

**GERAÇÃO ELÉTRICA DISTRIBUÍDA A PARTIR DA
GASEIFICAÇÃO DE PELETES DE CAMA DE
AVIÁRIO.**

GUILHERME NEITZKE

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS MECÂNICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**GERAÇÃO ELÉTRICA DISTRIBUÍDA A PARTIR DA
GASEIFICAÇÃO DE PELETES DE CAMA DE AVIÁRIO.**

GUILHERME NEITZKE

ORIENTADOR: PROF. DR. CARLOS ALBERTO GURGEL VERAS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS MECÂNICAS

BRASÍLIA/DF: JANEIRO - 2010

PUBLICAÇÃO: ENM.DM-146 A/2010

BRASÍLIA/DF: JANEIRO - 2010

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**GERAÇÃO ELÉTRICA DISTRIBUÍDA A PARTIR DA
GASEIFICAÇÃO DE PELETES DE CAMA DE AVIÁRIO.**

GUILHERME NEITZKE

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA
DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA.**

APROVADA POR:

**Prof. Dr. Carlos Alberto Gurgel Veras (ENM - UnB)
(Orientador)**

**Prof. Dr. Armando de Azevedo Caldeira Pires (ENM - UnB)
(Examinador Interno)**

**Prof. Dr. Ailton Teixeira do Vale (EFL - UnB)
(Examinador Externo)**

BRASÍLIA/DF, 29 DE JANEIRO DE 2009

FICHA CATALOGRÁFICA

NEITZKE, GUILHERME

Geração Elétrica Distribuída a Partir da Gaseificação de Peletes de Cama de Aviário [Distrito Federal] 2010.

xv, 80p., 210 x 297 mm (ENMC/FT/UnB, Mestre, Ciências Mecânicas, 2010).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Avicultura

2. Cama de Aviário

3. Peletização de Cama de Aviário

4. Gaseificação de Cama de Aviário

I. ENM/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

NEITZKE, GUILHERME. (2010). Geração Elétrica Distribuída a Partir da Gaseificação de Peletes de Cama de Aviário. Dissertação de Mestrado em Ciências Mecânicas, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 80p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Guilherme Neitzke.

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Geração Elétrica Distribuída a Partir da Gaseificação de Peletes de Cama de Aviário.

GRAU: Mestre

ANO: 2010

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Engº Guilherme Neitzke
guilhermeneitzke@yahoo.com.br

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meus pais Kuno Neitzke e Irani Neitzke

Agradeço a minha irmã Erica Neitzke da Cruz pela sua preocupação, por sempre ter confiado em mim e sempre me mostrar o caminho correto.

Agradeço ao meu irmão Cesár Neitzke pelas conversas que ajudaram no desenvolvimento do trabalho.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Carlos Alberto Gurgel Veras pela confiança depositada e pela oportunidade de mostrar meu trabalho.

Agradeço a minha namorada Laura Revay pela paciência, ajuda e carinho demonstrado nessa jornada.

Agradeço ao meu sobrinho João Arthur Raizel da Cruz pelo companheirismo.

Agradeço ao Prof. Dr. Armando Caldeira Pires, Prof. Dr. Aílton Teixeira do Vale, Prof^ª Dr^ª. Janaína Diniz, Prof^ª. Dr^ª Yovanka Perez, Prof. Dr. Mário Olavo, Prof^ª. Dr^ª Pilar Hidalgo e demais pela ajuda e sugestões no bom andamento no trabalho.

Agradeço a todos os técnicos da ENM e aos amigos do Laboratório de Energia e Ambiente da UnB pelo incentivo e ajuda.

Agradeço a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para o bom andamento do trabalho e a concretização de mais uma etapa na minha vida.

A todos, meus mais profundos e sinceros agradecimentos.

Guilherme Neitzke

“Destino não é uma questão de sorte, é uma questão de escolha; não é algo que se espera é algo que se busca”

“Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá.”

Ayrton Senna

RESUMO

GERAÇÃO ELÉTRICA DISTRIBUÍDA A PARTIR DA GASEIFICAÇÃO DE PELETES DE CAMA DE AVIÁRIO

Autor: Guilherme Neitzke

Orientador: Carlos Alberto Gurgel Veras

Programa de Pós-Graduação em Ciências Mecânicas

Brasília, Janeiro de 2010

Este trabalho tem por objetivo a gaseificação de peletes de cama de aviário. Com a crescente preocupação com o meio ambiente, principalmente com o aquecimento global, a escassez de energia e o seu custo futuro, o uso de fontes renováveis para a geração de energia elétrica ganhou destaque no cenário mundial. O principal rejeito da atividade avícola é a cama de aviário e a busca por alternativas de uso, manejo e destino são necessários para o desenvolvimento sustentável do setor. Análises químicas da cama de aviário e das cinzas provenientes da gaseificação foram realizadas viabilizando o uso. Neste estudo, a qualidade energética do gás foi estimada por meio de um conjunto moto-gerador e um sistema de dissipação de energia. O nível de substituição do óleo Diesel foi da ordem de 36,22%. Para o uso na gaseificação, a peletização do material foi necessária com vantagens no transporte e estocagem do combustível, e um melhor controle da combustão além de aumentar a sua densidade energética. Análises químicas das cinzas foram realizadas detectando altos teores de Fósforo (P) e Potássio (K). Uma análise do Custo/Benefício do kilowatt indicou que para uma potência de 39 kW o preço do kilowatt gerado por essa tecnologia tem o mesmo valor do preço cobrado pela concessionária. A gaseificação da cama de aviário surge como uma alternativa de uso do material considerando aspectos sanitários, econômicos e ambientais agregando valor ao produto final.

ABSTRACT

DISTRIBUTED POWER GENERATION FROM GASIFICATION POULTRY LITTER PELLETS

Author: Guilherme Neitzke

Supervisor: Carlos Alberto Gurgel Veras

Programa de Pós-Graduação em Ciências Mecânicas

Brasília, Janeiro de 2010

This paper aims the gasification of pellets of poultry litter. With the growing concern for the environment, specially global warming, energy shortages and its future cost, the use of renewable sources as electricity generation rose to prominence in the worldwide scenery. The main waste from the poultry activity is the poultry litter and the search for alternatives of usage, handle and destination are needed for the sustainable development of the sector. Chemical analysis of poultry litter and of the ashes from the gasification were carried out with the objective of the feasibility of using the material. In this study, the energetic quality of the gas was estimated through a motor-generator set and a system of energy dissipation. The level of replacement of diesel was 36,22%. For the use in gasification, the pellet of the material was necessary with advantages in transportation and storage of fuel, and a better control of combustion besides increasing its energy density. Chemical analyses of the ashes were made by detecting high levels of phosphorus (p) and potassium (k). An analysis of cost/benefit of kilowatt indicated that, to a power of 39 kw the price of the generated by this technology has the same value of the price charged by the dealer. The gasification of the poultry litter appears as an alternative of the use of the materials considering sanitary, economical and environmental aspects, adding value to the final product.

SÚMARIO

1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DA BIOMASSA	3
1.2 - VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DAS ENERGIAS RENOVAVÉIS	4
1.2.1 - Vantagens Sociais.....	6
1.2.2 - Vantagens Ambientais	6
1.2.3 - Vantagens Estratégicas	7
1.3 - OBJETIVOS E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	8
2 - FUNDAMENTAÇÃO CIENTÍFICO / TECNOLÓGICA.....	9
2.1 BIOMASSA E ENERGIA.....	9
2.2 CAMA DE AVIÁRIO	12
2.2.1 - Reutilização da Cama de Aviário	18
2.2.2 - Uso de Cama de Aviário para Geração de Energia Elétrica.....	22
2.3 GASEIFICAÇÃO DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS	24
2.3.1 Gaseificadores de Leito Fixo	31
2.3.2 Gaseificadores de Leito Fluidizado	32
3 - METODOLOGIA.....	34
3.1 - COLETA E PREPARO DA CAMA DE AVIÁRIO	34
3.2 - CARACTERIZAÇÃO DA CAMA DE AVIÁRIO <i>IN NATURA</i>	34
3.2.1 - ANÁLISE ELEMENTAR.....	34
3.2.2 - ANÁLISE IMEDIATA	35
3.2.3 - PODER CALORIFICO	37
3.2.4 - ANÁLISE MICROBIOLÓGICA.....	39
3.2.5 - ESPECTROFOTOMETRIA	39
3.2.6 - DIFRATOMETRIA DE raios - X (DRX).....	40
3.2.7 - ESPECTROMETRIA DE FLUORESCÊNCIA DE raios - X (EDX).....	40
3.2.8 - MICROSCÓPIA ELETRÔNICA DE VARRIMENTO (MEV).....	40
3.2.9 - ANÁLISES TÉRMICAS (TG, DTG E DTA).....	41
3.3 - PELETIZAÇÃO DA CAMA DE AVIÁRIO	42
3.4 - SISTEMA DE GASEIFICAÇÃO E MOTOGERADOR.....	48
3.5 - ANÁLISES DAS CINZAS	52

