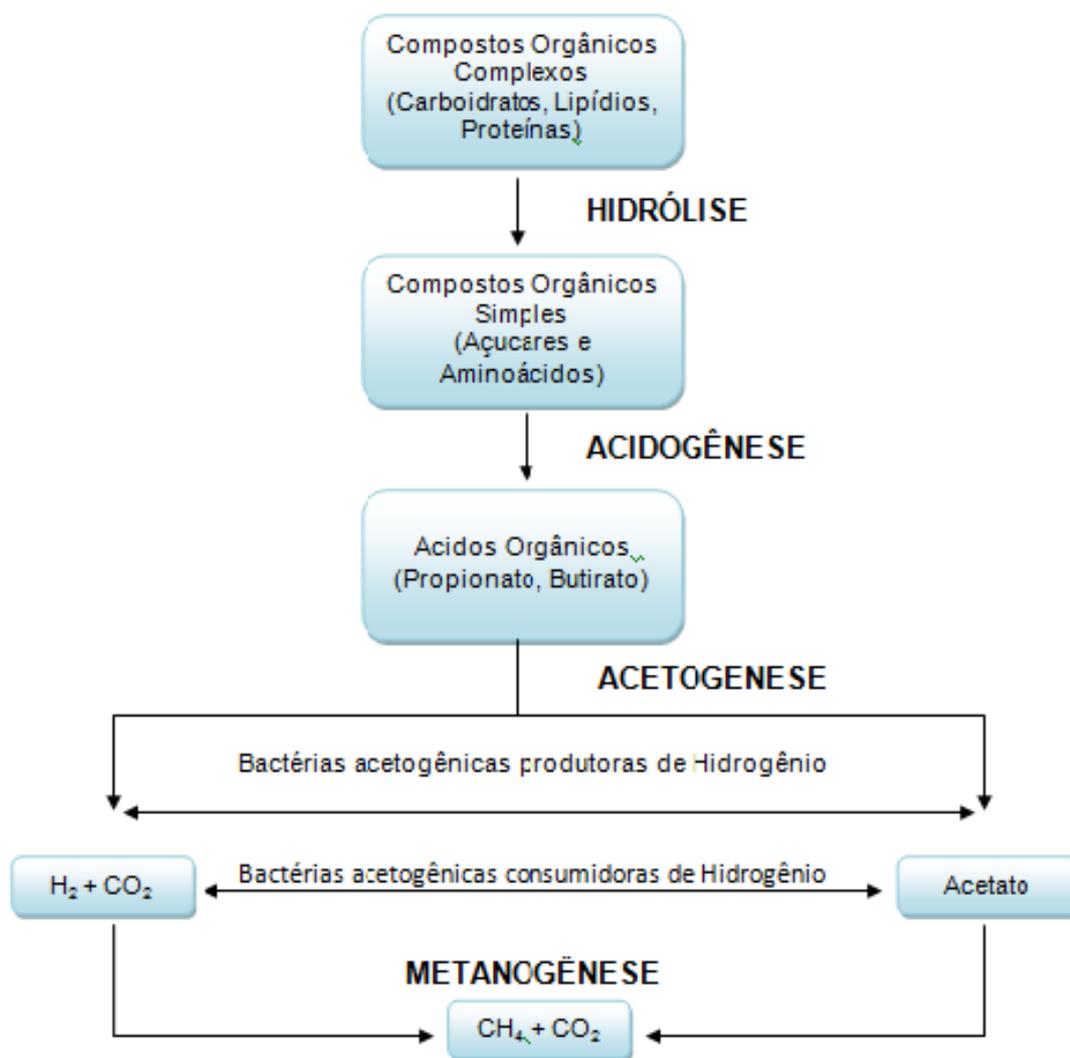


Figura 4 - Processo de degradação anaeróbia
 Fonte: Adaptado de Chernicharo (1997) e Amaral (2011)

Conforme citado por Amaral (2011), a hidrólise é a primeira fase do processo de degradação da matéria orgânica, para a formação de biogás. Segundo Inoue (2008), nessa etapa as bactérias hidrolíticas promovem a solubilização da matéria orgânica, ou seja, quebram os polímeros transformando-os em compostos menores.

Na hidrólise as proteínas serão degradadas e a partir delas obtido os aminoácidos, dos carboidratos complexos proverão os monômeros de açúcar e das gorduras os ácidos graxos de cadeia longa. Essas reações ocorrem em função da liberação, pelos microrganismos, de enzimas como a amilase, celulase, protease e lipase (MENDES, 2009).

Amaral (2011) afirma que este processo é o que irá determinar a velocidade de reação para a geração de gás metano. As bactérias responsáveis pela hidrólise e fermentação envolvem um grande grupo trófico que compõem-se por vários gêneros, dentre os quais temos: *Peptostreptococcus*, *Peptococcus*, *Eubactérius*, *Bacteróides*, *Rimonococcus*, *Clostridium*, entre outras que irão variar em número e diversidade conforme o tipo de substrato (ALVES, 2000).

A próxima fase é a acidogênese, as moléculas já simplificadas provenientes da hidrólise são metabolizadas pelas bactérias fermentativas e convertidas em compostos mais simples, como os alcoóis, ácidos graxos voláteis, ácido láctico, gás carbônico, hidrogênio, amônia, e sulfeto de hidrogênio (INOUE, 2008).

Na acetogênese somente o hidrogênio e o acetato podem ser processados diariamente pelas bactérias metanogênicas. Nesta fase cerca de 50% da demanda química de oxigênio biodegradável é convertido em propionato e butirato, que serão consumidos pelas bactérias acetogênicas e transformados em acetato e hidrogênio. Este processo resume-se na conversão dos compostos formados na acidogênese em substratos para a produção de metano (Amaral, 2011).

As Bactérias metanogênicas são as que apresentam a maior diversidade morfológica entre todos os grupos responsáveis pelo processo anaeróbio. Na última etapa são produzidos o metano e o dióxido de carbono, pelas bactérias metanogênicas arqueias, que se dividem em acetoclásticas e formam metano a partir de ácido acético ou metanol, e as hidrogenotróficas que utilizam hidrogênio e dióxido de carbono para formar metano (CHERNICHARO, 1997).

Para que ocorram estes processos com êxito, são necessários alguns fatores ambientais como temperatura, teor de água, pH e alcalinidade, toxicidade e nutrientes (LEITE, 2003; CUNHA, 2007; UEHARA, 1989; FIGUEIREDO, 2007).

A temperatura é muito importante na etapa de digestão anaeróbia, pois está relacionada com o crescimento biológico, ela influencia na velocidade do metabolismo microbiano e na solubilidade do substrato. Geralmente a temperatura está presente em três fases no processo de biodigestão, a psicrófila inferior a 20°C, a mesófila superior a 20°C e inferior a 42°C e a termófila superior a 42°C (RAJESHWARI *et al.* 2000).

A temperatura mesofílica é adaptada nos sistemas de digestão anaeróbia, enquanto que a termofílica é mais utilizada, pois destrói os microrganismos patogênicos, (KIM *et al.* 2002).

Os microrganismos não dispõem de um controle interno de temperatura, por isso este fator fica sob controle ambiental. Uma faixa de temperatura mesofílica ideal seria de 28 a 35°C, que proporciona crescimento das bactérias, abaixo dessa temperatura haveria menor produtividade de metano (PIEROTTI, 2007).

Alves (2000) assegurou que todos os microrganismos no interior do biodigestor suportam pequenas variações de temperatura. As bactérias metanogênicas segundo ele apresentam crescimento máximo a temperaturas entre 30 a 38°C na fase mesofílica com tolerância a variações de 5°C e na fase termofílica em torno de 49 a 57°C com tolerância de 20°C.

Segundo Fernandes (2012), a digestão anaeróbia pode ocorrer em temperaturas mais baixas, cerca de 10 °C a menos, no entanto a eficiência do processo e a carga orgânica reduzem consideravelmente. Speece (1996) recomenda que para cada 5°C de queda de temperatura haverá um decréscimo de 34% na atividade dos microrganismos.

Cortez, Lora e Gómez (2008) salientam que a produção de biogás duplica a cada 10°C de aumento da temperatura na faixa de 15°C a 35°C, isso ocorre porque em temperaturas mais elevadas as reações aceleram.

As reações que ocorrem no processo de formação do biogás são extremamente dependentes do pH. Segundo Guerreiro *et al.* (1999) o valor do pH depende das condições ambientais ao biodigestor e da natureza do efluente.

As bactérias metanogênicas são sensíveis aos valores de pH, um valor ótimo estaria entre 6,8 e 7,2 (RAJESHWARI *et al.* 1999). As bactéria acidogênicas elegem valores de pH ácido, sendo elas muito tolerantes a variações. Os valores de pH podem baixar de alcalino para ácido através da produção de CO₂ e ácidos orgânicos, valores muito baixos podem contribuir para inibir o processo de digestão.

Caso haja a necessidade de corrigir o pH quando estiver baixo, recomenda-se interromper o fornecimento de biomassa ao reator, para permitir que as bactérias metanogênicas tenham tempo para reduzir a concentração de

ácidos orgânicos acumulados. A atividade bacteriana irá diminuir porque não haverá alimento, sendo assim estas não produzirão ácidos, quanto atingirem o valor desejado inicia-se novamente a alimentação do biodigestor. Outra maneira envolve a adição de produtos químicos, como o hidróxido de cálcio, visto como vantajoso por ter resposta imediata (JARDINE *et al.* 2011).

Para que ocorra um bom desempenho no interior do biodigestor é importante que se tenha estímulos nutricionais com micronutrientes de ferro, níquel, cobalto, zinco, manganês e cobre todos em baixas concentrações e os macronutrientes, nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre, cálcio e magnésio. Caso haja necessidade deve-se adicionar ao efluente concentrações de nutrientes suficientes para um bom desempenho (RAJESHWARI *et al.* 2000).

Moraes (2005), afirma que é essencial algum estímulo nutricional para as bactérias arqueias, principalmente o fósforo e o nitrogênio, uma relação equilibrada de carbono e nitrogênio são fundamentais. Entretanto deve-se ficar atento aos excessos, pois um nutriente crucial ao desenvolvimento de um microorganismo pode vir a tornar-se tóxico se fornecido em elevadas concentrações.

Uma substância é considerada inibidora ou tóxica se provocar mudanças adversas na população microbiana ou inibir o crescimento bacteriano. Para que não ocasione toxicidade das bactérias na digestão anaeróbia é importante precaver a entrada de desinfetantes, sanitizantes, bactericidas e substâncias químicas sintéticas (NISHIMURA, 2009).

Para Cortez, Lora e Gómez (2008), a toxicidade causada pela amônia é uma das mais críticas, pois o composto é produzido em grande concentração na forma de íons NH_4^+ quando o pH está abaixo de 7,2. A amônia é produzida pela degradação da matéria orgânica nitrogenada, principalmente na forma de proteínas e ureia.

O sulfato é outro inibidor presente nas águas residuais industriais. Em condições anaeróbias, o sulfato é reduzido a sulfureto, por ação das bactérias sulfato redutoras, como resultado podem ocorrer dois níveis de inibição, supressão da produção de metano, devido à competição das bactérias sulfato redutoras por substratos orgânicos e inorgânicos. A outra maneira de inibição é

pela toxicidade ocasionada aos diferentes grupos tróficos anaeróbios devido a formação de ácido sulfídrico (Chen *et al.* 2008).

Alguns metais pesados presentes nos micronutrientes também são tóxicos para os microrganismos anaeróbios, mesmo em baixas concentrações, podendo mata-los ou inibir o seu metabolismo (GUERRERO *et al.* 1999).

Outro aspecto de relevância para a produção de biogás é a umidade, pois influência diretamente no processo de combustão, afetando a temperatura da chama, limites de inflamabilidade, diminuição do poder calorífico e taxa de ar-combustível (PECORA, 2006).

2.4.4 - Biodigestores

Existem vários métodos para que ocorra a produção de biogás através da digestão anaeróbia, mas uma que se enquadra perfeitamente para tratar os resíduos de efluentes das indústrias alimentícias com baixo custo e mecanismos sustentáveis é o biodigestor, o qual apresenta vários modelos a serem empregados.

Conhecido desde a antiguidade e amplamente difundido no mundo o biodigestor foi mais bem desenvolvido na Índia em 1939, no Instituto Indiano de Pesquisa Agrícola, onde se construiu a primeira usina de biogás. Em 1950 foi construído o *Gobar Institute* que propiciou a difusão dessa metodologia (BONFANTE, 2010).

No Brasil o biodigestor apresentou notoriedade em 1984, quando se estimulou a instalação destes, através dos incentivos fiscais e tecnológicos propostos para a sua expansão. Entretanto a técnica não teve sucesso visto que o programa fracassou devido a falta de treinamento dos proprietários sobre o sistema de funcionamento, conhecimento técnicos falhos a respeito da construção, baixa qualidade dos materiais utilizados para elaborar o mesmo, ausência de equipamentos adequados, corrosividade dos gases que compõem o biogás e baixa durabilidade dos equipamentos que convertiam biogás em energia elétrica (BONFANTE, 2010).

O biodigestor é um dos melhores ambientes, adequadamente projetado para a ocorrência dos processos de digestão anaeróbia da matéria orgânica. É

constituído por uma câmara fechada onde é inserido o material orgânico, em meio aquoso e onde sofre decomposição, produzindo o biogás, que irá acumular na parte superior da câmara (KUNZ e OLIVEIRA, 2006).

Para Coldebella (2006), os biodigestores são instrumentos propostos a conter a biomassa e seu coproduto, o biogás, promovendo a sua distribuição. Portanto o biodigestor não produz o biogás, mas proporciona as condições necessárias para que bactérias metanogênicas atuem sobre o resíduo produzindo gás combustível.

Encontram-se na literatura e no mercado vários projetos para a construção de biodigestores, mas basicamente constituem-se por duas partes: na primeira tem-se o tanque digestor onde se aloja a biomassa e na segunda o gasômetro ou campânula em que fica armazenado o biogás. (SGANZERLA, 1983).

O Centro para a Conversão de Energia (2000) demonstra existir inúmeros projetos de biodigestores e afirma que o funcionamento deles ocorre de duas maneiras. Em uma o sistema intermitente é alimentado por biomassa uma única vez, assim que ela é introduzida é completamente decomposta pelos microrganismos, então a carga é retirada e introduzida uma nova.

No sistema contínuo, para cada quantidade de efluente que entra no biodigestor igualmente será a quantidade de resíduo que sai. Neste sistema o volume de resíduo permanece constante ao longo do tempo, sendo este modelo o mais utilizado nas agroindústrias, pois a produção de resíduos é constante (CCE, 2000).

Segundo Cortez, Lora e Gómez (2008) o desenvolvimento do biodigestor varia de acordo com a aplicação e/ou com o nível tecnológico disponível. Os modelos de biodigestores mais difundidos são os modelos indiano, chinês e canadense, sendo que o último é o mais empregado.

O modelo indiano apresentado na Figura 5 caracteriza-se por possuir uma campânula flutuante como gasômetro, que pode estar mergulhada na biomassa em fermentação e permite uma pressão constante, ou seja, a medida que o volume de gás é produzido e não é consumido, o gasômetro tende a deslocar verticalmente, aumentando o volume e mantendo a pressão constante. Possui uma parede central que divide o reservatório fazendo circular o material por toda a câmara de fermentação. O abastecimento deve ser contínuo e a concentração

de sólidos totais não pode ser superior a 8%, para evitar entupimento dos canos de entrada e saída (NOGUEIRA, 1986; DEGANUTTI *et al.* 2002).

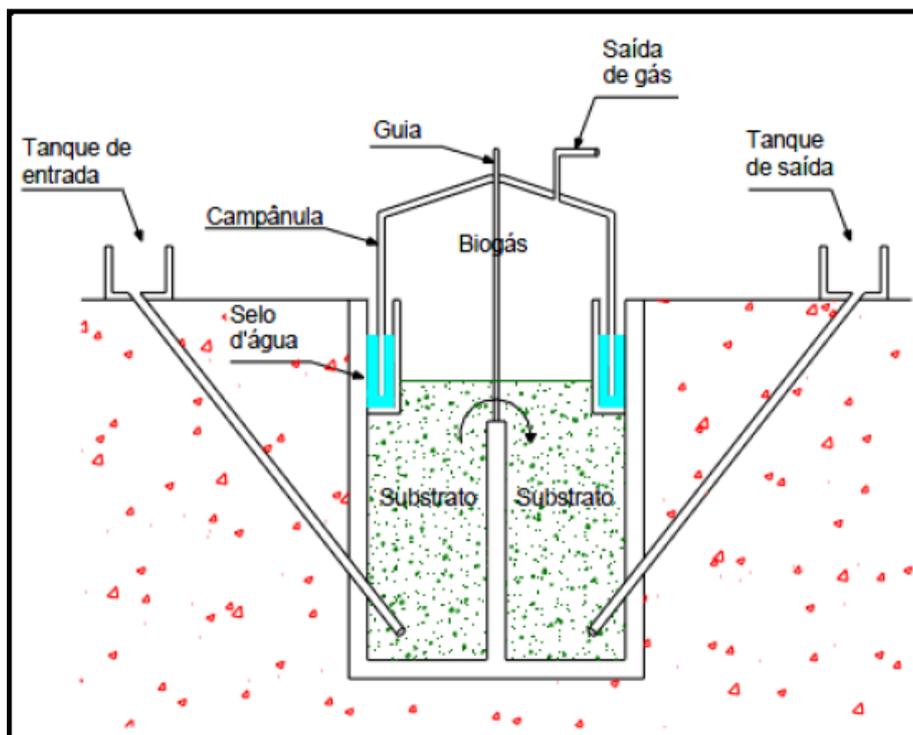


Figura 5 - Biodigestor modelo indiano

Fonte: NISHIMURA (2009).

O modelo chinês apresentado na Figura 6 caracteriza-se por não possuir gasômetro, sendo que o gás fica armazenado no interior do próprio reator, é formado por uma câmara cilíndrica em alvenaria para fermentação, com teto impermeável, para armazenar o biogás. Esse modelo de biodigestor libera uma parcela do gás formado em seu interior para a atmosfera, o que reduz parcialmente a pressão interna, por isso as construções deste modelo são utilizados em instalações de grande porte. Neste modelo o substrato também deverá ser fornecido continuamente, com a concentração de sólidos totais em torno de 8% e não possui gasômetro (BENICASA, 1990; DEGANUTTI *et al.* 2002).

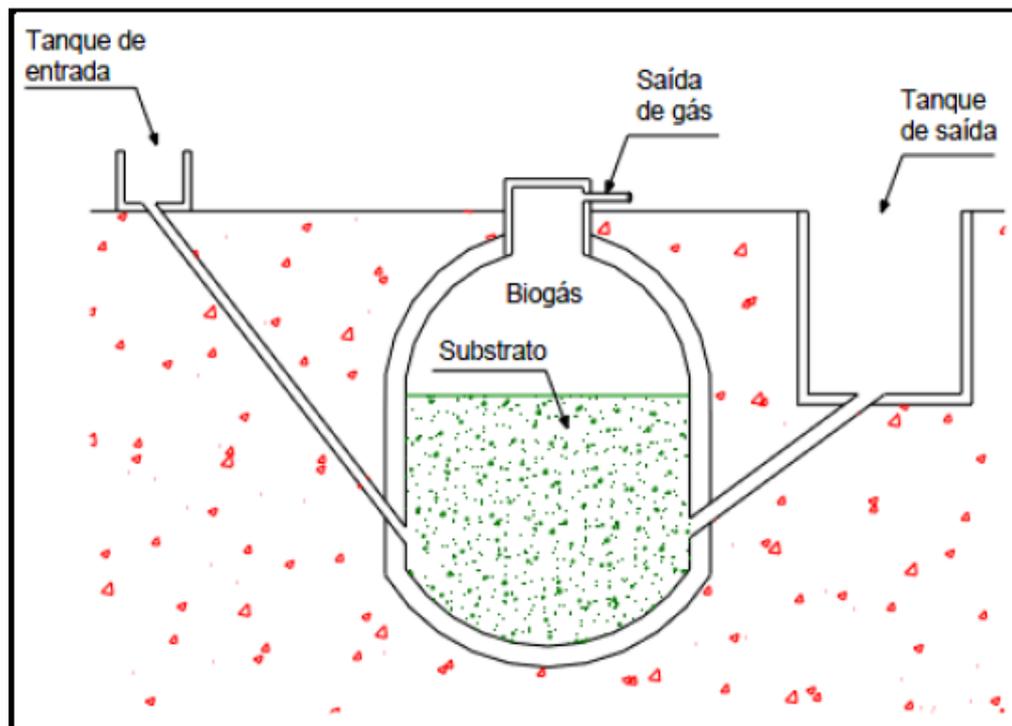


Figura 6 - Biodigestor modelo chinês
 Fonte: NISHIMURA (2009)

Por fim, o modelo mais empregado é o canadense, que caracteriza-se por possuir uma base retangular construída de alvenaria, onde ficará o substrato e gasômetro feito em manta flexível de PVC, ou similar, que fica sobre uma valeta coberta com água e que circula a base, como pode ser observado na Figura 7. A sua constituição é simples e é utilizado em locais quentes, pois a temperatura ambiente ajuda a manter as condições favoráveis dentro do biodigestor para os processos de digestão anaeróbia (FERNANDES, 2012; NISHIMURA, 2009).

A cobertura deste tipo de biodigestor ainda pode ser de geomembrana sintética de Polietileno de Alta Densidade (PEAD), esse material é um excelente produto para grandes aplicações que exigem resistência contra radiação ultravioleta, ozônio e compostos químicos (FERNANDES, 2012).

Lucas Júnior e Souza (2009) descrevem o biodigestor conhecido como canadense sendo também de fluxo tubular. Este modelo é mais recente e apresenta uma tecnologia mais moderna, porém pouco complexa. É caracterizado por ser horizontal, que apresenta uma caixa de carga em alvenaria e com a largura maior que a profundidade, possuindo, assim, uma área maior de exposição ao sol, o que favorece a produção de biogás. O modelo de fluxo tubular permite que a cúpula infle, porque é feita de material plástico maleável como o

PVC ou PEAD, embora seja de fácil construção, sua durabilidade é inferior aos outros modelos.

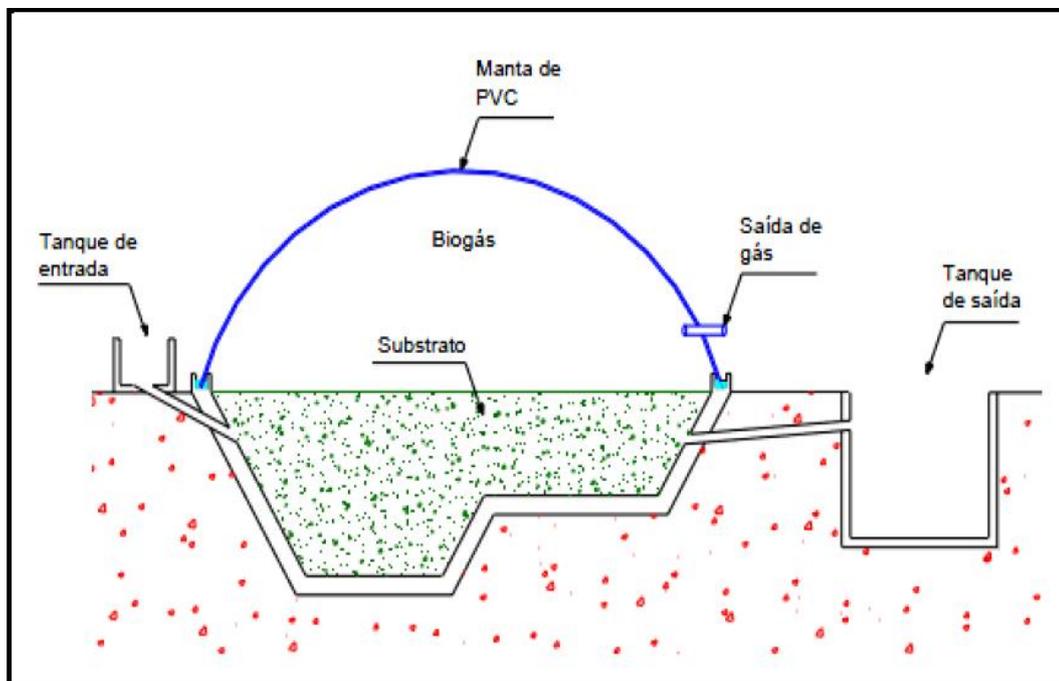


Figura 7 - Biodigestor modelo canadense
Fonte: NISHIMURA, 2009.

A escolha do tipo do biodigestor depende basicamente das condições locais, tipo de substrato, experiência do construtor e principalmente relação custo x benefício, todavia, qualquer digestor construído, se for corretamente instalado e operado, produzirá biogás (DEGANUTTI *et al.* 2002).

2.5 – Aspectos energéticos do biogás

Uma característica importante em um gás é a quantidade de energia que ele libera na combustão completa de uma unidade de massa ou volume. Para os gases esse processo é denominado de poder calorífico, também conhecido como poder de queima, calor de combustão ou potência calorífica (COSTA, 2006).

Costa (2006) explica mais claramente que quando se determina a composição de um combustível, observa-se que este é habitualmente composto por carbono, hidrogênio e oxigênio. Quando ocorre a combustão do mesmo, forma-se água como produto dessa reação, devido a presença do hidrogênio e que pode aparecer na forma líquida, gasosa ou ambas. Quando a água

condensar, será então o poder calorífico superior (PCS), mas se estiver em estado gasoso, será obtido poder calorífico inferior (PCI), portanto no caso do biogás terá PCI e PCS.

Na Tabela 9, verifica-se o poder calorífico inferior e superior de alguns gases que compõem o biogás.

Tabela 9 - Poder calorífico inferior e superior dos gases com maior presença no biogás

Composto	PCS (Kcal.kg⁻¹)	PCI (Kcal.Kg⁻¹)
Monóxido de Carbono	2.440	2.440
Hidrogênio	34.400	29.000
Metano	13.250	11.900

Fonte: Adaptado de José Junior (2004).

O biogás pode ser utilizado em diversas áreas domésticas e rurais e em sistemas de combustão direta, bem como em operação de motores de combustão interna (DIAZ, 2006).

Para que ocorra uma perfeita utilização do biogás é necessário que se tenham aparelhos adaptados específicos, para transforma-lo em energia elétrica é necessária a utilização de geradores e para a conversão em energia térmica é necessário o uso de fornos (AVELLAR *et al.* 2002).

A aplicabilidade do biogás estende-se a rede pública e privada de gás, em motores de cogeração, energia mecânica e transportes, em combustão direta, para aquecer ambientes, águas, produzir vapor, células combustíveis, turbinas a gás, secagem e até mesmo a produção de frio, portanto não importa a utilização do biogás, ele terá como resultado a energia térmica, elétrica ou mecânica (SANTOS, 2000).

2.6 – Produção de energia elétrica a partir do biogás

O emprego do biogás para desenvolver energia elétrica tem apresentado um desenvolvimento significativo nos últimos anos, pois tem-se estimulado a implantação de unidades de geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente de agroindústrias (MARQUES, 2012).

ZANIN *et al.* (2002), aponta que muitas pesquisas estão se desenvolvendo com foco no uso de biogás como combustível na geração de energia, afirmando ser uma ótima opção para o Brasil já que é uma atividade promissora.

Um aspecto positivo da geração de energia a partir do biogás é a vantagem do seu potencial incentivar a economia local, movimentar os setores da indústria e comércio, e ainda de serviços, pois gera energia para diversos setores (Lindermeyer, 2008).

O Centro para Conversão de energia – CEE (2000) demonstra como empregar o biogás nas mais variadas atividades, podendo ser visualizado uma adaptação do esquema na Figura 8.

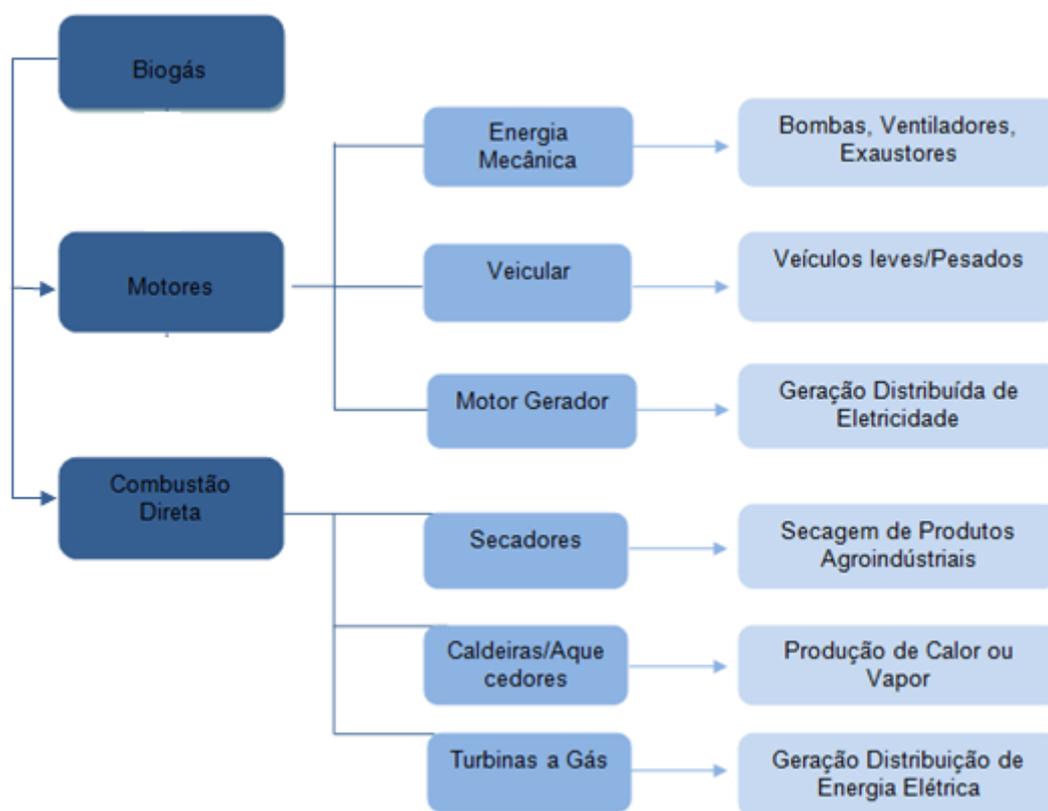


Figura 8 - Diferentes possibilidades de uso do biogás

Fonte: Adaptado do Centro para Conversão de energia, CCE (2000).

Segundo o Fernandes (2012), o biogás tem um conteúdo energético elevado, próximo ao gás natural, o que permite a sua substituição em muitas áreas. Uma das vantagens do uso do biogás em relação ao gás natural é o fato de ser renovável e produzido em qualquer local, desde que haja biomassa.

Entretanto uma desvantagem seria em relação ao seu poder calorífico que é menor que o do gás natural, mesmo com a composição de sulfeto de hidrogênio e umidade em ambos.