3.6 - ANÁLISE ECONÔMICA.....	53
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
4.1 - CARACTERIZAÇÃO DA CAMA DE AVIÁRIO E CINZAS.....	55
4.2 - GASEIFICAÇÃO DA CAMA DE AVIÁRIO.....	65
4.3 - ANÁLISE ECONÔMICA.....	67
5 - CONCLUSÃO.....	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Oferta interna de energia elétrica. Fonte: MME 2008.....	9
Tabela 2.2 - Principais resíduos agrícolas no Brasil. Poder Calorífico estimado com o teor de umidade a 10%. Fonte: Gauthier (1986).	28
Tabela 3.1 - Densidade e poder calorífico de resíduos e dos briquetes correspondentes. Fonte : IBAMA.....	42
Tabela 4.1 - Análise elementar da cama de aviário <i>in natura</i>	55
Tabela 4.2 - Análise EDX de laboratório da cama de aviário <i>in natura</i>	56
Tabela 4.3 - Análise EDX de laboratório das cinzas da cama de aviário.....	57
Tabela 4.4 - Análise CHN de laboratório das cinzas da cama de aviário.....	57
Tabela 4.5 - Análise imediata de laboratório da cama de aviário <i>in natura</i>	58
Tabela 4.6 - Poder calorífico superior da cama de aviário	60
Tabela 4.7 - Densidade da cama de aviário <i>in natura</i> e peletizada	65
Tabela 4.8 - Consumo de Diesel e da cama de aviário peletizada no processo de gaseificação	66
Tabela 4.9 - Valor do kW para uma potência instalada de 39 kW.....	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Fontes de biomassa. Fonte: Ministério de Minas e Energia, 1982.	2
Figura 2.1 - Consumo de energia elétrica por setor no Brasil em 2007. Fonte : BEN... 10	10
Figura 2.2 - Matriz de oferta de energia elétrica no Brasil em 2007. Fonte: MME, 2008.	11
Figura 2.3 - Tempo necessário (em meses) para a produção de 1 milhão de toneladas. Fonte: APINCO. Elaboração: Avisite.	13
Figura 2.4 - Previsão da distribuição de carne de frango em 2010. Fonte : USDA 15	15
Figura 2.5 - Ciclo de produção de energia a partir da cama de frango..... 22	22
Figura 2.6 - Esquema de um gaseificador tipo updraft. Fonte : Rodrigues, 2008..... 31	31
Figura 2.7 - Esquema de um gaseificador tipo downdraft. Rodrigues, 2008 32	32
Figura 2.8 - Esquema de um gaseificador de leito fluidizado. Rodrigues, 2008..... 33	33
Figura 3.1 - Cama de aviário <i>in natura</i> . Fonte : Autor..... 34	34
Figura 3.2 – Comparação entre as curvas de TG (a) e DTG (b)..... 42	42
Figura 3.3 - Máquina peletizadora. Fonte : Greenpeças..... 44	44
Figura 3.4 - Cama de aviário peletizada. 46	46
Figura 3.5 - Sistema de gaseificação (Lea – UnB)..... 49	49
Figura 3.6 – Detalhamento ilustrativo da bancada de ensaio (Lea – UnB). Fonte : Veras <i>et al.</i> 52	52
Figura 3.7 - Cinzas resultantes da gaseificação. 52	52
Figura 4.1 - Curvas de TG (verde), DTG (azul) e DTA (marrom) para a cama aviária <i>in natura</i> 59	59
Figura 4.2 - Curvas de TG (verde), DTG (azul) e DTA (marrom) para as cinzas resultantes da gaseificação da cama aviária. 60	60
Figura 4.3 - Espectro (FTIR) da cama de aviário. 61	61
Figura 4.4 - Difratometria de raios-X. 62	62
Figura 4.5 - Difratometria de raios-X das cinzas resultantes da gaseificação da cama de aviário. 63	63
Figura 4.6 - Cama de aviário com magnitude de 50 vezes..... 64	64
Figura 4.7 - Cama de aviário com magnitude de 1000 vezes..... 64	64
Figura 4.8 - Cama de aviário <i>in natura</i> e peletizada. 65	65
Figura 4.9 - Consumo (l/h) versus Potência (kW)..... 66	66

LISTA DE SÍMBOLOS

% - Porcentagem;
TWh – Terawatts-hora;
kg - Kilograma;
MJ – Megajoule;
MW – Megawatts;
CO₂ – Dióxido de Carbono;
U₃O₈ – Urânio;
Tep – Tonelada equivalente de petróleo;
MWe – Megawatts elétrico;
TJ – Toneladasjoule;
CH₄ – Metano;
kWe – Kilowatt elétrico;
kWth – Kilowatt térmico;
m³ - Metro Cúbico;
h – horas;
Nm³ - Newton Metro Cúbico;
mg – Miligramas;
CO – Monóxido de Carbono;
mm – Milímetros;
N – Nitrogênio;
P- Fósforo;
K- Potássio;
°C – Graus Celsius;
Na₂O – Óxido de Sódio;
K₂O – Óxido de Potássio;
C – Carbono;
H – Hidrogênio;
N – Nitrogênio;
O – Oxigênio;
S – Enxofre;
PCI – Poder Calorífico Inferior;
PCS – Poder Calorífico Superior;

DRX – Difractometria de raios-X;
EDX – Espectrometria de Fluorescência de raios – X;
MEV – Microscopia Eletrônica de Varrimento;
FTIR – Espectroscopia de Infravermelho;
TG – Termogravimetria;
DTG – Termogravimetria Derivada;
DTA- Análise Térmica Diferencial;
cv – Cavalos de Potência;
N₂ – Nitrogênio;
hp – horse power;
Hz – Hertz;
rpm – Rotações por minuto;
O₂ – Oxigênio;
HC- Hidrocarbonetos;
NO_x – Óxido Nitroso;
CaO – Óxido de Cálcio;
P₂O₅ – Pentóxido de Potássio;
SO₃ – Trióxido de enxofre;
MgO - Óxido de Magnésio;
Fe₂O₃ Trióxido de Ferro;
SiO₂ – Óxido de Silício;
Cl – Cloro;
CaCO₃ – Carbonato de Cálcio;
OH – Hidroxila;
C/B – Custo Benefício;

LISTA DE ACRÔNIMOS

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
ANEEL – Agência Brasileira de Energia Elétrica;
BEN – Balanço Energético Nacional;
MAPA – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento;
MME – Ministério de Minas e Energia;

MEB – Matriz Energética Brasileira;

PNUMA – Programa das Nações para o Meio Ambiente;

SECEX/MDIC – Secretaria de Comércio Exterior/ Ministério do Desenvolvimento da Indústria e Comércio;

USDA – Departamento de Agricultura dos Estados Unidos;

EUA – Estados Unidos da América;

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo;

FAO - Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação;

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;

ASTM – Sociedade Americana para Materiais e Testes;

NBR - Norma Brasileira;

IQ – Instituto de Química;

UnB – Universidade de Brasília;

USP – Universidade de São Paulo;

LCT – Laboratório de Caracterização Tecnológica;

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais;

LEA – Laboratório de Energia e Ambiente.

1 - INTRODUÇÃO

A energia é um dos principais constituintes da sociedade moderna e está em todos os setores da sociedade. A grande exploração da energia através de fontes não-renováveis causa danos irreversíveis ao meio ambiente e após as crises energéticas dos anos 1970 e a preocupação com o meio ambiente o estudo de fontes alternativas de energia ganhou um grande destaque.

O Brasil é um país com quase 184 milhões de habitantes, segundo estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2007) ocupando a quinta posição como nação mais populosa do mundo. Em 2008, aproximadamente 95% da população tinha acesso à rede elétrica. Segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2008), o país conta com mais de 61,5 milhões de unidades consumidoras em 99% dos municípios brasileiros e a grande maioria, cerca de 85%, é residencial.

Desde o início dos anos 1990, estudiosos e cientistas alertavam para os efeitos da deterioração ambiental provocada pela ação humana. Um deles é o aquecimento global que é provocado pelo elevado volume de emissões de gases causadores do efeito estufa e a outra é a possibilidade de esgotamento, no médio prazo, das reservas de recursos naturais mais utilizados, principalmente o carvão mineral e o petróleo.

O petróleo é caracterizado pela tendência a alta cotações (superou os US\$ 100,00 por barril em 2008), o que estimulou a procura por outras fontes de energia com o desafio de reduzir o impacto ambiental e suportar o crescimento econômico (ANEEL, 2008).

O nível de produção de resíduos tem aumentado principalmente pelo crescimento do setor industrial. Uma importante justificativa para o emprego de fontes energéticas renováveis é a possível utilização dos resíduos minimizando sua produção, bem como sua eliminação de forma mais adequada evitando danos ao meio ambiente. O uso de resíduos sólidos para a geração de energia elétrica resolve dois problemas simultaneamente, um de ordem ambiental e outro de natureza energética.

A biomassa é um recurso renovável proveniente de matéria orgânica (animal ou vegetal) que pode ser utilizada na produção de energia. O Brasil é privilegiado neste aspecto por possuir condições climáticas favoráveis na produção deste insumo. A biomassa pode ser obtida de vegetais não lenhosos, de vegetais lenhosos, resíduos orgânicos (agrícolas, urbanos e industriais) e dos biofluidos. A Figura 1.1 mostra um esquema das fontes de biomassa.

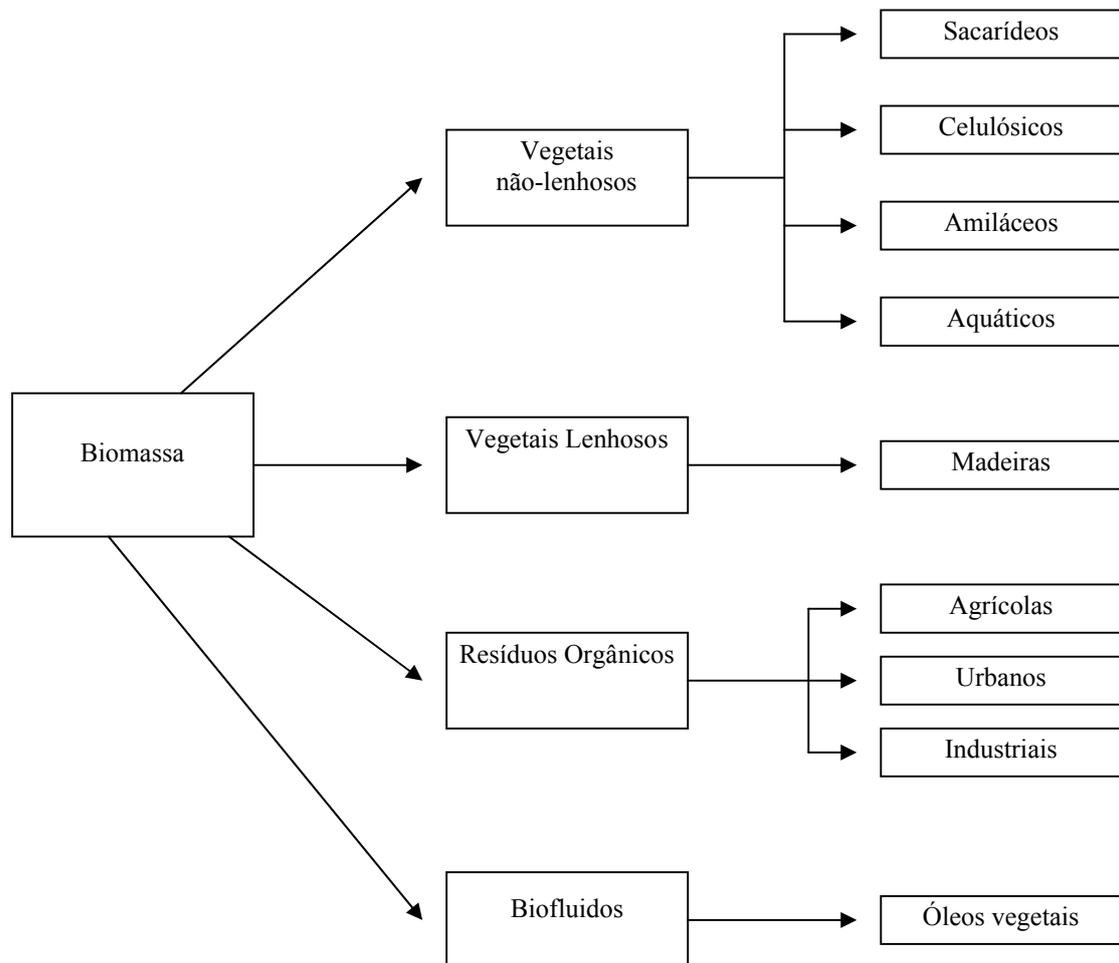


Figura 1.1 - Fontes de biomassa. Fonte: Ministério de Minas e Energia, 1982.

As opções existentes para a mudança dos impactos que a ação humana está provocando no meio ambiente incluem a melhoria da eficiência dos processos e a utilização das energias renováveis, sendo que a maior utilização das energias renováveis está cada vez mais em foco, principalmente pela grande defesa da comunidade científica, entidades ambientalistas, movimentos sociais e governos.

1.1 - GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DA BIOMASSA

Nas regiões menos desenvolvidas, a biomassa mais utilizada é a de origem florestal. Os processos para a obtenção de energia se caracterizam pela baixa eficiência ou necessidade de grande volume de matéria prima para produção de pequenas quantidades. Uma exceção a essa regra é o uso de biomassa florestal em processos de co-geração industrial.

A produção de energia elétrica e de biocombustíveis em larga escala está relacionada à biomassa agrícola e à utilização de tecnologias eficientes. A geração de resíduos agrícolas no Brasil é grande, em função da presença de uma agroindústria forte e de grandes plantações no país. A biomassa é obtida pelo processamento dos resíduos das culturas e das atividades agroindustriais.

Existem várias rotas tecnológicas para a obtenção da energia elétrica a partir da biomassa. Todas as rotas convertem a matéria-prima em um produto intermediário que será utilizado em uma máquina motriz que produzirá a energia mecânica e acionará o gerador de energia elétrica. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel, 2008) são três as principais rotas tecnológicas:

- **Ciclo a vapor com turbinas de contrapressão** - É empregada de forma integrada a processos produtivos por meio da co-geração. A biomassa é queimada diretamente em caldeiras e a energia térmica resultante é utilizada na produção do vapor. O vapor pode acionar as turbinas usadas no trabalho mecânico requerido nas unidades de produção e as turbinas para geração de energia elétrica. É o processo mais disseminado atualmente;
- **Ciclo a vapor com turbinas de condensação e extração** - Consiste na condensação total ou parcial do vapor ao final da realização do trabalho na turbina para atendimento das atividades mecânicas ou térmicas do processo produtivo. A energia pode ser condensada, quando inserida em um processo de co-geração, e retirada em um ponto intermediário de expansão do vapor que irá movimentar as turbinas;

- **Ciclo combinado integrado à gaseificação da biomassa** - A gaseificação é a conversão de qualquer combustível líquido ou sólido, como a biomassa, em gás energético por meio da oxidação parcial em temperatura elevada. O gás produzido pode ser utilizado em usinas térmicas movidas a gás para a produção de energia elétrica. A tecnologia de gaseificação aplicada em maior escala converte a biomassa em importante fonte primária de centrais de geração termelétricas de elevada potência.

A cama de aviário é um material polidisperso e sua compactação é necessária para a gaseificação, sendo a peletização uma das soluções para compactação. A peletização é um processo de densificação energética da biomassa que transforma resíduo em combustível sólido. Existem inúmeras vantagens na densificação, entre elas, a facilidade de transporte e armazenagem, ausência de poeira e uniformidade no material o que permite melhor controle da combustão.

Com a escassez de energia e o seu custo futuro, a gaseificação é uma alternativa para o uso do rejeito. A partir da geração de 1,3 kg de cama de aviário por ave, estimativas que indicam um poder calorífico de 13,5 MJ/kg (base seca) e assumindo-se um ciclo termodinâmico com 30% de eficiência, o montante de energia elétrica anual que poderia ser gerada é de 913 MW.