Essas características do biogás para a produção de energia possibilitam o surgimento de novas perspectivas para a economia rural, novas possibilidades de emprego e desenvolvimento profissional.

Para que seja possível converter biogás em energia se faz necessário o uso de motores geradores de eletricidade a biogás. Os maiores grupos de motores podem gerar 1,6 MW, que possuem um sistema de resfriamento a água, onde os gases de exaustão e a água quente podem ser utilizados com o auxílio de trocadores de calor (cogeração) para aquecimento do efluente dos biodigestores, fornecimento de água quente para o processo de produção, aquecimento de construções, produção de frio com auxílio de sistemas de refrigeração por absorção entre outras aplicações (FERNANDES, 2011).

A principal aplicação do biogás seria em motores e na combustão direta, no procedimento de combustão direta o biogás é queimado em câmaras de combustão de turbinas a gás, caldeiras, aquecedores e secadores, sendo que o calor liberado na queima é utilizado em processos produtivos ou na geração de eletricidade. Para motores de combustão interna ele é transformado em potência mecânica, assim os motores de combustão interna são ligados a geradores elétricos, chamados motores geradores, podendo ser utilizados por propriedades rurais e na agroindústria, que possuem disponibilidade de biomassa residual e biogás para a geração distribuída de energia elétrica (PRATI, 2010).

Os motores de combustão interna são os mais empregados para gerar energia elétrica a partir do biogás. Formam um conjugado entre geradores de eletricidade acoplados a motores de ignição por centelha, chamados de Ciclo Otto. Esse processo de conversão onde se utiliza o biogás como combustível é compreendido como facilitado, pois a maioria dos motores a gás já utilizam gás natural (STAHL *et al.* 1981).

Segundo Oliveira (1997), motores térmicos de combustão interna são aqueles em que a mistura é captada para dentro do motor e queimada transformando a energia térmica em energia mecânica.

Motores térmicos de combustão interna têm como finalidade transformar a energia calorífica em energia mecânica utilizável. A energia considerada calorífica pode advir de diferentes fontes primárias, porém no caso de motores a combustão, a energia calorífica é originada na queima de combustíveis líquidos e gasosos, o que é equivalente dizer que os motores de combustão interna transformam energia química do combustível em mecânica (NISHIMURA, 2008).

Os motores Ciclo Otto possuem combustão interna e trabalham em quatro tempos, iniciando na fase de admissão, onde ocorre a entrada de combustível e ar, logo após a compressão desse combustível através de um pistão em uma câmara fechada, provocando a queima do ar e do combustível a partir da ignição gerada por uma centelha, com a força de explosão da queima, o pistão é empurrado em sua posição inicial, assim no último estágio faz-se a saída dos gases combustíveis, mas para que esse processo ocorra é necessário adaptar os sistemas de admissão, ignição e compressão (ICLEI, 2009; ANDRADE, 2007).

Marques (2012) menciona que além de motores Ciclo Otto também pode ser utilizado motores Ciclo Diesel. Este modelo de motor ou ignição por compressão pode ser adaptado na forma dual, o que significa que a principal alteração é a introdução de um misturador na entrada de ar, antes de ser comprimido, permanecendo o restante sob o princípio diesel. No motor dual o diesel injetado entra em autoignição junto com a mistura de ar e biogás, sendo que a injeção do diesel é reduzida automaticamente pelo regulador de velocidade, com redução de consumo de 80%.

Segundo Obert (1971) a conversão de motor Ciclo Diesel para o Ciclo Otto não é simples, pois necessita da introdução de um sistema de ignição por centelha, de um carburador, remoção da bomba injetora e a redução da taxa de compressão, entretanto após a mudança de Ciclo Diesel para Ciclo Otto a eficiência de operação pode chegar a 100%.

O fato da concentração de metano ser menor no biogás do que no gás natural, faz seu poder calorífico ser metade do gás natural, isso faz com que seja necessário dimensionar o sistema de carburação, para que o fluxo do biogás seja o dobro do fluxo do gás natural, mantendo a mesma potência (MUELLER, 1995).

Motores a gasolina também têm necessidade de mudança, para poder gerar biogás. Deve-se mudar a taxa de compressão e avanço da ignição e,

sobretudo a substituição do carburador por um misturador de gás com ar (AVELLAR *et al.* 2002).

Empresas nacionais e internacionais disponibilizam no mercado motores geradores de eletricidade movidos a biogás com potências que variam de 10 kW a 1.600 kW. (GE-ENERGY, 2013; CATERPILLAR, 2013; LEÃO ENERGIA INDÚSTRIA DE GERADORES LTDA, 2013; ER-BR ENERGIAS RENOVÁVEIS LTDA, 2013).

A Figura 9 mostra onde o biogás produzido no biodigestor é utilizado. Podendo ir de um motor gerador para produção de calor e eletricidade para a rede e a sobra de produção de biogás poderá ser queimada no *flare* (queimador).

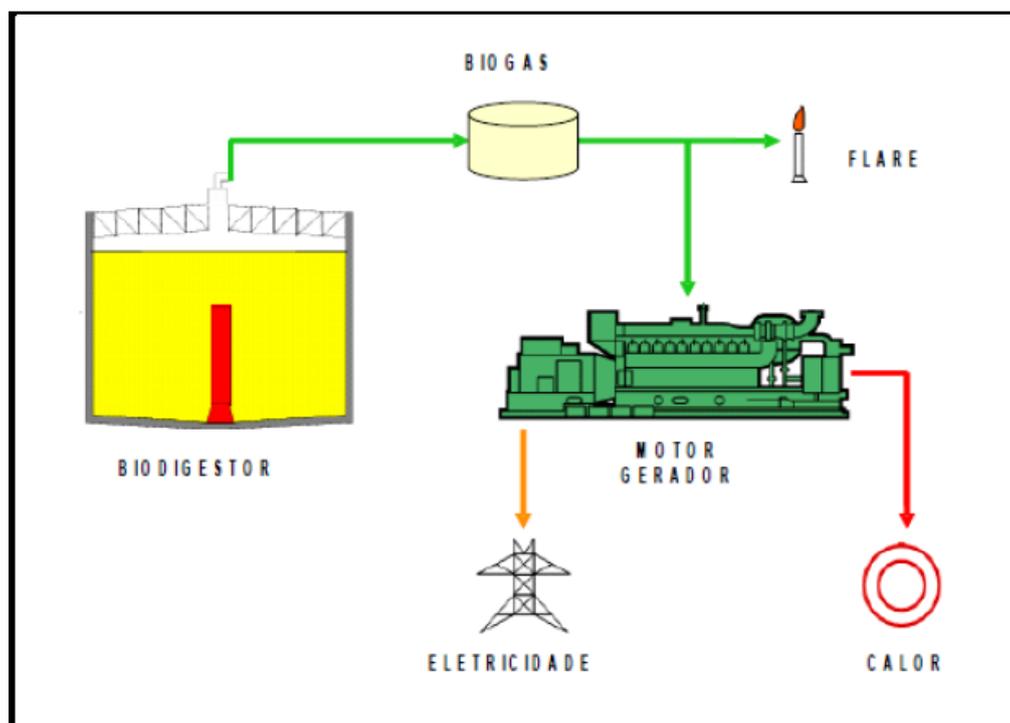


Figura 9 - Esquema representativo de geração de energia elétrica e calor
Fonte: Projeto de Geração Distribuída (2011).

Existem sistemas como o visualizado na figura acima instalados em todo o mundo para geração de energia, os quais têm potência de geração entre 15 e 50 kW, alguns além de produzir eletricidade para satisfazer a demanda da indústria utilizam água quente proveniente do calor de arrefecimento do motor (STAHL *et al.* 1981).

Apesar da geração de energia a partir da agroindústria avícola ser muito rudimentar no Brasil e no mundo, o atual momento é bastante favorável para o seu desenvolvimento, em função da crise energética que se encontra no país e altos preços dos combustíveis fósseis, como o petróleo e gás natural e da crescente pressão sobre os decorrentes custos da degradação ambiental causados pela atividade industrial (BUENO, 2008).

Devido a essa crescente demanda por energia, e a alguns problemas enfrentados nos mais variados setores energéticos é que, crescem e desenvolvem-se mais pesquisas na área de energias alternativas, assim a energia convertida e proveniente do biogás mostra a sua importância frente a fontes tão cruciais no desenvolvimento energético. A energia do biogás demonstra ser passível de substituição em pequena escala, ou em casos de emergência, onde ocorre a falta de energia elétrica convencional, desde que adequadamente convertida.

Conforme cenário traçado pelo Balanço Energético Nacional 2030 (2007) estima-se que a população atingirá 238 milhões de habitantes, com uma demanda total de energia primária de cerca de 555 milhões de Tep. A demanda per capita evoluirá para 2,33 Tep/milhões de habitantes. Portanto o consumo total de energia elétrica, em 2030, é estimado em 1.083,4 TW/h, o que significa uma expansão de 4,0% ao ano. Em 2005 o índice de consumo de eletricidade residencial per capita era de apenas 38 kWh por mês por habitante, já em 2030, estima-se que possa chegar a 99 kWh por mês por habitante.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia desenvolvida para aplicar neste trabalho consistiu em buscar dados junto a uma indústria de abate frangos que possui sistema de produção de biogás e conversão em energia. A partir de dados coletados em fontes bibliográficas com as informações do número de frangos abatidos no Brasil e o consumo de energia do setor residencial no ano de 2012, foi possível calcular a estimativa dos estados e das regiões brasileiras para produzir biogás e convertê-lo em energia.

3.1 – Local da pesquisa

A pesquisa foi realizada parcialmente baseada em dados de uma indústria abatedoura de frangos situada na região Oeste do Paraná a qual opera em dois turnos, com capacidade para abater 300.000 cabeças de frangos/dia, utilizando-se 8.400 m³/dia de água. O estudo do potencial de produção de energia elétrica abrange todos os estados brasileiros com indústrias de abate de frangos.

3.2 – Coleta e análise de dados

Os dados obtidos são oriundos na sua grande maioria de fontes secundárias, entre elas, livros, publicações e artigos científicos, material usado para a construção do embasamento teórico e experimental deste estudo. Entretanto no período compreendido entre os meses de janeiro a julho de 2012, foram realizadas visitas a indústria colaboradora seguida de coleta dos materiais que serviram de apoio para o trabalho experimental.

As informações e dados de contexto mais abrangente foram obtidos através de sites como o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), MME (Ministério de Minas e Energia), ANNEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), ABPA (Associação Brasileira de Proteína Animal), entre outros.

Em relação à análise de dados, Rudio (1999), afirma que o pesquisador proverá de muitas informações e respostas que precisarão ser ordenadas e

organizadas para que em seguida possam ser analisadas e interpretadas. Para isso devem ser codificadas e tabuladas, iniciando este processo pela classificação dos mesmos.

Considerando a abordagem do autor acima e baseando-se nos dados obtidos com a empresa e publicações, foi possível agrupar as informações, ordená-las e tabulá-las, já com o auxílio de cálculos foi possível promover um panorama sobre o potencial de produção de biogás numa indústria abatedoura de frangos e o potencial de produção de biogás no Brasil a partir da biomassa gerada pelas indústrias de frangos, bem como a sua conversão em energia, conhecida também como agroenergia.

3.3 – Sistema de tratamento dos efluentes da indústria

A primeira fase deste trabalho foi conhecer a indústria e o funcionamento do tratamento de efluentes, do qual origina a biomassa utilizada para a produção de biogás.

A indústria de abate de frangos passou através de planilhas e relatórios algumas informações sobre o processo e as características da biomassa, como pH, temperatura, tempo de retenção hidráulico do substrato, poder calorífico superior, demanda bioquímica e demanda química de oxigênio e a concentração de sólidos. Estas informações permitiram comparar com as literaturas pertinentes e avaliar a sua importância no processo de produção do biogás, bem como o bom desempenho do biodigestor e da digestão anaeróbia.

Segundo informações da indústria de abate de frangos em questão, cerca de 70% dos seus efluentes são gerados no processo industrial de abate, 6% é proveniente da limpeza da planta, limpeza diurna e 9% da limpeza noturna e lavagem de gaiolas, já a lavagem de caminhões contribuí com cerca de 1%, que seguem para o sistema de tratamento de águas residuárias, os outros 14% são provenientes do uso em sanitários, refeitório, casa de máquinas e caldeira, os quais seguem para outro tratamento.

O Sistema de tratamento das águas residuárias utilizado na indústria consiste no uso de tratamento preliminar, primário e secundário por processos físicos e biológicos.

A Figura 10 demonstra o caminho percorrido pelos efluentes que são gerados no processo produtivo, limpeza da planta, lavagem de caminhões e gaiolas. Estas águas residuárias ricas em matéria orgânica passam por peneira estática para a remoção de sólidos grosseiros, conhecido como pré – tratamento, estes sólidos vão para a compostagem; em seguida a água residuária passa por equipamento de flotação por processo físico de ar dissolvido para remoção de óleos e graxas e sólidos suspensos que são queimados na caldeira, fechando o tratamento primário.

O tratamento secundário é caracterizado pelo uso de biodigestores. A água residuária ou efluente industrial proveniente do tratamento primário passa por um medidor de vazão denominado de Calha Parshall, em seguida, através de dois biodigestores modelo canadense, sofre a degradação da matéria orgânica ou digestão anaeróbia. Para finalizar o tratamento após passar por processo de biodigestão os efluentes seguem para uma lagoa anaeróbia com seis aeradores sub-superficiais que fazem parte do tratamento secundário físico e por fim lagoa de sedimentação.

A Figura 10 apresenta o caminho dos resíduos e efluentes.

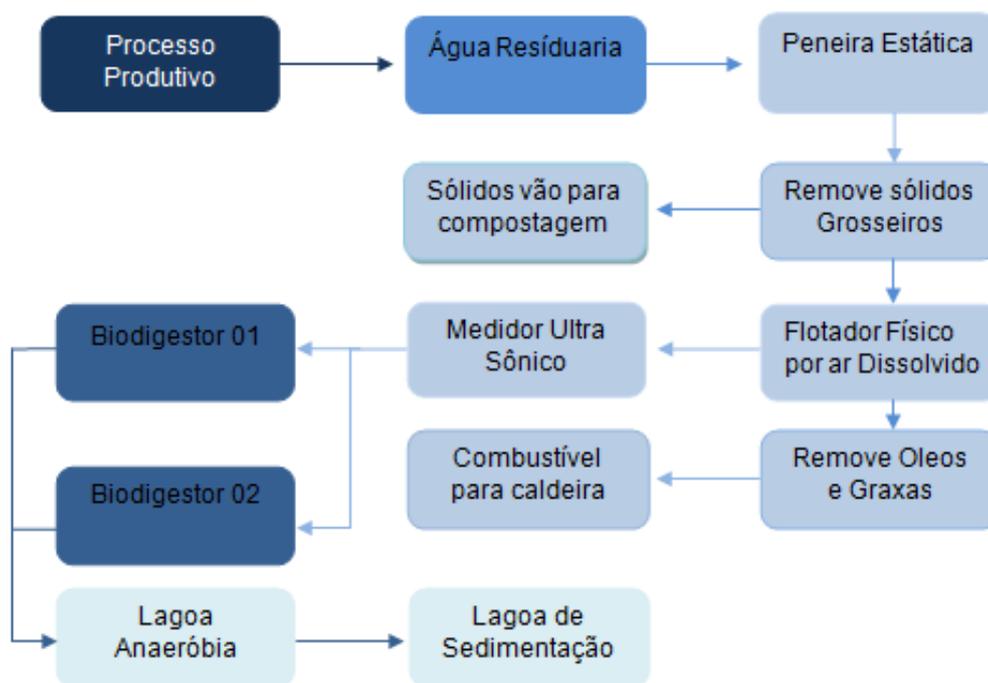


Figura 10 - Fluxograma do Sistema de Tratamento de Efluente

Fonte: Indústria de abate de frangos (2011).