O valor encontrado corresponde a 6,52% da energia produzida por Itaipu que tem vinte unidades geradoras e 14.000 MW de potência instalada e 45,5% da energia produzida por Angra 1 e 2 juntas, de potência instalada de 2.007 MW.

1. 2 - VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DAS ENERGIAS RENOVAVÉIS

Após a Revolução Industrial, a partir do século XVIII, a utilização de energia e dos recursos naturais aumentou consideravelmente, pois a população rural deixou o campo para viver na cidade. O manejo inadequado de resíduos sólidos gera desperdícios, constitui ameaça constante a saúde pública e agrava a degradação ambiental podendo comprometer a qualidade de vida da população.

Estudos apontam que para os próximos 40 ou 50 anos irá ocorrer o esgotamento das fontes de energia fóssil com a necessidade de se buscar fontes alternativas. A instabilidade e a variação do preço do barril do petróleo têm incentivado várias nações a reduzir a dependência em relação à importação do produto.

A Dinamarca se apresenta como um país de avançada tecnologia ambiental e um exemplo de que crescimento econômico e emissões poluentes não precisam andar juntos. De 1990 a 2007, a atividade econômica cresceu mais de 45% neste país, enquanto as emissões de dióxido de carbono (CO₂) caíram em mais de 13%.

Segundo a vice-diretora geral da Agência da Energia dinamarquesa, Anne Hojer Simonsen, a Dinamarca foi configurando nos últimos anos um marco político propício para esta transformação, aproveitando seus recursos naturais, fundamentalmente energia eólica e de biomassa, incentivando os projetos energéticos limpos e taxando rigorosamente os poluentes (Ambientebrasil, 2009).

O Brasil encontra-se em situação privilegiada no que se refere a suas fontes primárias de oferta de energia. A maioria da energia consumida no país é proveniente de fontes renováveis de energia (hidroeletricidade, biomassa, carvão vegetal, dentre outras).

As energias renováveis muitas vezes são a única opção para o atendimento a comunidades em regiões isoladas. As linhas de transmissão de energia não podem ser instaladas por motivos técnicos e/ou econômicos e a geração de energia é feita com motogeradores movidos a óleo Diesel. Para manter o sistema em funcionamento, sem depender de ajuda de programas do governo, a comunidade precisa ter uma atividade produtiva vinculado à produção de energia.

O uso de energias renováveis é uma oportunidade de reduzir a dependência externa de petróleo, com uma diversificação da matriz energética, além de criar localmente uma atividade produtiva.

1.2.1 - Vantagens Sociais

Do ponto de vista social, a geração de empregos diretos e indiretos tem sido reconhecida como um dos principais benefícios da biomassa. Embora a maior parte da mão-de-obra exigida não seja qualificada, ela promove um ciclo virtuoso nas regiões da produção agrícola, caracterizado pelo aumento dos níveis de consumo e qualidade de vida, inclusão social, geração de novas atividades econômicas, fortalecimento da indústria local, promoção do desenvolvimento regional e redução do êxodo rural (ANEEL, 2008).

A redução dos níveis de emissão melhora a qualidade do ar, que está diretamente relacionada a problemas de saúde (não só respiratórios) e reduz, conseqüentemente, os gastos públicos no setor da saúde (Cifuentes *et al.*, 2001; Saldiva et al., 2005; Miraglia *et al.*, 2005).

Segundo Santos (2006) a substituição de 20% do Diesel consumido em localidades da região Amazônica por óleo de palma *in natura* em motores estacionários ou para a produção de Biodiesel geraria 1100 empregos diretos no processo agrícola, e, ainda, reduziria as emissões de dióxido de carbono.

Upham e Shackley (2007), desenvolveram um trabalho de opinião pública sobre o que é a gaseificação e as suas conseqüências em uma vila rural na Inglaterra. A proposta era a instalação de um gaseificador de ciclo combinado para a geração de 21,5 MWe e a população se mostrou contra. Os pesquisadores atribuíram o resultado negativo pela falta de informação e a fraca literatura existente

1.2.2 - Vantagens Ambientais

Cerca de 80% do consumo mundial de energia primária é baseado em combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás) e a queima destes combustíveis é a principal responsável pela emissão de dióxido de carbono (CO₂), um dos responsáveis pelo aquecimento global e as mudanças climáticas (Goldemberg, 2004).

O CO₂ é o mais importante gás de efeito estufa e o seu monitoramento é fundamental para contribuir na definição de indicadores de sustentabilidade que podem ser um importante passo para garantir a redução gradual das emissões mundiais. O primeiro passo seria a utilização de fontes de energia renováveis em contraposição as energias fósseis (Medeiros e Dezidera, 2006).

A utilização de fontes renováveis é uma das maneiras de reduzir a emissão de gases de efeito estufa, além de auxiliar na redução dos impactos ambientais locais, regionais e globais. A biomassa sustentável apresenta um balanço nulo de emissões, pois as emissões resultantes da queima do bagaço são absorvidas e fixadas pela planta durante o seu crescimento (Guardabassi, 2006).

1.2.3 - Vantagens Estratégicas

A percepção estratégica é extremamente importante no desenvolvimento de uma dada fonte alternativa. Em estágios iniciais de desenvolvimento, uma determinada rota tecnológica não se apresenta competitiva do ponto de vista econômico, mas isto não implica necessariamente que ela deva ser descartada. O importante é saber se estes custos iniciais são aceitáveis ou não (MME, 2005).

Existe uma forte relação entre energia e meio ambiente. Por um lado toda energia é obtida a partir de recursos naturais. Por outro, atividades de conversão, transporte e utilização de energia impactam ou oferecem riscos à qualidade do meio ambiente (Blum, 2006). O uso crescente de fontes renováveis para a produção de energéticos reduz a dependência de recursos esgotáveis.

Reduzir a dependência de combustíveis fósseis é uma medida estratégica importante para a garantia do suprimento de energia. Desta maneira não se fica tão vulnerável às oscilações dos preços do petróleo e às instabilidades políticas dos países produtores diversificando a matriz energética (Coelho, 2005).

1.3 - OBJETIVOS E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho tem por objetivo principal a análise experimental de geração de energia elétrica via gaseificação da cama de aviário peletizada em uma unidade de leito fixo com a tecnologia *drowndraft* estratificado associada ao desempenho em motor Diesel. Outros objetivos do trabalho é a caracterização química e energética da cama de aviário *in natura* e das cinzas e a peletização da cama de aviário. No Brasil, não foram encontrados trabalhos sobre gaseificação de cama de aviário o que garante ineditismo nessa pesquisa.

A introdução apresenta o objetivo e a motivação para a utilização da cama de aviário para geração de energia elétrica. A avicultura é apresentada, com uma descrição de como essa atividade está disseminada e como o Brasil virou destaque no cenário internacional.

A fundamentação científica/tecnológica apresenta a produção de energia elétrica com biomassa, as vantagens da utilização de fontes renováveis, a cama de aviário e seus desafios de utilização e reutilização, o sistema de gaseificação com ênfase no *downdraft* estratificado e as principais características da biomassa para fins energéticos.

A metodologia dos ensaios apresenta a coleta, o preparo e a caracterização da cama de aviário e das cinzas provenientes da gaseificação, o sistema de gaseificação usado para presente estudo e o processo de peletização, incluindo como essa tecnologia está difundida no Brasil e em alguns países do mundo e as vantagens do uso da cama de aviário como combustível peletizado.

É apresentado em resultados e discussão, a caracterização da cama de aviário *in natura* e das cinzas, a gaseificação e uma análise do Custo/Benefício do kilowatt gerado pelo processo de gaseificação.

Por fim, são apresentadas as conclusões do trabalho com sugestões e perspectivas de trabalhos que possam vir complementar este estudo.

2 - FUNDAMENTAÇÃO CIENTÍFICO / TECNOLÓGICA

2.1 BIOMASSA E ENERGIA

Energia, meio ambiente, desenvolvimento econômico e produção agroindustrial estão forte e intimamente conectados. O consumo global de energia aumentou 25% nas duas últimas décadas principalmente em países menos desenvolvidos. Com esse crescimento observou-se o declínio da qualidade do ar urbano e a séria e intensa degradação do solo e águas. O crescimento econômico sustentável juntamente com o incremento da qualidade de vida de todos os habitantes do planeta pode ser possível com o uso bem planejado e eficiente dos limitados recursos energéticos e o desenvolvimento de novas tecnologias de energia (Hinrichs & Kleinbach, 2003).

Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN), em 2007, a oferta interna de energia elétrica cresceu 5,5% conforme apresentado na tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Oferta interna de energia elétrica. Fonte: MME 2008

Especificação	mil tep		% 07/06
	2006	2007	
Não-renovável	124.464	129.102	3,7
Petróleo e derivados	85.545	89.239	4,3
Gás natural	21.716	22.199	2,2
Carvão mineral e derivados	13.537	14.356	6,1
Urânio (U ₃ O ₈) e derivados	3.667	3.309	-9,8
Renovável	101.880	109.656	7,6
Hidráulica e eletricidade	33.537	35.505	5,9
Lenha e carvão vegetal	28.589	28.628	0,1
Derivados da cana-de-açúcar	32.999	37.847	14,7
Outras renováveis	6.754	7.676	13,7
Total	226.344	238.758	5,5

O grande destaque foi o crescimento dos produtos da cana-de-açúcar onde a oferta cresceu 14,7% e passou a ser a segunda fonte de energia mais importante na Matriz Energética Brasileira (MEB) atrás somente do petróleo.

Ainda segundo o BEN, em relação ao consumo energético setorial (Figura 2.1), o consumo de energia elétrica por setor no ano de 2007 cresceu em todos os setores de atividade em relação ao ano de 2006.

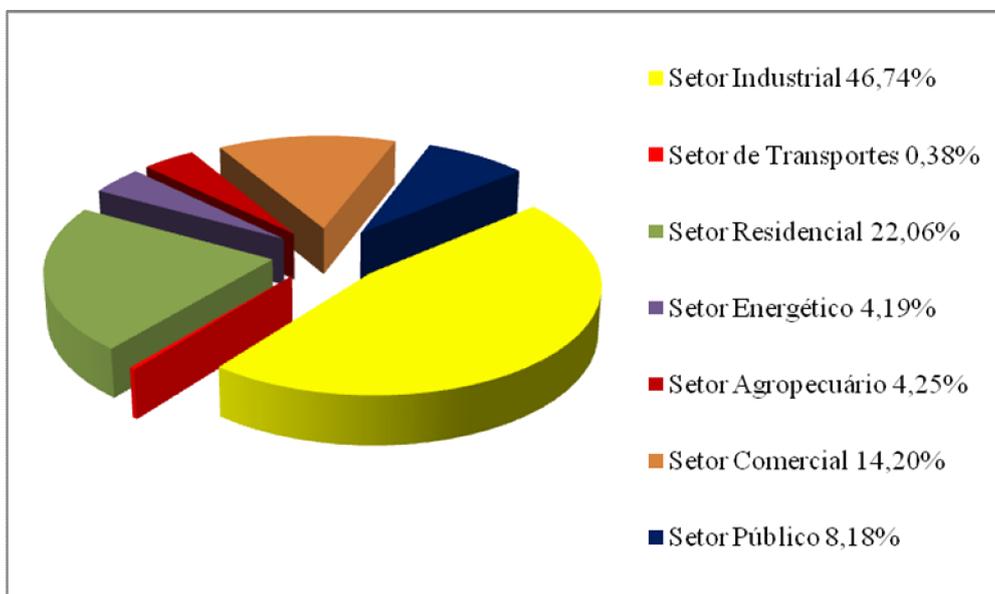


Figura 2.1 - Consumo de energia elétrica por setor no Brasil em 2007. Fonte : BEN.

O consumo de energia elétrica por setor no Brasil em 2007 cresceu em todos os setores em relação a 2006, principalmente no setor industrial, no setor residencial e no setor comercial. No Brasil a utilização da biomassa como fonte de energia elétrica tem sido crescente principalmente em sistemas de co-geração (onde se pode obter energia elétrica e energia térmica) dos setores, industrial e de serviços.

O setor energético agrega os centros de transformação e processos de extração e transporte interno de produtos energéticos, na sua forma final. O setor agropecuário junto com o setor industrial corresponde a 50,99% do consumo final. O maior uso de fontes energéticas renováveis pode estimular esses setores, principalmente o setor agropecuário, com um total aproveitamento dos rejeitos transformando o que pode ser um problema ambiental em energia.

Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2008 a biomassa foi responsável pela oferta de 18 TWh (terawatts-hora) em 2007 conforme apresentado na Figura 2.2.

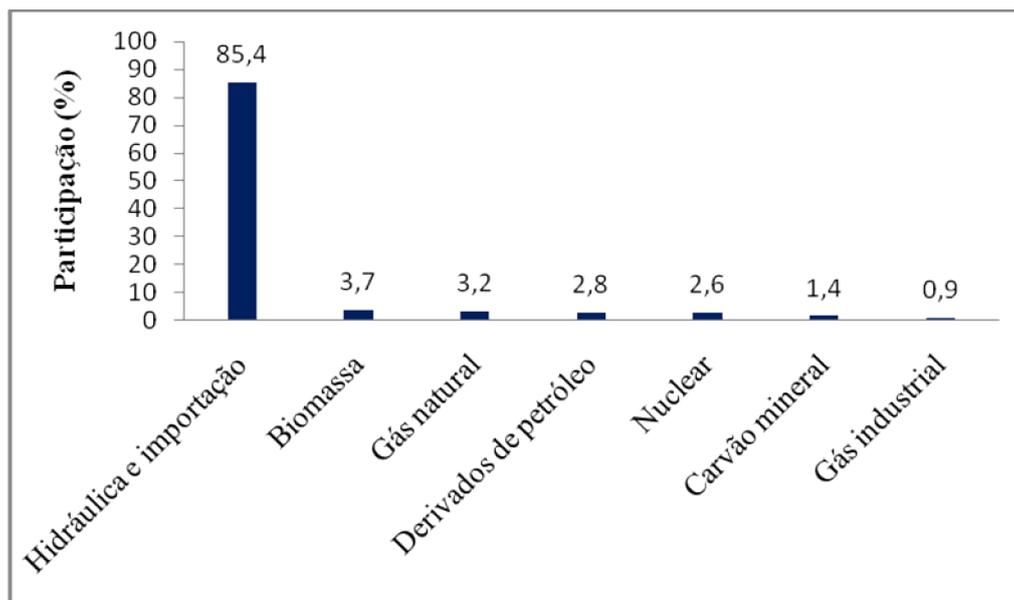


Figura 2.2 - Matriz de oferta de energia elétrica no Brasil em 2007. Fonte: MME, 2008.

A biomassa teve uma participação de 3,7% da oferta total de energia elétrica e corresponde à segunda posição na matriz da eletricidade nacional e só foi superada pela hidroeletricidade.

Em termos de participação das fontes de energia na oferta interna de energia, o biodiesel, o biogás e a energia eólica, que formam um grupo chamado “Outras Renováveis”, apresentam juntas a maior taxa de crescimento no período de 2005 a 2030, de 1,7% ao ano, passando de 6,3 milhões tep em 2005 para 50,6 milhões tep em 2030. Aumentaram a participação o Gás Natural que passa de 9,4% para 15,5% (0,24% ao ano) e para o agregado “Produtos da Cana” que passa de 13,8% para 18,5% (0,18% ao ano). Perdem participação na oferta interna de energia, o petróleo que passa de 38,7% em 2005 para 28,0% em 2030 (0,43% ao ano), a lenha que passa de 13% para 5,5% (0,3% ao ano) e a hidráulica que passa de 14,8% para 13,5% (0,052% ao ano) (MME, 2007).

Um relatório do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) revelou que o número de projetos em energia limpa quadruplicou desde 2004. O investimento em 2008 em energia renovável foi de US\$ 155 bilhões que representa mais da metade dos US\$ 250 bilhões dos investimentos no setor tradicional. O relatório revelou que a maior parte dos investimentos ocorreu no Brasil e na China. Os Estados Unidos registraram uma queda de 2% enquanto que o crescimento na Europa

desacelerou. O Brasil é o maior mercado mundial de energias renováveis onde 46% de toda energia consumida é proveniente de fontes limpas.