O sistema de tratamento de efluentes da indústria de abate de frangos tem como objetivo principal a remoção da carga orgânica das águas residuárias, através da digestão anaeróbia, provenientes do processo de abate e industrialização da carne como forma de atender a legislação ambiental e principalmente para prevenir a poluição do corpo hídrico e nascentes existentes na área da empresa, evitando a poluição do solo, passivos ambientais e garantindo a saúde pública e bem estar da população, assim como da fauna e da flora do entorno da área.

A biomassa residual proveniente do abate de frangos com alto valor energético proporcionado por características como o pH, a $DBO_{5,20}$, a DQO, os ST e SSV bem como o poder calorífico, possibilita o seu emprego na produção de biogás, através do uso de dois biodigestores e que por fim auxiliam na estimativa da quantidade diária de biogás produzido, quantidade mensal e assim, a partir destes dados e de dados secundários estimar a produção de biogás no Brasil.

3.3.1 – Biodigestores

Os Biodigestores utilizados na indústria de abate de aves foram dimensionados pela mesma com base em critérios como: existência de uma lagoa com potencial para ser convertida em um biodigestor reduzindo com isso o custo de escavação; dimensionamento utilizando o método do tempo de retenção hidráulica, que seria de 6 dias; construção de um biodigestor modelo canadense, o qual tem um custo menor e atualmente é o mais difundido no Brasil; vazão máxima de $310 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, sendo que $186 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ são provenientes do biodigestor 01 e $124 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ do biodigestor 02.

A cobertura dos dois biodigestores é de geomembrana flexível de PEAD, com 1 mm de espessura e com proteção anti UV como observado na Figura 11, que encontra-se fixada dentro de uma vala de 0,5 m x 0,5 m de largura e profundidade recoberta com solo em todo o perímetro do biodigestor a uma distância de 0,60 m da lagoa. Existem ao longo do perímetro da membrana cintas de ancoramento fixadas em estrutura de concreto para evitar o efeito do vento.



Figura 11 - Biodigestor 01

Fonte: Indústria de abate de frangos

A biomassa originada na indústria é disposta em uma caixa de passagem, introduzida no ponto médio da largura do biodigestor, onde é distribuído em 5 saídas direcionadas a 2,50 m do fundo da lagoa para o biodigestor 01 e 4 saídas para o biodigestor 02, após a caixa o efluente é conduzido a outra lagoa, que compõe o sistema de tratamento.

O biodigestor 01 contém seis saídas de biogás, perfuradas na geomembrana com 50 mm de diâmetro e com tampão rosqueável, o qual permite a instalação de uma tubulação de 50 mm de captação flexível. Enquanto que o biodigestor 02 possui 4 saídas de biogás nas mesmas dimensões. As saídas de ambos os biodigestores estão a 1,6 m do nível da lagoa.

Ainda o biodigestor 01 apresenta 10 caixas de vistoria, 5 de cada lado, com tubos de 150 mm, com tampa, acompanhando a inclinação dos taludes até 1,5 m do fundo tendo a finalidade de inspeção para recirculação e limpeza. Estas caixas de vistorias são em alvenaria de tijolo nas dimensões 0,50 x 0,50 m e altura variável, revestidas internamente por argamassa de cimento e a tampa com espessura mínima de 5 cm em concreto armado. Sendo que o biodigestor 02 apresenta 6 caixas de vistoria, 3 de cada lado.

Pode-se verificar através da Figura 12, o desenho do biodigestor e no anexo I a planta baixa do biodigestor 01, implantado na indústria de abate de

frangos, a qual tem forma trapezoidal, com as seguintes dimensões: 55 m para a largura maior e 42 m para largura menor, com 115 m de comprimento, por 5 m de profundidade.

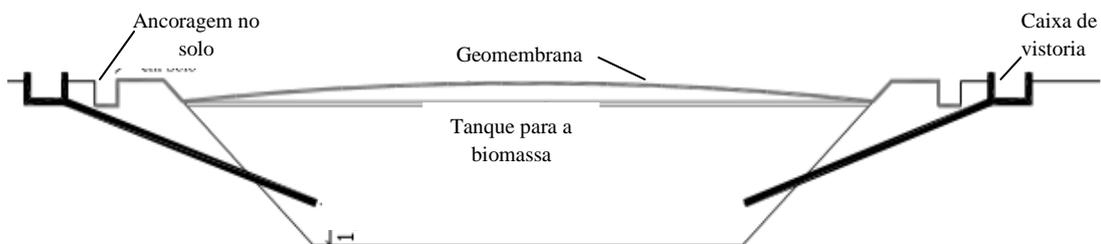


Figura 12 - Esquema do Biodigestor 01
Fonte: Indústria de abate de frangos

No anexo II, encontra-se a planta baixa do biodigestor 02, implantado na indústria de abate de frangos, o qual tem forma de um quadrado. Com as seguintes dimensões: 59 m x 57 m e 5 m de profundidade.

As tubulações que transportam o biogás da indústria de abate de frangos estão projetados em 4 ramais, que saem do biodigestor 01 e 02, com um ramal principal que leva o gás ao motor gerador de eletricidade e o gás ao *flare* como observado na Figura 13.

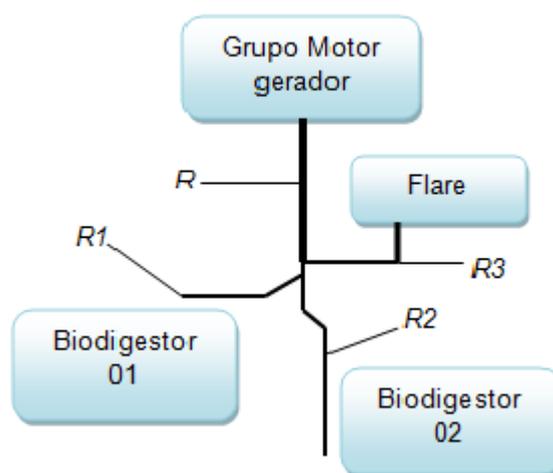


Figura 13 - Distribuição dos Ramais
Fonte: Indústria de abate de frangos

Dados como o pH, Tempo de Retenção Hidráulica (TRH), DQO, DBO_{5,20}, sólidos totais, sólidos suspensos voláteis, temperatura, poder calorífico e alcalinidade, para a caracterização da biomassa foram fornecidos pela empresa, através relatório e históricos internos.

3.4 – Obtenção das concentrações de H₂S do biogás e poder calorífico

Para diagnosticar a quantidade de H₂S contido no biogás e outros gases, obteve-se junto a indústria de abate de frangos, em uma das visitas, os valores referentes a estes parâmetros, através do aparelho analisador portátil de gases, tipo Dräger X – am 7000 como observado na Figura 14.



Figura 14 - Analisador portátil de gases
Fonte: Dräger (2014)

A qualidade do biogás (percentual de metano), foi analisada utilizando o mesmo aparelho para diagnosticar as concentrações de sulfeto de hidrogênio, com detecção simultânea e contínua para até 5 gases, com sensores infravermelhos para detecção de dióxido de carbono e hidrocarbonetos, possui um display gráfico de alto contraste, com alarmes sonoros e visuais, todas as configurações e ajustes são feitos através de software em português. Com essas medidas foi possível analisar a qualidade do efluente, variação sazonal da produção e o poder calorífico do biogás, assim como determinar a vida útil do biodigestor.

O sulfeto de hidrogênio produzido no biogás, através dos processos bacterianos, são formados pela degradação da proteína animal encontrada na

biomassa utilizada. Ele é tóxico e altamente corrosivo, por isso é necessário empregar tratamento para este gás.

A empresa conta com tratamento de limalha de ferro, bastante empregado para este fim e com baixo custo operacional. O tratamento para remoção de sulfeto de hidrogênio consiste em um filtro constituído de material PVC com limalha de ferro e resíduos de serragem de madeira, a serragem absorve a umidade e evita a formação de blocos de ferro no interior do filtro, o desenho esquemático do filtro pode ser observado na figura 15.

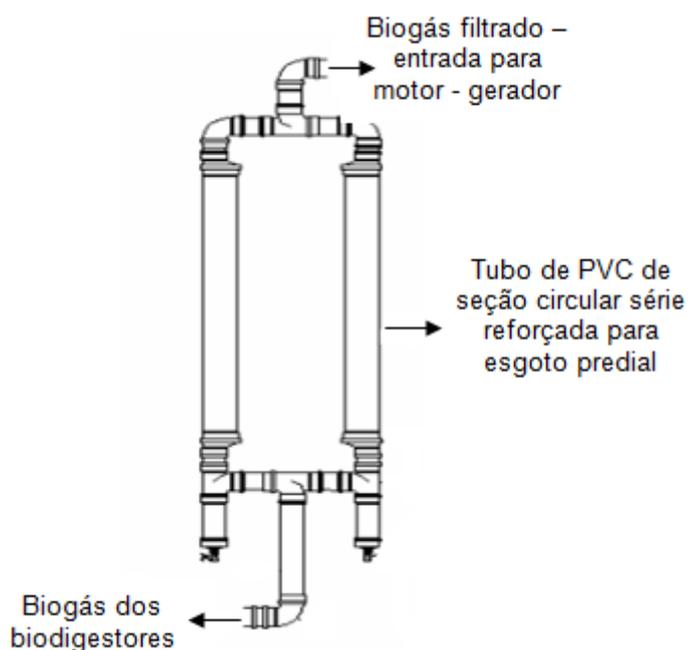


Figura 15 – Filtro de retirada de sulfeto de Hidrogênio
Fonte: Industria de abate de aves

As quantidades de H_2S registradas nos meses de janeiro a junho na saída do biodigestor e após passar por filtro de limalha de ferro foram compiladas em uma tabela, juntamente com os valores de remoção.

A empresa também forneceu dados do poder calorífico inferior do biogás obtido através do analisador portátil de gases conforme o modelo visto na Figura 14, o que permitiu avaliar a capacidade teórica de energia do mesmo, visto que o metano possui grande potencial de gerar poder calorífico.

A concentração de metano influencia não somente o poder calorífico inferior como também a densidade ou peso específico do biogás. A tabela 10 demonstra essa variação entre o poder calorífico inferior do biogás e a densidade em função da quantidade de metano presente no biogás.

Tabela 10 - Peso específico e poder calorífico inferior do biogás em função da composição química

Composição química do biogás	Peso específico ou densidade (kg/m³)	Poder calorífico inferior (kcal/kg)
10% CH ₄ e 90% CO ₂	1,8393	465,43
40% CH ₄ e 60% CO ₂	1,46	2.333,85
60% CH ₄ e 40% CO ₂	1,2144	4.229,98
65% CH ₄ e 35% CO ₂	1,1518	4.831,14
75% CH ₄ e 25% CO ₂	1,0268	6.253,01
95% CH ₄ e 05% CO ₂	0,7768	10.469,6
99% CH ₄ e 01% CO ₂	0,7268	11.661,02

Fonte: IANNICELLI (2008).

O poder calorífico do metano é de 8.500 kcal/m³, portanto a concentração de metano no biogás é diretamente relacionada ao poder calorífico do biogás. O potencial teórico de energia contido nos combustíveis é determinado pelo poder calorífico inferior (PCI). O biogás altamente purificado pode alcançar até 12.000 kcal/m³ (COPEL 2011) ou 9,85 kWh/m³ (IANNICELLI). Estes valores também variam nas literaturas em função do material empregado na digestão anaeróbia.

A concentração de metano é proporcional à energia por unidade de massa e conseqüentemente maior seu poder calorífico, portanto quanto maior a concentração de metano, mais energia por unidade de massa e maior o poder calorífico inferior (PCI) do biogás (MARQUES, 2012).

Os valores da tabela 10 serviram de parâmetros para a comparação com os dados encontrados na indústria de abate de frangos, além do poder calorífico permitiu-se avaliar as concentrações de CH₄, CO₂ e O₂ presentes no biogás, também obtidos através do analisador portátil de gases.

3.5 – Estimativa da produção de biogás

Para o monitoramento do consumo de biogás pelo motor gerador, a empresa tem instalado um medidor de fluxo de biogás na tubulação de entrada de biogás na casa de máquinas, o medidor é do tipo dispersão térmica, marca Magnetrol como mostrado na figura 16. O aparelho mede a vazão mássica de gases detectando a dissipação de calor de uma superfície aquecida, o qual permitiu a obtenção dos dados, ou seja, a medida de biogás obtida de 15 em 15 minutos dos meses de janeiro a junho no ano de 2012.



Figura 16 - Medidor de fluxo de biogás
Fonte: Magnetrol (2014).

Através de um circuito fechado de queima e combustão, totalmente automatizado, que por meio de um medidor de fluxo garante a medição da quantidade de biogás produzido, o biogás é direcionado primeiramente ao motor gerador para geração de energia elétrica, sendo o excedente do biogás direcionado ao *flare* para que seja queimado. O controle de envio de biogás para o sistema de combustão (*flare*) é feito através de um dispositivo de controle de pressão instalado no biodigestor. Os valores obtidos nesta etapa foram utilizados para estimar a média de produção de biogás referente a cada mês.

3.5.1 - Quantidade de biogás por animal abatido

Para estimar a produção diária de biogás por animal abatido dos meses de janeiro a junho de 2012 utilizou-se a equação 1. Os valores médios de produção de biogás encontrados no item 3.5 foram divididos pelo número de animais abatidos fornecidos pela indústria de abate de frangos.

$$BA_D = \frac{PM}{FA} \quad \text{eq. (1)}$$

Onde BA é o biogás obtido por animal por dia em m³, PM é a Produção Média de Biogás referente a um mês em m³, FA é o número de frangos abatidas que irá se referir ao mesmo mês.

3.6 – Potencial de produção de biogás na indústria de abate de frangos no Brasil

A partir dos dados obtidos no item 3.5.1, juntamente com pesquisa bibliográfica no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, adquiriu-se material sobre a quantidade trimestral de frangos abatidos no Brasil no ano de 2012, que permitiu calcular e estimar a quantidade anual de frangos abatidos no Brasil.

A Tabela 12 demonstra os estados brasileiros em ordem crescente de maior abatedor de cabeças de frango no ano de 2012, estados como o Tocantins, Amazônia, Acre, Piauí, Ceará, Rondônia, Alagoas e Sergipe tem um índice de abate de frangos abaixo dos 10 milhões, por isso formaram um único grupo denominado de “outros”, tornando-se um valor possível de cálculos.

Tabela 11 - Abate anual de frangos por estado brasileiro

Estado	Quantidade
Paraná	1.451.274.959
Santa Catarina	887.353.445
Rio Grande do Sul	728.760.296
São Paulo	684.115.111
Minas Gerais	407.510.025
Goiás	322.285.423
Mato Grosso	239.518.502
Mato Grosso do Sul	141.465.086
Bahia	80.726.470
Pernambuco	47.989.818
Pará	41.788.449
Rio de Janeiro	40.425.962
Espírito Santo	26.313.211
Paraíba	19.012.539
Distrito Federal	20.956.242
Outros	25.053.460
Total Anual	5.164.548.998

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2012a, 2012b, 2012c, 2012d).

Para calcular o potencial de produção de biogás na indústria brasileira de abate de frangos somou-se a quantidade de aves abatidas nos quatro trimestres do ano de 2012 por estado com os dados obtidos junto ao IBGE nos indicadores de produção pecuária.