Segundo Karekesi *et al.*, (2005) a biomassa pode ser classificada em 3 categorias de acordo com a tecnologia empregada na sua utilização energética. São elas:

- Tecnologias tradicionais de uso da biomassa (ou biomassa tradicional): combustão direta de madeira, lenha, carvão vegetal, resíduos agrícolas, resíduos de animais e urbanos, para cocção, secagem e produção de carvão;
- Tecnologias “aperfeiçoadas” de uso da biomassa (ou biomassa “aperfeiçoada”): tecnologias aperfeiçoadas e mais eficientes de combustão direta de biomassa, tais como fogões e fornos;
- Tecnologias modernas de uso da biomassa (ou biomassa moderna): tecnologias avançadas de conversão de biomassa em eletricidade e o uso de biocombustíveis.

2.2 CAMA DE AVIÁRIO

Há vários milênios as aves são fontes de alimentos. As primeiras referências às galinhas domésticas (*Gallus gallus domesticus*) surgiram em cerâmicas coríntias datadas do século VII a.C. A introdução desta ave como animal doméstico surgiu provavelmente na Ásia de onde é nativa a espécie *Gallus gallus* e ainda houve registros de aves na China desde 1400 a.C, na Grécia, na antiga Polinésia, enfim, desde muitos séculos a galinha já vem sendo utilizada como fonte de alimento.

No Brasil, segundo os historiadores, as aves chegaram em embarcações. Pero Vaz Caminha escreveu em suas cartas que os índios tiveram medo da galinha no primeiro contato, já que não existia tal ave no Brasil. Cabe apontar que mesmo com todos os medos, o animal acabou sendo bem vindo e sempre foi usado como fonte de alimento, sendo posteriormente comercializado internamente.

Os primeiros dados estatísticos sobre a comercialização de aves e ovos no Brasil remontam o ano de 1860. O Estado de Minas Gerais, grande exportador de laticínios e de aves para o consumo, demonstrou com dados estatísticos oficiais, a idéia pioneira sobre comercialização destes produtos no Brasil que exercerá forte influência no desenvolvimento econômico durante a metade do século XIX e princípio do XX. Em 1860/61 a quantidade exportada por Minas Gerais era de apenas 40 mil quilos de aves vivas. Em 1910, depois de quarenta anos de atividade, esse total saltou para 3.123.000 quilos. É de se ressaltar inclusive que a exportação dobrou de 1901 em diante, com um aumento anual médio de 250.000 quilos.

Já as exportações registradas em 1904 no Rio de Janeiro, dão conta de um total de 1.047.446 quilos de aves vivas. Em 1911 a venda atingiu 1.568.231 quilos, um incremento de 40%. O desenvolvimento dessa atividade ocorreu a partir do final da década de 1950, nos estados da região Sudeste principalmente, em São Paulo. A atividade avícola teve um grande impulso na produção na década de 1970, período em que houve profunda reorganização do complexo de carnes no Brasil. A Figura 2.3 mostra a evolução de quanto tempo era necessário para produzir um milhão de toneladas de frango.

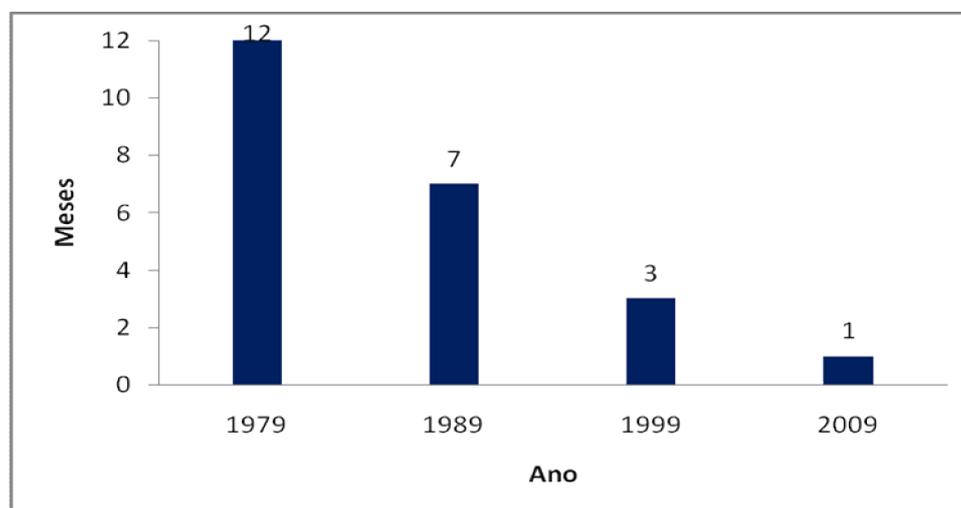


Figura 2.3 - Tempo necessário (em meses) para a produção de 1 milhão de toneladas. Fonte: APINCO. Elaboração: Avisite.

Em 1979 o tempo necessário para produzir um milhão de toneladas de carne de frango era de doze meses. Dez anos depois, em 1989, o setor já obtinha tal produção em sete meses. E dez anos após, em 1999, três meses foram suficientes para se alcançar o

milhão de toneladas. A marca do milhão de toneladas em apenas um mês poderia ter sido atingida no final de 2008, mas a crise econômica mundial forçou o setor a tirar o pé do acelerador e a produção máxima do ano ficou muito próxima. Em agosto de 2009 foi registrado o primeiro milhão de toneladas produzidos em um mês. Se continuar nesse ritmo, em menos de cinco anos o setor estará produzindo esse mesmo volume em, no máximo, quinze dias.

Dados da Secretária de Comércio Exterior do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (SECEX/MDIC) apontam que cinco itens exportados pela avicultura brasileira estão entre os cem principais produtos negociados pelo Brasil. Sendo eles, pela ordem, cortes de frango, frango inteiro, industrializados de frango, carne de frango salgada, e os industrializados de peru (Avisite, 2009).

A avicultura alcançou nos últimos anos, índices de crescimento extremamente consideráveis, principalmente pela abertura, cada vez maior do mercado exterior. Isto é consequência do ótimo trabalho dos criadores em relação à produtividade e sanidade dos animais, além das circunstâncias favoráveis no custo dos insumos para produção e fatores econômicos. Dessa forma o produto brasileiro é cada vez mais procurado, conquistando principalmente uma fatia considerável do mercado asiático e europeu que são extremamente exigentes.

O Brasil por ser o maior exportador mundial de carne de frangos, possui umas das aviculturas mais desenvolvidas e com tecnologia do mundo, o que evidencia o manejo utilizado na avicultura brasileira e em regiões de grande concentração de produtores de frango. Isto gera um excedente de camas usadas para disposição no meio ambiente, provocando excesso de nutrientes no solo. (Ávila, 2007).

O Brasil vai corresponder por 40% do mercado mundial de frango (Figura 2.4), fornecendo carne de aves para mais de 160 países. Os Estados Unidos participarão com 34%. Os 26% restantes correspondem a União Europeia com 8,63%, a Tailândia 5,04% a China com 3,05% e a Argentina com 2,45% do total. Novos mercados são incorporados a cada ano, como Congo e Paquistão (Avisite, 2009).

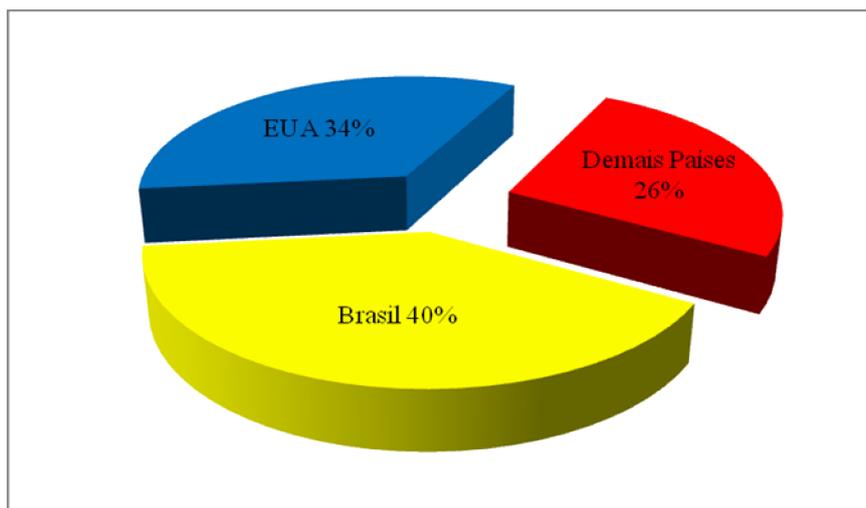


Figura 2.4 - Previsão da distribuição de carne de frango em 2010. Fonte : USDA

A competitividade do agronegócio do frango está condicionada ao preço, à qualidade, e à sanidade dos produtos além da capacidade de atender os diferentes segmentos de mercado. Esses fatores possuem ligação direta com a estrutura contratual, pois ela possibilita a obtenção regular e padronizada da matéria-prima e permite o planejamento das exportações. Também merece destaque a importância da regularidade do fornecimento e da produção de grãos para um bom desempenho do agronegócio (Pereira et al; 2007).

O consumo de carne que mais aumentará no mundo será o de carne de frango, que chegará aproximadamente à 24%. Em seguida está a carne de suíno (22%), de ovino (20%) e de bovino (18%). O incremento da demanda mundial de alimentos é assustador, em 50 anos a população mundial dobrará e, portanto, exigirá crescimento em 100% na oferta de alimentos. Além das vantagens nutricionais da carne de ave, a produção de frango apresenta o menor impacto relativo da produção avícola no meio ambiente, em comparação à produção de bovinos e de suínos, especialmente nos critérios de consumo de energia e de impacto no aquecimento global (Avisite, 2009).

Segundo Jaenisch (2006) os mecanismos para prevenir a chegada de doenças nos sistemas de produção de aves são cada vez mais rigorosos. O Brasil adota um programa de biossegurança objetivando:

- Diminuir o risco de infecções e aumentar o controle sanitário dos plantéis;

- Resguardar a saúde do consumidor dos produtos avícolas;
- Minimizar a contaminação do ecossistema.

Os principais fatores a considerar com a saúde das aves são:

- Conscientização de todos que trabalham na granja;
- Aquisição dos pintos;
- Localização do aviário;
- Manejo sanitário;
- Limpeza e desinfecção.

Na limpeza e desinfecção deve ser removida a cama de aviário. A utilização de cama na criação de frangos de corte é uma prática bastante antiga na avicultura industrializada. A cama tem como objetivo evitar o contato direto das aves com o piso do aviário, absorção da umidade, isolamento térmico e diluição das excretas.

A cama de aviário constitui o principal resíduo da avicultura de corte, o que leva a produção avícola busque alternativas de uso, manejo e destino deste material, respeitando os princípios da produção sustentável, no contexto dos aspectos sanitários, econômicos e ambientais (Silva, 2008).

A cama de aviário é todo material distribuído sobre o piso dos galpões para servir de leito às aves. Segundo Ávila *et al.* (1992) uma cama de aviário, para ser de qualidade, deve apresentar as seguintes características:

- Ser de tamanho médio (material picado ou triturado);
- Ter a capacidade de absorver a umidade sem emplastar;

- Liberar facilmente para o ar a umidade absorvida;
- Ter baixa condutividade térmica;
- Ter capacidade de amortecimento, mesmo sob alta densidade;
- Ter baixo custo e disponibilidade.

Existem vários subprodutos industriais ou restos de culturas agrícolas que podem ser usados como cama de aviário. Os principais materiais usados como cama na produção de frangos de corte e suas principais características são apresentados abaixo:

Maravalha – Material constituído por partículas de tamanho aproximado de 3 cm, produzida pelo beneficiamento de madeiras como pinus, pinheiro, etc. Apresenta um bom poder de absorção. A disponibilidade acompanha a demanda das regiões de indústrias madeireiras e campos de reflorestamento (Ávila *et al.*, 1992). As condições de armazenagem da maravalha são importantes, pois, se forem mantidas em locais úmidos podem permitir o crescimento de fungos.

Resíduos de beneficiamento industrial da madeira – Normalmente são constituídos por pequenos cavacos, maravalha e serragem, produzidos por indústrias que beneficiam a madeira. Possuem alto poder de absorção de umidade e uma preocupação é a presença de resinas tóxicas pelo eventual tratamento químico sofrido pela madeira portanto conhecer a sua procedência é fundamental (Paganini, 2004). O tamanho e a forma das partículas são de grande importância, pois, se forem de tamanho grosseiro podem causar lesões nas patas e no peito das aves.

Sabugo de milho triturado – O material tem menor poder de retenção de umidade e de amortecimento quando comparado a maravalha e a sua disponibilidade é boa somente em regiões produtoras de milho.

Casca de arroz – Tem uma capacidade relativamente pequena de absorção de umidade, porém é muito utilizada por ser facilmente encontrada em todos os estados brasileiros.

Alguns autores desaconselham, Ávila *et al.* (1992) detectou problemas para os olhos dos pintos e Almeida (1986) pelo seu baixo poder de absorção.

Palhadas de culturas em geral – Esse material é composto pelas palhas de arroz, trigo, cevada, centeio, azevém, milho, feijão, soja, dentre outras. São encontrados na maioria do território brasileiro. Misturar maravalha com casca de arroz facilita o revolvimento e melhora a capacidade de absorção de umidade do material (Ávila *et al.*, 1992).

Fenos de gramíneas – Materiais como capim elefante, braquiária, colonião, pastagem natural, capim Rhodes, gordura e demais gramíneas utilizadas para pastagem natural. Apresentam alta disponibilidade e são facilmente produzidos sempre que necessário. Para a sua utilização, corta-se o material que deve permanecer algum tempo exposto ao ar para murchar e, posteriormente, ser triturado (Paganini, 2004). Deve ser espalhado no aviário pelo menos oito dias antes da chegada das aves, com revolvimento diário (Ávila *et al.*, 1992).

2.2.1 - Reutilização da Cama de Aviário

Com a publicação no Diário Oficial da União da Instrução Normativa nº 41, de 8 de outubro de 2009, o Ministério da Agricultura aprovou novos procedimentos a serem adotados na fiscalização de alimentos de ruminantes em estabelecimentos de criação e na destinação dos ruminantes que tiverem acesso a alimentos compostos por subprodutos de origem animal proibidos na sua alimentação. Está incluso, entre os subprodutos da avicultura, a cama de frango, farinhas de vísceras e/ou de penas e farinhas de resíduos de abatedouros avícolas, cujo uso é proibido desde 2001. Embora se concentre na fiscalização dos alimentos servidos a ruminantes oriundos de fazenda, a instrução normativa estabelece a interdição dos animais passíveis de acesso ao alimento suspeito até a emissão dos resultados finais de análise. Se o resultado for positivo à presença de subprodutos de origem animal proibidos no alimento analisado, ocorrerá a eliminação dos ruminantes em abatedouros fiscalizados ou na propriedade, no prazo máximo de 30 dias (Asgav, 2009).

O uso da cama de aviário na alimentação animal é um tema que é discutido há muitos anos. Tomazela (2007) afirmou que o uso da cama de aviários para alimentar o gado pode causar a encefalopatia espongiforme bovina, mais conhecida como o “mal da vaca louca”. Existem evidências de que o agente infeccioso seja uma proteína anormal, chamada *prion*, que se acumula em tecidos do animal doente.

A utilização da mesma cama para vários lotes consecutivos é muito comum não acontecendo apenas em regiões que tenham alta disponibilidade de material ou onde a cama tem um bom valor de venda. As principais razões para a reutilização da cama de aviário segundo Paganini, (2004) são:

- Custo para a aquisição do material, principalmente onde se utiliza a maravalha como cama tornando um importante custo na produção do frango;
- Mão-de-obra para retirar a cama do galpão, aliada a tentativa de diminuir o tempo ocioso das instalações;
- Escassez de materiais em regiões de alta concentração avícola;
- Tentativa de minimizar o impacto ambiental da avicultura. O uso da cama de aviário pode contaminar o solo e o lençol freático.

A reutilização da cama está relacionada ao aspecto sanitário, ou seja, pode ter a incidência da população microbiana. A retirada total da cama com a lavagem e desinfecção das instalações é fundamental para diminuir a carga microbiana e interromper doenças nos galpões.

A reutilização da cama de aviários para frangos de corte é uma prática viável, segura e recomendável, desde que a cama seja submetida a tratamento para inativação ou redução de patógenos (Silva, 2008). Entretanto não é recomendável se reutilizar a cama, quando o lote anterior passou por algum desafio sanitário.

Para a utilização da cama de aviário como fertilizante é importante a realização do balanço de nutrientes para avaliar se o solo tem a capacidade de suportar a incorporação do material e a composição elementar da cama. A desconsideração desses fatores pode levar a um impacto ambiental negativo, com a poluição do ar, das águas, do solo e perda de qualidade dos produtos agrícolas com ela produzidos.