A partir da relação anual de abate de frangos estimou-se primeiramente a quantidade de biogás que cada estado da federação poderia produzir num dia. Dividiu-se o número total anual de frangos abatidos de cada estado da federação por 365, conforme equação 2.

$$FA_d = \frac{FA_a}{365} \quad \text{eq. (2)}$$

Onde FA_d é o número de frangos abatidos por dia no estado da federação, FA_a é o número de frangos abatidos por ano no estado da federação 365 é o número de dias no ano.

De posse da quantidade diária que cada estado brasileiro abate de frangos multiplicou-se pela quantidade de biogás médio gerado por cada carcaça de frango, estimado através da indústria de abate de frangos, chegando através da

equação 3 ao valor total de biogás produzido por estado, ou seja, a capacidade que cada estado tem para gerar biogás.

$$FA_d \times MB_a = \frac{PBT}{1000} \quad \text{eq. (3)}$$

Onde FA_d é o número de frangos abatido por dia, PBT é a produção de biogás total por estado da federação em $m^3 \cdot \text{dia}^{-1}$, e MB_a é a quantidade média de biogás por animal abatido em $m^3 \cdot \text{dia}$.

Para estimar a quantidade de biogás produzida por região, utilizou a mesma metodologia dos estados. Com os dados obtidos no IBGE, montou-se a Tabela 12, os quais foram somados através de planilha do excel. Em seguida calculou-se a capacidade que cada região brasileira tem para gerar o biogás através da equação 2 e 3.

Os dados do IBGE relativos a quantidade de frangos abatidos referem-se a estabelecimentos que estão sob inspeção sanitária federal, estadual ou municipal. Estados com número inferior a três informantes não são registrados e informados nos relatórios.

A Tabela 12 mostra a quantidade anual de frangos abatidos por região brasileira.

Tabela 12 - Abate anual de frangos por região brasileira

Região	Quantidade
Sul	3.067.388.700
Sudeste	1.158.364.309
Nordeste	166.480.455
Norte	48.090.281
Centro – Oeste	724.225.253
Total anual	5.164.548.998

Fonte: IBGE (2012a, 2012b, 2012c, 2012d).

3.7 – Potencial de produção de energia elétrica através do biogás

Neste item estimou-se o potencial que o Brasil possui de produzir energia através do biogás. Entretanto para que essa conversão de biogás em energia seja

possível é preciso que as indústrias tenham motores geradores adaptados para este sistema.

O grupo de motor gerador está abrigado numa casa de máquinas, construída em alvenaria com pé direito médio de 3,02 metros; comprimento de 7,57 metros e largura de 4,77 metros. Cobertura de telhado calhetão de chapa de aço galvanizado trapezoidal 0,50 mm, com duas aberturas laterais com tijolo vazado (18 x 18 x 9 mm) para entrada de ar de ventilação externo, três aberturas nos fundos frontais aos radiadores dos motores e Portão em chapa de aço lisa – 400/260, de correr em canaleta perfil “U”.

Os dados técnicos dos motores e gerador de eletricidade instalados na propriedade são mostrados nas tabelas 13 e 14.

Tabela 13 - Motor a biogás Ciclo Diesel convertido para Ciclo Otto de 50 e 100 kVA

Potência	50 kVA/100 kVA
Cilindrada	6,0 L/7,2L
Ignição	Motor de partida/Eletrônica (Pandoo)
Rotação	1800 RPM

Tabela 14 - Geradores

	Motor 50 kVA	Motor 100 kVA
Fabricante/Modelo	BEI Trifásico/200S	Gramaco/ G2R 200MB 4
Número de polos	4	4
Rotação Nominal	1800 RPM	1800 RPM
Potência	40 kVA	100 kVA
Frequencia	60 Hz	60 Hz
Tensão	220 v	220 v
Corrente	270 A	270 A

A industria de abate de frangos tem instalado três motores geradores com uma potência de geração de eletricidade de 200 kW, composta de 02 dois motores de 50 kW e 01 um motor de 100 kVA, porém os motores operam com potencia de 158 kW, ou seja, um motor com 40 kW, outro com 38 kW e um com 80 kW.

A instalação de três grupos geradores, em vez de um só de 200 kW, justifica-se pelo fato de quando ocorrer problemas mecânicos numa unidade vão existir outras unidades em operação.

Em períodos onde a produção de biogás decresce é devido a problemas ambientais, quedas na temperatura ambiente, problemas de operação ou manutenção num dos biodigestores.

A figura 17 apresenta o grupo de motor gerador com dois motores com potencia de 50 Kw, mas operando com 38 e 40 kW e um motor gerador com potencia de 100 kW, mas operando com 80 kW.



Figura 17 - Grupo de motor gerador
Fonte: Industria de abate de frangos

A figura 18 apresenta através de um fluxograma a entrada de efluente industrial nos biodigestores 01 e 02, e o biogás, produto da digestão anaeróbia no interior dos biodigestores, sendo utilizados pelos motores geradores. O motor gerador 01 opera com uma potencia útil de 80 kW e consome $50 \text{ m}^3/\text{h}^{-1}$ de biogás, o motor 02 opera com potencia de 40 kW e consome $29 \text{ m}^3/\text{h}^{-1}$ e o terceiro e último motor opera com potencia de 38 kW consumindo $29 \text{ m}^3/\text{h}^{-1}$ produzindo energia.

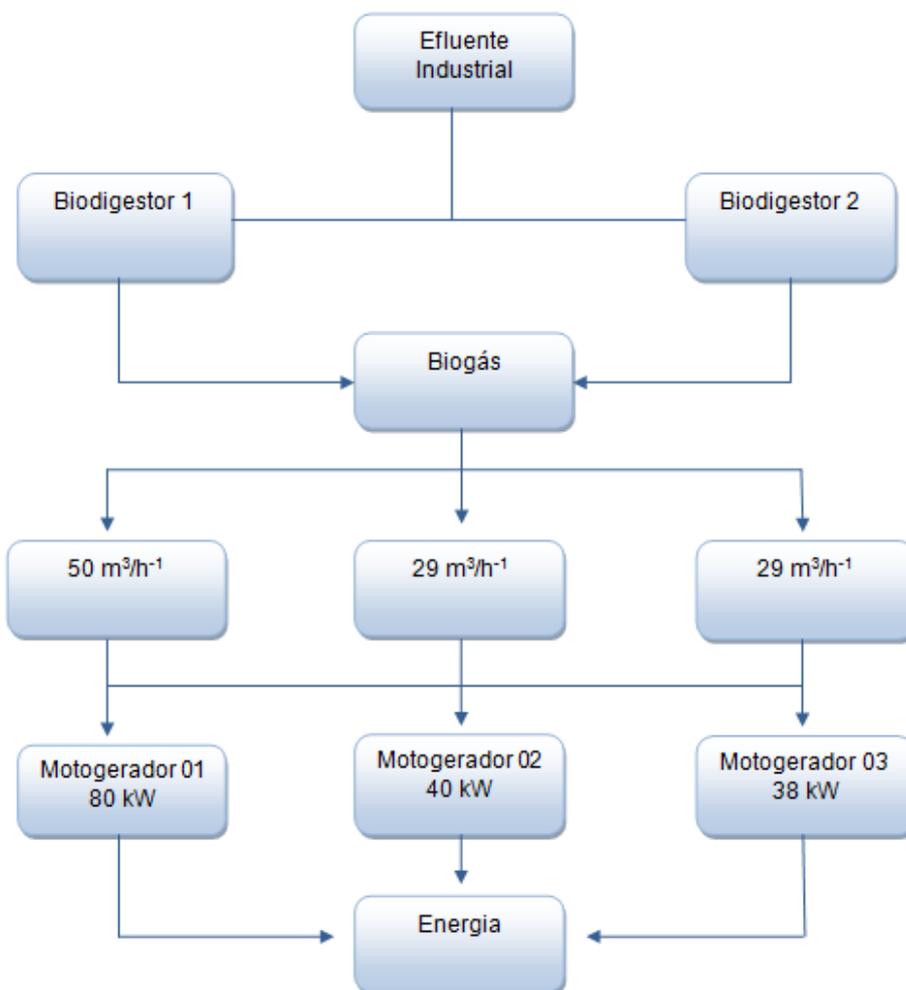


Figura 18 - Fluxograma do processo de geração de biogás e energia elétrica

Através da potencia conjunta dos motores, totalizando 158 kW e do consumo de biogás pelos mesmos de $108 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ foi possível calcular a quantidade de kW gerado a cada m^3 de biogás consumido. Sabendo-se que 1 m^3 de biogás equivale a 1,47 kWh, estimou-se a quantidade de energia que cada estado da federação e região poderia produzir em kWh.

$$E = PBT \times 1,47 \quad \text{eq.(4)}$$

Onde E é a possibilidade de energia produzida, PBT é a produção de biogás total e 1,47 kWh é a energia equivalente a 1 m^3 de biogás.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Características da biomassa

A eficiência do biodigestor no processo de conversão da biomassa em biogás depende de alguns fatores biológicos, bem como das características físico-químicas da biomassa utilizada, por isso faz-se necessário discutir e avaliar os parâmetros da mesma.

Através do pH, alcalinidade, $DBO_{5,20}$, DQO, temperatura, poder calorífico, tempo de detenção hidráulica conseguiu-se avaliar o desempenho do biogás para a produção de metano e de energia.

A Tabela 15 demonstra os dados obtidos junto a empresa que caracterizam a biomassa.

Tabela 15 - Caracterização da biomassa

Parâmetros	Biomassa
TRH (dias)	30
Temperatura (°C)	30,3°
PCI $KWh.dia^{-1}$	7,6
pH	6,53
Alcalinidade ($mg.L^{-1} CaCO_3$)	227
DQO ($mg O_2.L^{-1}$)	5.088
$DBO_{5,20}$ ($mg O_2.L^{-1}$)	2.345
ST ($mg.L^{-1}$)	2.798
SSV ($mg.L^{-1}$)	1.118

A temperatura média na produção de biogás visualizada na indústria de abate de frangos é de 30,3 °C, demonstrando ser apropriada para produção do gás.

A importância de se manter a temperatura ideal segundo Nishimura (2009) é devido a influência que ela exerce diretamente sobre o metabolismo das bactérias, o equilíbrio iônico e a solubilidade do substrato, visto que as bactérias metanogênicas são bastante sensíveis a qualquer variação na temperatura.

Para Junior (2000) a faixa ideal de temperatura para a produção de biogás é de 32°C a 37°C para bactérias mesofílicas e de 50°C a 60°C para bactérias termofílicas.

Outra característica considerada importante na biomassa é o pH, que apresentou índice de 6,53, faixa considerada ótima para a atividade enzimática. Segundo Costa (2006), níveis de pH ácido deixam a atividade enzimática nula, já em meio alcalino, a fermentação produz anidrido sulfuroso e hidrogênio. Yougfu, *et al.* (1989), diz que a faixa ótima de pH está entre 6,6 e 7,6.

O valor encontrado para os sólidos suspensos voláteis foi de 1.118 mg.L⁻¹ e de sólidos totais foi de 2.798 mg.L⁻¹. Os sólidos voláteis estão diretamente ligados ao nível de carga, são responsáveis diretos pela produção de biogás, quanto maior a quantidade na alimentação constante dos biodigestores, maior será a capacidade de produzir biogás (JUNIOR, 1994).

O Tempo de Retenção Hidráulica (TRH) é o tempo em que o substrato deve permanecer no biodigestor para que seja digerido pelas bactérias anaeróbias (OLIVEIRA *et al.* 2005), na indústria de abate de frangos o TRH foi de 6 dias.

O PCI da indústria de abate de frangos foi de 7,6 kW, de acordo com as concentrações de metano, para Iannicelli (2008) o poder calorífico pode variar entre 4,95 a 7,92 kWh.

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é definida como sendo a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar bioquimicamente um composto orgânico através da ação de microrganismos em condições anaeróbias (CORTEZ, LORA E GÓMEZ, 2008).

Ramalho (1983) cita que para a maioria dos resíduos orgânicos, é demonstrado que 80% a 90% da demanda de oxigênio por compostos carbonáceos é satisfeita até o quinto dia.

A DBO_{5,20} média da biomassa foi de 2.345 mg.L⁻¹. A DBO_{5,20} da saída do biodigestor 1 foi de 1.313 mg.L⁻¹ e do biodigestor 2 foi de 380 mg.L⁻¹. A DQO média de entrada foi de 5.088 mg.L⁻¹. A DQO da saída do biodigestor 1 foi de 1.640 mg.L⁻¹ e do biodigestor 2 foi de 582 mg.L⁻¹

Segundo Mees (2006), a DQO é caracterizada como a quantidade de oxigênio requerida para a oxidação da matéria orgânica presente no efluente, através de um agente químico. Os valores de DQO geralmente são maiores que os de DBO, em virtude de que as condições da oxidação química são mais intensas que as provocadas por microrganismos.

O efluente bruto de um abatedouro de frangos analisado por outros autores mostram dados semelhantes aos apresentados pela indústria de abate de frangos como observado na tabela 16.

Tabela 16 - Comparação de parâmetros da biomassa

Parâmetros	DAMASCENO <i>et al.</i> (2009)	Schoenhals <i>et al.</i> (2006)
pH	6,4	6,7
ST (mg.L⁻¹)	4.508	1.740
DQO (mg.L⁻¹)	7.264	1.020
DBO_{5,20} (mg.L⁻¹)	5.448	----
Temperatura (°C)	26	24
Alcalinidade (gCaCO₃.L⁻¹)	----	60
SSV (mg.L⁻¹)	318	----

Verifica-se que as características dessas águas residuárias são inerentes à composição das matérias-primas utilizadas no processo industrial, sendo que a concentração de poluentes é em função das perdas no processo e do consumo de água por unidade abatida, por isso ocorre uma variação nos valores de um autor para outro.

Estes dados são de crucial importância no biodigestor, pois estão diretamente relacionados a produção e a qualidade do gás, como visto acima, a temperatura, pH, estímulos nutricionais entre outros parâmetros interferem na quantidade de biogás e conseqüentemente numa baixa qualidade de conversão em energia.

4.2 – Obtenção das concentrações de H₂S no biogás e poder calorífico

Dados apresentados na Tabela 17 mostram as medidas de concentrações de H₂S no biogás, na saída dos biodigestores e após o filtro de limalha de ferro instalado na indústria de abate de frangos.

Tabela 17 - Concentração de Sulfeto de hidrogênio

Dias	Concentração de Sulfeto de Hidrogênio H ₂ S (ppm)	
	Saída do Biodigestor	Após filtro de H ₂ S
17/02/12	1.592,42	1.182,15
09/03/12	954,60	817,51
26/04/12	1.200,82	899,40
28/05/12	1.278,57	206,56
11/06/12	1.485,41	1.113,80
Média	1.302,36	843,88

A concentração média de sulfeto de hidrogênio no biogás na saída do biodigestor foi de 1.302,36 ppm, o qual após passar pelo filtro com limalha de ferro, instalado antes do motor gerador, passa a ser de 843.88 ppm.

O sistema de remoção de H₂S na indústria de abate de frangos obteve bom desempenho, mantendo a concentração média abaixo de 1000 ppm, é recomendada para emissões atmosféricas. Segundo Mercado (2010), as concentrações de H₂S aceitáveis no biogás para ser utilizado em motores de combustão interna deve ser inferior a 1000 ppm.

A importância de remover o H₂S deve-se ao fato de ser um gás altamente tóxico e irritante que afeta o sistema nervoso, os olhos e as vias respiratórias, a capacidade de toxicidade varia conforme a concentração do gás no ar, da sua duração, da frequência da exposição e da susceptibilidade de cada indivíduo (LINS *et al.* 2005).

Outro aspecto relevante para a produção de biogás é o poder calorífico ou o seu poder de queima. O poder calorífico encontrado no biogás pode variar conforme a quantidade de metano produzida, que é influenciada por sua vez pela digestão anaeróbia.

O poder calorífico inferior determina o potencial teórico de energia contido no biogás, na indústria de abate de frangos esse valor esteve medido em 6.564,08 kcal/m³ ou 7,6 kW/m³.

A presença do metano e outros gases no biogás fazem com ele tenha um poder calorífico que varia de 856,06 a 8.132,78 kcal/m³ (IANNICELLI, 2008). Para Costa (2006), o biogás pode chegar a atingir um poder calorífico próximo a 10.000 kcal/m³ quando purificado, já para Iannicelli (2008) este valor chega a 8.475,22 Kcal/m³.

A Tabela 18 apresenta as concentrações de CH₄ e outros gases que compõem o biogás da indústria de abate de frangos.

Tabela 18 - Concentração de CH₄, CO₂, O₂ no biogás

Dias	Concentração (%)		
	CH ₄	CO ₂	O ₂
17/02/12	71,54	27,63	0,62
09/03/12	72,69	26,17	0,80
26/04/12	73,90	24,73	1,03
28/05/12	71,72	27,13	0,83
11/06/12	73,86	25,05	0,75
23/07/12	74,53	23,99	1,13
Média	73,04	25,79	0,86

O percentual de metano médio encontrado no biogás da indústria de abate de frangos foi de 73%, confirmando os valores do poder calorífico. Estudos similares feitos por Iannicelli (2008) afirmam que o poder calorífico do biogás proveniente de dejetos de suínos em agroindústria é de 5,97 kWh, para Souza *et al.* (2004), o poder calorífico inferior do biogás é de 6,5 kWh, os autores demonstram que a biomassa produzida pela industrialização de aves possui potencial de produção de biogás equivalente ao produzido por dejetos de suínos.

4.3 – Estimativa da produção de biogás

A tabela 19 mostra a produção média de biogás na indústria avícola para nos meses de janeiro a junho de 2012, os quais foram obtidos no processo de monitoramento com medidor de fluxo, entre 1 de janeiro de 2012 a 18 de junho de 2012.

A média total de produção de biogás foi de 743,77 m³.dia⁻¹, sendo que janeiro apresentou o menor índice médio de produção de biogás, 642,86 m³.dia⁻¹ e abril com a maior média de produção 787,99 m³.dia⁻¹.

Tabela 19 - Média de produção de biogás entre Janeiro e Junho de 2012

Mês	Produção de biogás média (m³.dia⁻¹)
Janeiro	642,86
Fevereiro	726,51
Março	762,66
Abril	787,99
Maio	758,54
Junho	784,11
Média	743,77

O aumento ou diminuição do abate de aves pode afetar a quantidade de biogás produzido, mas a eficiência da digestão anaeróbia, influenciada por condições como pH, temperatura, umidade, estímulo nutricional entre outros aspectos é que determina a quantidade e qualidade do biogás produzido.

4.4 – Quantidade de biogás por animal abatido

A Tabela 20 apresenta a correlação do número de animais abatidos por mês, a produção de biogás e a quantidade de biogás que cada animal gera.

Tabela 20 - Produção de Biogás por animal abatido numa Unidade Industrial de Aves

Mês	Animais abatidos (aves.dia⁻¹)	Produção média de biogás (m³.dia⁻¹)	(10⁻³) m³ de biogás.animal⁻¹.dia⁻¹
Janeiro	250.000	642,86	2,57
Fevereiro	265.000	726,51	2,74
Março	268.000	762,66	2,84
Abril	274.000	787,99	2,87
Maio	270.000	758,54	2,80
Junho	272.000	784,11	2,88
Média	266.000	743,77	2,78

A média da produção diária de biogás é de 743,77 m³. dia⁻¹, para uma média de 266.000 animais abatidos, a uma temperatura de 30,3 °C, ou seja, uma produção média de 2,78 m³. dia⁻¹ para cada animal abatido.

A Figura 19 exemplifica as diferenças na produção de biogás em cada mês.

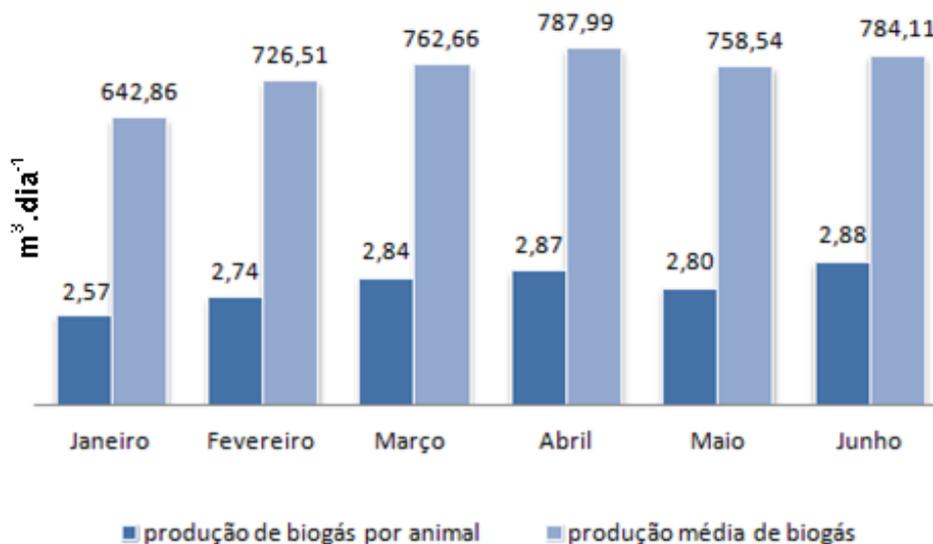


Figura 19 - Índices de Produção de Biogás

Observa-se que o mês de junho apresentou maior produção de biogás por animal abatido, $2,88 m^3 \cdot dia^{-1}$ devido ao melhor desempenho do biodigestor no processo de degradação anaeróbia, entretanto janeiro demonstrou ter a menor produção de biogás por animal abatido, com índice de $2,57 m^3 \cdot dia^{-1}$ por animal, já que a digestão anaeróbia no interior do biodigestor apresentou uma eficiência menor pela baixa umidade apresentada pela biomassa.

Abril apresentou maior índice de produção de biogás, $787,99 m^3 \cdot dia^{-1}$, tendo uma queda insignificante no mês seguinte, caindo em maio $758,54 m^3 \cdot dia^{-1}$ de biogás.

4.5 – Potencial de produção de biogás na indústria de abate de frango no Brasil

Com os dados obtidos no item 4.3, e com a equação 3 foi possível estimar a quantidade de biogás gerado por estado brasileiro e região. O potencial de produção de biogás por estado está descrito na Tabela 21.

Tabela 21- Potencial de produção de biogás no Brasil por estado

Estado	Frangos abatidos (dia)	Biogás (m³.dia⁻¹)
Paraná	3.976.095,77	11.053,54
Santa Catarina	2.431.105,32	6.758,47
Rio Grande do Sul	1.996.603,55	5.550,55
São Paulo	1.874.287,97	5.210,52
Minas Gerais	1.116.456,82	3.103,77
Goiás	882.973,76	2.454,66
Mato Grosso	656.215,07	1.824,27
Mato Grosso do Sul	387.575,57	1.077,46
Bahia	221.168,41	614,848
Pernambuco	131.478,95	365.511
Pará	114.488,90	318.279
Rio de Janeiro	110.756,06	307.901
Espírito Santo	72.090,98	200.412
Distrito Federal	52.089,14	159.611
Paraíba	57.414,36	144.807
Outros	68.639,61	190.818
Total	14.149.449	39.355,44

Estes dados demonstram que o Paraná possui a maior capacidade até o momento de produzir biogás, cerca de 11.053,54 m³.dia⁻¹ e também o maior abate de frangos por dia, seguido de Santa Catarina com 6.758,47 m³.dia⁻¹, Rio Grande do Sul com 5.550,55 m³.dia⁻¹, e São Paulo com uma capacidade de 5.210,52 m³.dia⁻¹. Estados como Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso e Mato grosso do sul, possuem produção acima de mil m³.dia⁻¹ de biogás, mas é inferior aos quatro maiores produtores.

Bahia, Pernambuco, Pará, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Distrito Federal, Paraíba apresentaram produção de biogás abaixo de mil m³.dia⁻¹. As somas dos estados como Amazônia, Tocantins, Acre, Piauí, Ceará, Rondônia, Alagoas e Sergipe em m³.dia⁻¹, apresentam uma capacidade de produzir biogás inferior a quase todos os estados, com exceção do Distrito Federal e Paraíba, possuem também um baixo índice de abate de frangos por dia justificando a baixa produtividade de biogás.

A Tabela 22 apresenta os dados referente ao potencial de produção de biogás por região brasileira.

Tabela 22 - Potencial de produção de biogás por região brasileira

Região	Frangos abatidos (dia)	Biogás (m³.dia⁻¹)
Sul	8.403.804,65	23.362,57
Sudeste	3.173.600,84	8.822,61
Nordeste	456.110,83	1.267,98
Norte	131.754,19	366,27
Centro-Oeste	1.984.178,77	5.516,01
Total	14.149.449	39.335,44

Quando avaliamos o potencial de produção de biogás por região conforme Tabela 22, verifica-se que o Sul possui maior índice para produzir biogás, visto que é onde estão concentrados os maiores estados abatedoures de aves, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, que juntos possuem potencial de gerar 23.362,56 m³.dia⁻¹.

A região Norte, com estados como Rondônia, Acre, Amazônia, Tocantins e Pará apresentam a menor capacidade de produzir biogás, cerca de 366,27 m³.dia⁻¹. A região Norte, demonstra produzir um valor insignificante de biogás, pois abatem poucos frangos, porém quando somada ao todo, altera o resultado final, agregando maior capacidade de produzir gás no setor agroindustrial.

As regiões Sudeste, Centro – Oeste e Nordeste possuem uma produção de biogás razoável, possuem juntos uma capacidade de 15.606,6 m³.dia⁻¹ de biogás. A soma da produção de biogás de todas as regiões é inferior a produção da região Sul, porém não menos importante para o resultado final na geração de eletricidade.

4.6 – Potencial de produção de energia através do biogás

Para converter o biogás em energia fez-se necessário o uso do valor 1,47 kW/m³ de biogás utilizado na equação 4, possibilitando estimar a quantidade de energia que cada estado da federação e região poderia produzir através do biogás de agroindústrias levantados no item anterior.

As tabelas 23 e 24 demonstram a energia que pode ser produzida pelo biogás.

Tabela 23 - Potencial de produção energética nos estados com maior índice de abate

Estado	kWh
Paraná	16.248,70
Santa Catarina	9.934,95
Rio Grande do Sul	8.159,30
São Paulo	7.659,46
Minas Gerais	4.562,54
Goiás	3.608,35
Mato Grosso	2.681,67
Mato Grosso do Sul	1.583,89
Bahia	903,82
Pernambuco	537,30
Pará	467,90
Rio de Janeiro	452,61
Espírito Santo	294,60
Distrito Federal	234,62
Paraíba	212,90
Outros	280,50
Total	57.823,11

Os estados com maior abate de frangos e conseqüentemente com a maior produção de biogás, por sua vez serão os maiores produtores de energia. Assim sendo o Paraná enquadra-se neste perfil, com a maior capacidade de gerar biogás e produzir energia, seguido de Santa Catarina, Rio Grande do Sul e São Paulo.

Estados como Goiás, Minas Gerias, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul possuem uma produção superior a mil kWh e inferior a 8 mil kWh. Os outros sete estados restantes mais o Acre, Amazônia, Tocantins, Piauí, Ceará, Alagoas, Sergipe e Rondônia, possuem uma capacidade de produzir 4.974,85 kWh de energia.

Quando analisam-se estes estados individualmente percebe-se uma capacidade reduzida de gerar eletricidade, um estado com a produção diária da Paraíba, por exemplo, teria capacidade para suprir a demanda de 33 casas, com consumo médio de 190 kWh por mês (MME, 2011). Portanto valores insignificantes quando utilizados em conjunto demonstram poder energético suficiente para suprir a demanda de energia de residências.

A tabela 24 apresenta os valores referentes ao potencial de energia produzida por região no Brasil.

Tabela 24 - Potencial de energia produzida por região brasileira

Região	kWh
Sul	34.342,97
Sudeste	12.969,23
Nordeste	1.863,93
Norte	538,41
Centro-Oeste	8.108,53
Total	57.823,11

A Região Sul segue com a maior produção de energia 34.342,97 kWh, seguida da região Sudeste com 12.969,23 kWh, que por sua vez é também a que apresenta maior consumo residencial de energia.

Na região Norte, observou-se a menor produção de energia, 538,41 kWh, e possui também o menor consumo de energia residencial de todas as regiões brasileiras, em seguida o Nordeste apresentou menor produção de energia com 1.863,93 kWh, porém apresenta o segundo maior índice de consumo de energia no setor residencial, cerca de 20.940 GWh ou 20.940 bilhões kWh, perdendo apenas para a região Sudeste em consumo.

A soma de todas as regiões brasileiras geram 57.823,11 kWh, que convertidos gerariam aproximadamente 0,058 GWh, o que não seria suficiente para abastecer o setor residencial das regiões brasileiras, como por exemplo, a região Norte que possui o menor consumo de energia, cerca de 6.764 GWh, ou ainda um estado, como a Roraima que precisaria de 1.555 GWh, mas abasteceria o setor residencial de uma cidade de pequeno porte.

Autores como FISCHER e SCHRATTENHOLZER (2001) apresentaram um estudo sobre o uso de biogás como combustível alternativo, como uma fonte viável de produção de energia. BECK (2007) elaborou um estudo sobre a produção e uso agroindustrial do biogás suíno, enquanto energético, aplicando o uso de biodigestores na solução de problemas ambientais e na produção de energia.

SOUZA *et al.* (2004) elaboraram um estudo sobre o custo e viabilidade de produção de eletricidade gerada a partir do biogás numa propriedade rural, utilizando um motor de combustão interna acoplado a um gerador elétrico para conversão de biogás em eletricidade.

Marques (2012) desenvolveu uma pesquisa onde demonstra a viabilidade de se utilizar biogás na produção de energia através de fontes residuais agrícolas.

O que se percebe nas últimas décadas, é que o Brasil vem passando por grandes transformações na sua dinâmica populacional e na sua distribuição de espaço, isso é devido ao rápido processo de desenvolvimento urbano, e ao contínuo crescimento da população brasileira, entretanto num ritmo lento e que proporciona tempo para o envelhecimento desta população.

Esse crescimento populacional, juntamente com a melhoria das condições de vida e na economia, permitem um aumento no número de indústrias, empregos, exploração de matérias primas, número de residências, e aparelhos elétricos, que por sua vez aumentam o consumo energético. O país precisa de novas fontes e alternativas energéticas, pois a demanda desse bem tem aumentado inerentemente as melhorias nas condições de vida.

5 - CONCLUSÃO

O resultado da industrialização de carnes de aves caracteriza-se por elevado consumo de água e energia e que geram quantidades crescentes de resíduos orgânicos e subprodutos, os quais são utilizados como fonte de proteína para consumo animal. Entretanto devido às restrições legais e o grande emprego de recursos econômicos para tratamento desses resíduos atrelado a preocupação ambiental, as indústrias vem implementando o uso alternativo dos subprodutos, um exemplo disso é o emprego dos biodigestores que através da digestão anaeróbia produzem biogás.

Neste trabalho foram levadas em consideração as características dos efluentes provenientes de agroindústria abatedoura de frangos. Considerando que as variáveis como pH, temperatura e pressão, alcalinidade, $DBO_{5\ 20}$, DQO e ST, alcançaram os padrões necessários para obter um biogás de qualidade, através do uso de biodigestores modelo canadense, com o qual foram obtidos os dados, através do processo de monitoramento com medidor de fluxo, entre os meses de janeiro e junho de 2012.

A concentração média de H_2S após passar por filtro de limalha de ferro foi de 843.88 ppm, com uma remoção média de 458.38 ppm, mantendo o H_2S abaixo dos 1000 ppm indicados para operar em motores geradores.

A qualidade do biogás lhe conferiu um percentual de 73% de concentração em média de metano, o que corresponde a um poder calorífico de aproximadamente $7,6\text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$.

A média de produção de biogás entre os meses de janeiro a junho foi de $743,77\text{ m}^3$, com uma média de $2,78\text{ m}^3$ por animal abatido. O potencial de produção de biogás na indústria de abate de frangos brasileira apontou ser eficiente com um resultado de 39.335,44 mil m^3 e um valor de conversão em energia de 57.823,11 mil kWh por dia, com um abate de frangos no total de 14.149.449 milhões por dia.

O estado com maior potencial para gerar biogás e energia foi o Paraná. A região com maior possibilidade de produção de biogás foi a região sul, pois os maiores estados abatedores de frangos estão nesta localização, a região com a menor possibilidade de gerar biogás e energia é o Norte.

A capacidade destes abatedoures de frangos em produzir biogás e converter em energia contribui para o crescimento do uso da biomassa na matriz energética, que já é cerca de 6,8%. O interesse do setor industrial nesta obtenção de energia é a diminuição de gastos com eletricidade, controle e reaproveitamento de resíduos com o fim de atender a legislação entretanto a ausência de dados científicos e de incentivo governamental, dificuldades na obtenção de crédito, concorrência com outras alternativas ambientais mais economicamente viáveis dificultam o emprego da digestão anaeróbia nas indústrias.

Somente as indústrias de abate de frangos possuem uma capacidade para produzir 21.105,43 MWh por ano o que corresponde a 21GWh de energia proveniente do biogás, esse valor terá uma influência desprezível no aumento da produção de energia em nível nacional, porém os benefícios ambientais, sociais e de geração descentralizada são significativos, já que o País não possui a capacidade necessária para substituir a energia através do biogás, poderá ao menos desafogar o sistema elétrico brasileiro, que se encontra em crise.

6 - REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ANDERSON, F. A., *et al.*, **Occurrence and abatement of volatile sulfur compounds during biogas production.** Journal of the air & waste management association, v. 54, n. 7. July 2004.

ALVES, J. W. S. **Diagnóstico técnico institucional da recuperação e uso de biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos.** Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo, 2000.

AMARAL, R. G.; **Viabilidade econômica da implantação de um sistema de geração de energia elétrica a partir de biogás gerado em um abatedouro de aves.** 2011, 68 F. Monografia 9Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2011.

ANDRADE, G. S.; **Avaliação Experimental da Duração de Combustão para Diferentes Combustíveis, em Motor Padrão Ciclo Otto ASTM – CFR.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007, 132 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **BIOMASSA.** Atlas da Energia Elétrica no Brasil. Capítulo 4. 3ª Edição. Brasília, 2008. Disponível em http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas_par2_cap4.pdf. Acesso em 03 out de 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL – ABPA. **Relatório Anual: qualidade e sanidade.** 2012. Disponível em: <http://www.abpa.com.br> Acesso em: 23 de agosto 2013.

AVELLAR, L. H. N. *et al.*, **Geração de eletricidade com biogás de esgoto: Uma realidade.** Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento. São Paulo, v. 29, 2002.

AZEVEDO, M. H.; **Características, produção e utilização do biogás produzido a partir de resíduos orgânicos.** 2000. Tese (Mestrado Promec) Porto Alegre, 2000.

BALAT, M.; **Biomass Energy and Biochemical Conversion Processing for Fuels and Chemicals.** Energy Sources, Part. A, p. 517 – 525, 2006.

BARBOSA, L. M.; **Agroenergia, biodiversidade, segurança alimentar e direitos humanos.** Conjuntura Internacional, Belo Horizonte. Ano 4, n. 33, 2007.

BECK, A. M.; **O Biogás de suíno como alternativa energética sustentável.** XXVII Encontro Nacional de engenharia de Produção. Foz do Iguaçu. 2007.

BELLAVER, C.; OLIVEIRA, P. A.; **Balço da água nas cadeias de aves e suínos.** Avicultura Industrial, p.39 – 44, 2009.

BENICASA, M.; *et al.*, **Biodigestores Convencionais.** Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal, p. 1 – 15, 1990.

BISHOP, J. **Digester gas unpopular as Power fuel.** water environment & Technology, v. 16. N. 7, july 2004.

BIODIESELBR. **Matriz da Produção da Agroenergia.** Disponível em:<<http://www.biodieselbr.com/energia/agroenergia/matriz-producaoagro-energia.htm>> Acesso em: 9 maio 2013.

BITTON, G.; **Wastewater microbiology.** New York: Ed. Willey Liss, 2005.

BONFANTE, T. M.; **Análise da viabilidade econômica de projetos que visam à instalação de biodigestores para o tratamento de resíduos da suinocultura sob as ópticas do Mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) e da geração de energia.** 2010, 176 F. Dissertação (Mestrado em Administração de organizações) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, USP. Ribeirão Preto, 2010.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTE, J. E. W. A.; **Manual de tratamento de águas residuárias industriais.** São Paulo, CETESB, 1993. 764 p.

BRÁS, A. M.; MIRANDA, F.; HIPÓLITO, L.; DIAS, L. S.; **Biomassa e produção de energia.** 2008. Disponível em:<<http://www.portalipvc.pt/images/ipvc/esa/pdf/biomassa.pdf>> Acesso em: 08 set 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº357, de 17 de março de 2005.** Poder Legislativo. Brasília, 2005.

BUENO, L. G. F.; **Diagnóstico de uso de energia elétrica de um frigorífico de frangos de corte enfatizando medidas de eficiência energética.** 2008, 175 F. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.

CANEPA, D. L.; **Alternativas de constituição da cadeia produtiva do biodiesel na perspectiva dos centros de P&D.** 2004, 107 F. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

CASSNI, S. T.; *et al.*, Hidrólise e atividade anaeróbia em lodos. In: CASSINI, S. T. (Coord.) **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento de biogás.** Rio de Janeiro: ABES, 2003, 210 p.

CATERPILLAR. **Gas Generator sets.** Catálogos informativos. Disponível em: <www.cat.com> Acesso em: 28 jan. 2014.

CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA – CENBIO. **Atlas de Bioenergia do Brasil.** 2012. Disponível em: <<http://www.cenbio.iee.usp.br/download/atlasbiomassa2012.pdf>> Acesso em: 12 maio 2013.

CENTRO PARA CONVERSÃO DE ENERGIA – CEE. **Guia Técnico de Biogás** Amadora, Portugal. 2000.

CHEN, W. *et al.*, **Kinect study of biological hydrogen production by anaerobic fermentation.** International Journal of Hydrogen Energy, v. 31, p. 2170 – 2178, 2006.

CHERNICHARO, L. A. H.; **Reatores anaeróbios: princípios de tratamento biológico de águas Residuárias.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária Ambiental – DESA. Universidade Federal de Minas Gerais, 1997. 246 p.

CHIODO, V. *et al.*, **Analysis of biogas reforming process for molten carbonate fuel cells.** Journal of Power Sources. Messina, Itália. P. 215 – 221, 2012.

COELHO, S. T.; SILVA, O. C.; VARKULYA, A. J.; AVELLAR, L. H. N.; FERLING, F. F.; **Estado da arte do biogás. Relatório de acompanhamento.** 2001.

COLDEBELLA, A.; **Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para a geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais.** Dissertação. Unioeste, Cascavel, Paraná. 2006.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA ELÉTRICA – COPEL. Projeto Geração Distribuída: Relatório Parcial I. **Geração Distribuída de Energia elétrica a Biogás com Saneamento Ambiental.** Foz do Iguaçu: FINEP – ITAI, 2011.

COSTA, D. F.; **Geração de energia elétrica a partir de biogás de tratamento de esgoto.** 2006.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; AYARZA, J. A. C.; Biomassa no Brasil e no mundo. In: **Biomassa para energia.** Editora Unicamp. Campinas p. 15 – 29, 2008.

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

CUNHA, F. L. M.; **Digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos: um panorama tecnológico atual.** 2007, 107 F. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Instituto Tecnológico do Estado de São Paulo. São Paulo, 2007.

DALLAGO, R. G.; **Remoção Biológica de Nitrogênio de efluente Avícola Usando Reator em Batelada Sequencial.** 2009, 85 F. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2009.

DAMASCENO, G.; MESS, J. B. R.; ASSIS, T.; MACHADO, F.; **Influência de diferentes concentrações de nitrogênio amoniacal no processo de nitrificação e desnitrificação de efluente avícola.** XXXVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2 a 6 de Agosto, Juazeiro. 2009.

DEGANUTTI, R.; *et al.*, Biodigestores Rurais: Modelo Indiano, Chinês e Batelada. In: **Encontro de Energia no Meio Rural, 2002, Campinas. 2002.** Anais Eletrônicos. Disponível em: <http://www.proceedingscielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022002000100031&1ng=pt&nrm+abn>

DEMIRBAS, A.; **Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals.** Energy Conversion and Management, v. 42, p. 1357 – 1378, 2002.

DIAZ, G. O.; **Análise de Sistemas para o resfriamento de leite em fazendas leiteiras com o uso de biogás gerado em projetos de MDL.** 2006, 97 F. Dissertação (mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

DIEDRICH, C.; ROCHA, D. C. R.; LOPES, C. A.; **Produção de biogás a partir de produtos agroindustriais.** XVIII Seminário de iniciação científica e tecnológica da UTFPR, SICITE. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2012.

DRÄGER. **Detección de gases de Dräger.** 2014. Disponível em: <http://www.drager.com/sites/assets/PublishingImages/segmentes/CSA/Oil-and-Gas-Industry/DownloadCenter/Portable_Gas-Deteccion/Deteccion%20de%20gases-pdf> Acesso em: 23 junho de 2014.

EARTH POLICY INSTITUTE. **World on the Edge by the Numbers – Shining a Light on Energy Efficiency.** July 12, 2011. Disponível em: <<http://www.earth-policy.org/>> Acesso em: 21 maio 2013.

ER-BR ENERGIAS RENOVÁVEIS LTDA. **Grupos de motores geradores à biogás. características técnicas.** Disponível em: <www.erbr.com.br/produtos/tabelas_tecnicas_geral.pdf> Acesso em: 28 jan. 2014.

FARIAS, L. M.; SELLITTO, M. A.; **Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras.** Revista Liberato, Novo Hamburgo, V. 12, n. 17, p. 01 – 106, 2011.

FERNANDES, D. M.; **Biomassa e Biogás da Suinocultura.** 2012, 209 F. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

FIGUEIREDO, N. J. V.; **Utilização do Biogás de aterro sanitário para a geração de energia elétrica e iluminação a gás – Estudo de Caso.** 2007, 90 F. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo, 2007.

FISCHER, G. SCHRATTENHOLZER, L.; **Global bioenergy potentials through 2050**. International Institute for Applied Systems Analysis, Schlossplatz, Laxemburg, Austria. p. 151 – 159, 2001.

GASPAR, M. B. L.; **Utilização de Biodigestores em Pequenas e Médias Propriedades Rurais com Ênfase na Agregação de valor: Um Estudo de Caso na Região de Toledo – PR**. Dissertação (Mestrado em engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

GE-ENERGY. **Janbacher biogás engine**. Catálogos. Disponível em: <www.geenergy.com> Acesso em: 28 jan. 2014.

GHANDI, G.; **Tratamento e controle e efluentes industriais**. Apostila Técnica. Cuiabá, p. 5 – 46, 2005.

GUERRERO, L.; OMIL, F.; MÉNDEZ, R.; LEMA, J.; **Anaerobic hydrolysis and acidogeneses of wastewater from food industries with high content of organic solids and protein**. Waste Research. n.33, p. 3281 – 3290, 1999.

HACHISUCA, A. M. M. *et al.*, **Geração Distribuída: Biomassa Residual Utilizada como Fonte Alternativa de Energia em Unidades de Demonstração**. Foz do Iguaçu, 2010.

IANNICELLI, L. A.; **Reaproveitamento energético do biogás de uma indústria cervejeira**. 2008, 83 F. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade de Taubaté. São Paulo, 2008.

ICLEI – Brasil – Governos Locais pela Sustentabilidade. **Manual para o aproveitamento de biogás**. v.1. Aterros Sanitários. Secretária para América Latina e Caribe. Escritório de Projetos do Brasil, São Paulo, 2009. 80 p.

INOUE, K. R. A.; **Produção de Biogás, Caracterização e Aproveitamento Agrícola do Biofertilizante Obtido da Manipueira**. 2008, 76 F. Dissertação (Mestrado em engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

INTERGOVERNMENTAL PANEL CLIMATE CHANGE – IPCC. **Renewable energy sources and climate change mitigation**. Work Group III. Genebra, p. 01 – 242, 2011. Disponível em:<<http://www.ipcc.ch>> Acesso em: 23 jul 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Indicadores do IBGE, Estatística da Produção Pecuária. 1º Trimestre.** 2012a. Disponível em:<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producao_gropecuaria/abate-leite-couro-ovos_201101_pub_completa.pdf> Acesso em: 05 nov 2013.

_____. **Indicadores do IBGE, Estatística da Produção Pecuária. 2º Trimestre.** 2012b. Disponível em:<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producao_gropecuaria/abate-leite-couro-ovos_201202_pub_completa.pdf> Acesso em: 05 nov 2013.

_____. **Indicadores do IBGE, Estatística da Produção Pecuária. 3º Trimestre.** 2012c. Disponível em:<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producao_gropecuaria/abate-leite-couro-ovos_201202_pub_completa.pdf> Acesso em: 05 nov 2013.

_____. **Indicadores do IBGE, Estatística da Produção Pecuária. 4º Trimestre.** 2012d. Disponível em:<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producao_gropecuaria/abate-leite-couro-ovos_201104_pub_completa.pdf> Acesso em: 05 nov 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Indicadores do IBGE, Estatística da Produção Pecuária. 1º Trimestre.** 2013a Disponível em:<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producao_gropecuaria/abate-leite-couro-ovos_201302_pub_completa.pdf> Acesso em: 05 nov 2013.

_____. **Indicadores do IBGE, Estatística da Produção Pecuária. 2º Trimestre.** 2013b. Disponível em:<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producao_gropecuaria/abate-leite-couro-ovos_201302_pub_completa.pdf> Acesso em: 05 nov 2013.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA DO PARANÁ – TECPAR. **Manual de Biossistemas Integrados na Suinocultura.** Rede Paranaense de Projetos em Desenvolvimento Sustentável. Curitiba, 2002. 140 p.

JANDREY, D. B. *et al.*, **Agroenergia e Agricultura**. Revista de Ciência Veterinárias. Lages, v.9, n.1, 2010, p. 82 – 89.

JARDINE, J. G. *et al.*, **Transferência e disponibilização de informação sobre tecnologia em agroenergia: Árvore do conhecimento agroenergia**. Cadernos ciência e Tecnologia, Brasília. V.28, n.1, p. 327 – 340, 2011.

JOSÉ JUNIOR, H.; **Combustão e Combustíveis**. Apostila de química Tecnológica Geral. Universidade de Santa Catarina, Florianópolis. 2004.

JUNIOR, A. B. C.; **Simulação do comportamento de um resíduo modelo em aterro sanitário e estudo da evolução bio-física-química**. 2000.

JUNIOR, C. B.; LIBÂNIO, C. C.; GALINKINM, M.; OLIVEIRA, M. M.; **Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais**. 2 ed. Editora Technopolitik. Foz do Iguaçu, 2009, 140 p.

JUNIOR, J. L.; **Algumas considerações sobre o uso do estrume de suíno como substrato para três sistemas de biodigestores anaeróbios**. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Universidade Estadual Paulista: UNESP. Jaboticabal, 1994.

KIM, M.; AHN, Y.; SPEECE, R.; **Comparative process stability and efficiency of anaerobic digestion: mesophilic vs thermophilic**. Water Research, n.36. p. 4369 – 4385, 2002.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A.; **Aproveitamento de dejetos de animais para a geração de Biogás**. Revista de Política Agrícola, Ano XV, n. 3, Brasília, 2006.

LEÃO ENERGIA INDÚSTRIA DE GERADORES LTDA. **Catalogo de motores geradores**. Unidade Industrial de Aves LAR. 2013.

LEITE, L. F. C.; *et al.*, **Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação manual orgânica**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, n. 27. p. 821 – 832, 2003.

LINDERMEYER, R. M.; **Análise da viabilidade econômica financeira do uso do biogás como fonte de energia elétrica.** 2008, 105 F. Relatório de estágio (Graduação em Administração) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

LINS, E.; *et al.*, **Avaliação da insalubridade causada pelo biogás de um aterro de resíduos urbanos.** 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

LUCAS JUNIOR, J. SOUZA, C. de F.; **Construção e operação de biodigestores.** Viçosa – MG, CTP, 2009.

LV, P.; WU, C.; MA, L.; YUAN, Z.; **A study on the economic efficiency of hydrogen production from biomass residues in China.** Renewable Energy, v. 22, p. 1874 – 1879, 2008.

MAGNETROL. **Linha de produtos 2014.**
<http://www.magnetrol.com.br/public/downloads/BZ41-114.10%20Linha%20de%20Produtos.pdf>> Acesso em: 23 junho de 2014.

MANFROI, S. A.; **A Logística de Transporte e as Cadeias Agropecuárias Avícola e Suinícola, Impacto Social e econômico no desenvolvimento local do município de Toledo – PR.** Santa Maria, 2008.

MARQUES, C. A.; **Microgeração de energia elétrica em uma propriedade rural utilizando biogás como fonte primária de energia elétrica.** 2012, 89 F. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

MARTINI, P. R. R.; **Conversão Pirolítica do Bagaço Residual da Indústria de Suco de Laranja e Caracterização Química dos Produtos.** Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Estadual de Santa Maria, 2009.

MAUGERI, I.; **Oil: The next Revolution.** Harvard Kennedy School. Belfer Center for science and International Affairs. Cambridge, June, 2012.

MCKENDRY, P. **Energy production from biomass: overview of biomass, bioresource Technology,** v. 83, p. 37- 46, 2002.

MEES, J. B. R.; **Apostila de tratamento de águas residuária**. Curso de Tecnologia Ambiental. Universidade Federal Tecnológica do Paraná. Medianeira, 2006.

MENDES, C. S. C.; **Acidificação do condensado de uma indústria de pasta de papel**. 2009, 84 F. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade de Aveiro. Portugal, 2009.

MERCADO, A. G.; **Remoção de sulfeto de hidrogênio de biogás em instalação piloto com óxido de ferro**. 2010, 150 F. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade de Taubaté. São Paulo, 2010.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUARIA E ABASTECIMENTO. **Plano Nacional da Agroenergia 2006 – 2011**. 2 ed. Brasília, 2006.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Atlas da Energia Elétrica no Brasil**. Rio de Janeiro. 2008 . Disponível em:<<http://www.ben.epe.gov>> Acesso em: 27 de jul 2013

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balço Energético Nacional 2013: Relatório Final**. Rio de Janeiro. Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2013. Disponível em:<<http://www.ben.epe.gov>> Acesso em: 27 de jul 2013.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de Energia 2030**. Empresa de Pesquisa energética – EPE, Rio de Janeiro. Disponível em:<<http://www.epe.gov.br/PNE/Forms/Empreendimentos.aspx>> Acesso em: 20 maio 2013.

MORAES, L. M.; **Avaliação da biodegradabilidade anaeróbia de esgoto provenientes de reatores anaeróbios sequenciais**. 2005, 183 F. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2005.

MUELLER, G. P. **Landfill gas application development of the Cartepillar G3600 spark – ignited gas engine**. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. Transaction of the ASME. v.117, p.820 – 825, 1995.

NAGL, G.; **Controlling H₂S emissions**. Chemical Engineering, March, p. 125, 1997.

NARDI, I. R.; *et al.*, **Análise de séries temporais de tratamento de água residual de abatedouro de frangos**. Engenharia Sanitária e Ambiental. v.10, n.4, p. 339 – 446, 2005.

NISHIMURA, R.; **Análise de Balanço Energético de Sistema de Produção de Biogás em Granja de suínos: Implementação de Aplicativo Computacional**. 2009, 97 F. dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade federal do Mato Grosso do Sul. Campo Grande, 2009.

NISHIMURA, R.; *et al.*, Balanço energético em suinocultura com geração de energia elétrica a partir do biogás. In: **VIII Conferência Internacional de Aplicações Industriais – VIII INDUSCON**. Poços de Caldas, 2008.

NOGUEIRA, L. A. H.; **Biodigestão alternativa energética**. São Paulo: Ed. Nobel, p. 1 – 93, 1986.

OBERT, E. F. **Motores de combustão interna**. Porto Alegre. Editora Globo, 1971.

OLIVEIRA, J. D. P.; **Motores de combustão interna**. Piracicaba: 1997.

OLIVEIRA, P. A. U.; *et al.*, **Uso dos resíduos de sistemas de crescimento e terminação de suínos para a produção de biogás**. Congresso Brasileiro de Veterinários Especialistas em Suínos. Fortaleza, 2005, p. 512 – 513.

OKAMURA, L. A.; **Avaliação e melhoria do poder calorífico de biogás proveniente de resíduos sólidos urbanos**. 2013, 110 F. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

PAICENTE, J. F.; **Agroindústria canavieira e o sistema de gestão ambiental: O caso das usinas localizadas nas Bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá**. Campinas, 2005.

PECORA, V.; **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP**. 2006, 152 F. Dissertação (Mestrado em Energia) – Instituto de eletrotécnica e Energia (IEE), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PEREZ, M. G. *et al.*, **Vacuum Pyrolysis of Sugarcane and Applied Pyrolysis**. V. 65, p. 111 – 136, 2002.

PÉREZ, J. *et al.*, **Biodegradation and biological treatments of cellulose, chemicellulose and lignin: an overview**. International Microbiology, 53 – 63, 2002.

PERSSON, M. JONSSON, O.; WELLINGER, A.; **Biogas upgrading to vehicle fuel standards and grid injection**. IEA, Bioenergy – Energy from biogas and landfill gas. 2006.

PIEROTTI, S. M.; **Avaliação da partida de reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB), em escala real, sob condições hidráulicas desfavoráveis**. 2007, 141 F. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Paulo. São Paulo, 2007.

PRATI, L.; **Geração de energia elétrica a partir do biogás de biodigestores**. 2010, 83F. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

RAJESHWARI, K. *et al.*, **State of the art of anaerobic digestion technology for industrial wastewater treatment**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, n.4, 2000, p. 135 – 156.

RAMALHO, R. S.; **Introduction to Wastewater Treatment Processes**. 2 Ed. New York: Academy Press, 1983.

ROSIE, C. C.; GAVRILESCU, M.; MACOVEANu, M.; **Biomass na important Renewable Source of Energy in Romania**. Environmental Engineering and Management Journal. V. 7, n.5, p. 559 – 568, 2008.

ROSS, C. C.; DRAKE, T. J.; **The handbook of biogas utilization**. Departamento of Energy Southeastern Regional Biomass Energy. Program Tennessee Valley Authority, Muscle Shoals, Alabama, 2 ed., 1996.

ROSSI, D. O.; TSUKAMOTO, Y. R.; **Agroindústria Avícola no Território Apucaranaense – PR**. Anais XVI Encontro Nacional de Geógrafos. Porto Alegre, 2010.

SANTOS, A. G. D.; **Avaliação da Estabilidade Térmica e Oxidativa da Biodiesel de algodão, Girassol, Dendê e Sebo Bovino.** Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do rio Grande do Norte. Natal, 2010.

SANTOS, P.; **Guia Técnico de biogás.** Portugal: Centro para construção de Energia, 2000.

SCHOENHALS, M. *et al.*, **Avaliação da eficiência do Processo de Coagulação, Flotação, Aplicado como Tratamento Primário de Efluentes de Abatedouro de Frangos.** Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal. v.3, p. 05 – 24, 2006.

SGANZERLA, E.; **Biodigestor: uma solução.** Porto Alegre, 1983.

SILVA, C. R. A.; GARRAFA, M. T. F.; NAVARENHO, P. L.; GADO, R.; YOSHIMA, S.; **A biomassa como alternativa energética para o Brasil.** Revista Brasileira de Ciências Ambientais. N. 2, p. 25 -36, 2005.

SPEECE, R. E.; **Anaerobic Biotechnology for Industrial WasteWaters.** VAnderson University. Tennessee, 1996.

STAISS, C.; PEREIRA, H. **Biomassa: Energia Renovável na Agricultura e no Setor Florestal.** Instituto Superior de Agronomia. Centro de Estudos Florestais. AGROS, 2011.

SORDI, A.; SOUZA. S. N. M.; OLIVEIRA, F. H.; **Biomassa gerada a partir da produção avícola na região Oeste do Paraná: uma fonte de energia.** Acta Scientiarum Technology. Maringa, v. 27, p. 183 – 190, July/Dec, 2005.

SOUZA, S. N. M.; PEREIRA, W. C.; PAVAN, A. A.; SORDI, A.; **Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura.** Acta Scientiarum Technology. V. 26, n. 2, p. 127 – 133, 2004.

TESSARO, A. A.; **Potencial energético da cama de aviário produzida na região Sudoeste do Paraná utilizada como substrato para a produção de biogás.** Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento da Tecnologia) – Instituto para o Desenvolvimento – LACTEC, Curitiba, 2011.

UEHARA, M. Y.; **Operação e manutenção de lagoas anaeróbias e facultativas**. São Paulo: CETESB, 1989. 91 p.

VICHI, F. M.; MANSOR, M. T. C.; **Energia, meio ambiente e economia: O Brasil no contexto mundial**. Química Nova, V. 32, p. 757 – 767, 2009.

VILAS BOAS, E. V. B. **Manejo de Resíduos da agroindústria**. 1 ed. Lavras: UFLA/FAEPE, 110 p. 2001.

VITOR, T. R.; **Biomassa Residual como Fonte alternativa de Energia Elétrica**. 2010, 41 F. Relatório de Estágio Supervisionado (Graduação em Engenharia Ambiental) – Faculdade União das Américas. Foz do Iguaçu, 2010.

VÒLIA, M.; TRICHES, D.; **A cadeia da carne de frango: uma análise de mercados brasileiros e mundial de 2002 a 2010**. Instituto de pesquisa de Ciências Sociais. Caxias do Sul, 2013.

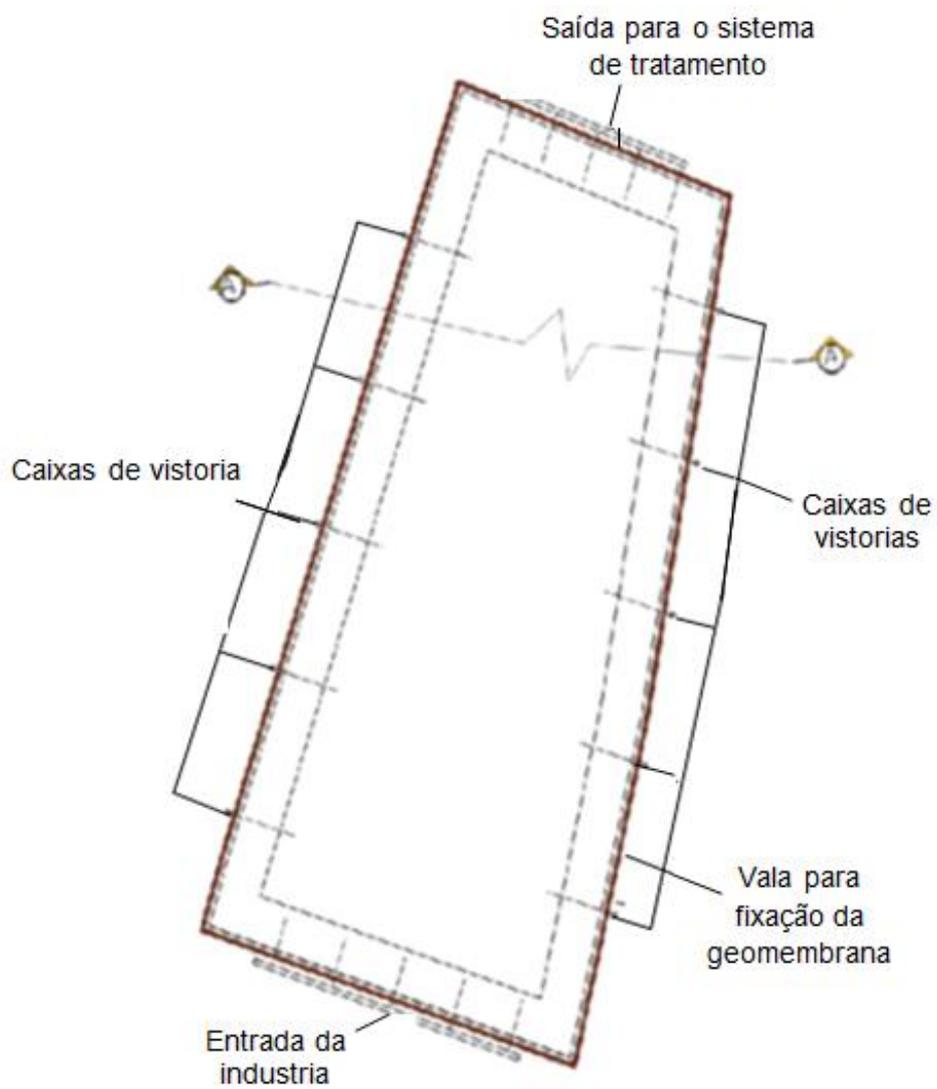
VON SPERLING, M.; **Introdução a Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgoto**. 3 ed. V.1. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 452 p.

YOUGFU, Y.; YIBO, Q.; HUI, Z.; **Biogas Plants in animal husbandry**. Alemanha: Vieweg & Sonh, 1989.

ZANATTA, E.R.; **Estudo Cinético da Pirólise das Biomassas: Bagaço de Mandioca, Casca de Soja e Bagaço de Cana**. 2012, 132 F. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2012.

ZICARI, S. M.; **Removal of hydrogen sulfide from biogas using**. Cowmanure Compost, Faculty of the Graduate School of Comele University, 2003.

ANEXOS

Anexo I – Planta Baixa do Biodigestor 01 da indústria de abate de frangos

ANEXO II - Planta baixa do biodigestor 02 da indústria de abate de frangos