O plano de manejo de nutrientes considera o local e dimensões das áreas ocupadas com cada cultivo e respectivo manejo, quantidade, frequência, forma de deposição e tipo de adubo utilizado e cronograma de aplicação de adubos e fertilizantes. Devem ser identificados os tipos de solos existentes na propriedade por meio do seu perfil e análises de fertilidade para identificação dos riscos ambientais do uso da cama de aviário como adubo.

A reutilização da cama de aviário é feita por motivos econômicos e ambientais. A troca a cada lote aumenta os custos de produção, uso da mão-de-obra e maior frequência de reposição de maravalha e o seu uso como fertilizante resulta em um maior custo no transporte e na distribuição das lavouras. A questão ambiental é a diminuição do corte de árvores para a produção de maravalha que é o principal material utilizado para a composição da cama. Com a preservação das árvores plantadas o solo se mantém com cobertura vegetal, preservando as fontes d'água e evitando a sua erosão.

Dentro dos conceitos do agronegócio e das leis de proteção ambiental, os dejetos dos animais passam a ser parte integrante do processo produtivo. As plantas possuem uma exigência de nutrientes de acordo com os tipos de cultivares, solo de plantio, dentre outras coisas. As quantidades fornecidas além das exigências ficarão depositadas no solo susceptíveis a sofrerem processo de lixiviação e percolação.

O uso adequado da cama de frango pode constituir um meio econômico de eliminação do material e uma fonte de nutrientes para as plantas. No entanto, o excesso de nitrogênio poderia criar novos riscos ambientais como o aumento de emissões de óxido nítrico. Um estudo conduzido no noroeste de Arkansas (EUA) comprovou que adições de cama de frango no solo resultaram em um aumento de 1,5 vezes das emissões de

óxido nitroso, diminuição do nitrogênio e fósforo no solo e do espaço poroso (macroporos) para infiltração da água (Sauer *et al.*, 2009).

Petric *et al.* (2009) estudou a compostagem da cama de frango com adição de palha de trigo avaliando a temperatura do substrato, o dióxido de carbono, amônia, pH, condutividade elétrica, e matéria orgânica. A mistura contendo 83% de cama de frango e 17% de palha de trigo teve o melhor desempenho. O estudo foi realizado em laboratório em condições controladas e no campo não existe a possibilidade de controlar todas as condições, ou seja, o uso dessa mistura com o tempo pode vir a ser um passivo ambiental.

Em julgamento realizado em Oklahoma, nos EUA, um juiz federal concluiu que, a cama de aviário aplicada como fertilizante em excesso, diante da atual legislação ambiental norte americana, deve ser considerada lixo. A decisão representa vitória parcial do estado de Oklahoma, que há tempos defende na Justiça a tese de que a aplicação excessiva de cama de frango em lavouras locais resultou na poluição da bacia do Rio Illinois. Em 2003, quando começaram a surgir no país os primeiros casos de doença da vaca louca, a proibição chegou a ser anunciada, mas nunca foi baixada medida oficial a respeito e, por isso, a cama continua sendo utilizada na alimentação de bovinos (Aviste 2009).

Por apresentar grandes desafios a sua reutilização, pelo risco de transmissão do “mal da vaca louca” para o gado, custo das avaliações de balanço de nutrientes do solo, a análise química da cama tornando o custo de produção maior para o produtor e a recente instrução normativa do MAPA, a gaseificação da cama de aviário surge como uma excelente oportunidade para o avicultor com agregação de valor ao seu produto, minimizando os impactos ambientais e produzindo a sua própria energia. Na figura 2.5 é apresentado o ciclo da produção de energia a partir de cama de frango.

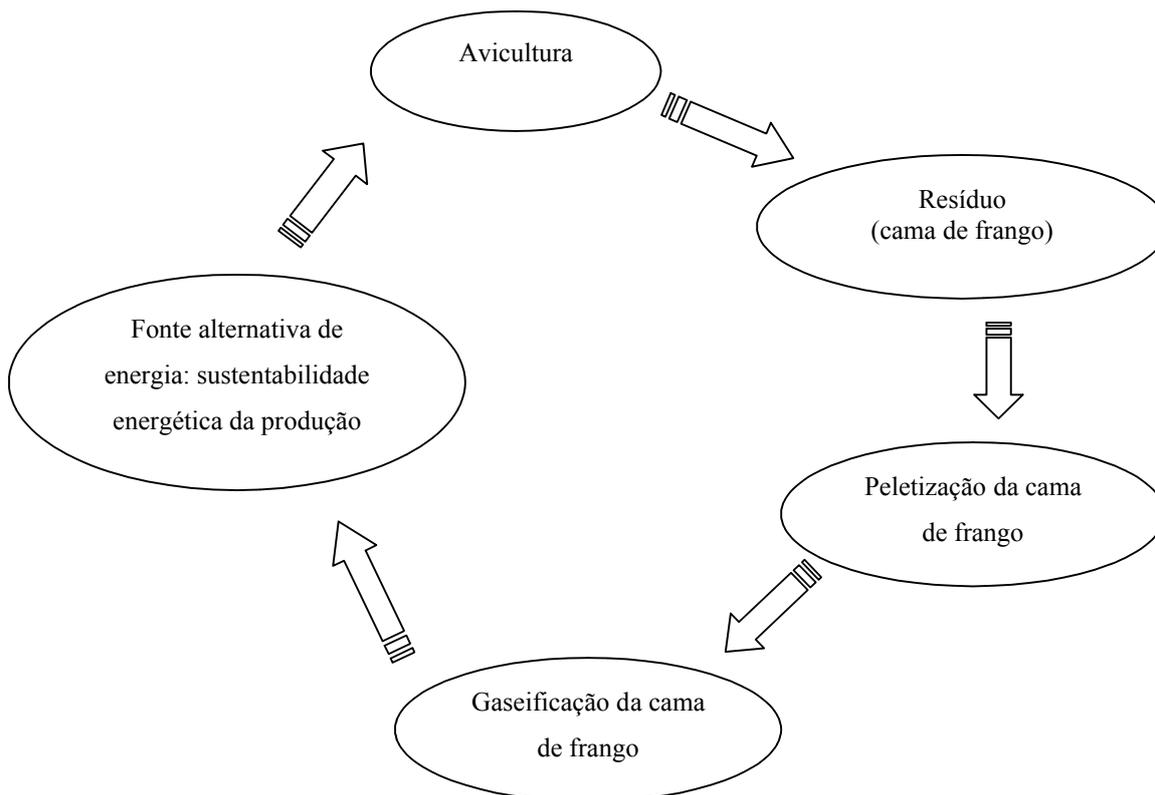


Figura 2.5 - Ciclo de produção de energia a partir da cama de frango.

2.2.2 - Uso de Cama de Aviário para Geração de Energia Elétrica

A avicultura tem vivenciado nos últimos anos um período de franca expansão em virtude de vários fatores, dentre os quais se destacam a evolução genética e os avanços em relação ao manejo e à nutrição. Uma das maiores preocupações dos diferentes órgãos nacionais e internacionais ligados à saúde e ao bem estar está relacionada ao adequado destino dos resíduos produzidos por essa prática agropecuária.

Vários autores realizam levantamentos de potencial de diferentes tipos de biomassa energética em diversas localidades. Uma linha de pesquisa de forte atuação de vários pesquisadores e a quantificação do potencial energético da cama de aviário.

Sordi *et al.* (2004) realizou um estudo do potencial energético teórico da cama de aviário produzida na região Oeste do Paraná e foi estimado um valor do potencial energético de 49,2 MW, referente ao ano 2001. O autor concluiu que a cama de aviário apresenta-se como uma alternativa energética.

Luczynski e Avellar (2002) estudaram a inserção de biogás no meio rural em substituição ao Diesel. A introdução da geração de energia elétrica com biogás em regiões rurais e isoladas do Brasil, num primeiro instante, deve superar as barreiras existentes quanto à utilização do biogás. Ainda existe a idéia generalizada de que o biogás é um gás pobre e de baixa capacidade calorífica. Outra barreira mencionada pelos autores é a estrutura de dependência que foi criada em relação ao óleo Diesel, baseada na centralização da distribuição e na venda em pequenas quantidades.

Palhares (2004) estudou o uso da cama de aviário para produção de biogás. A viabilidade técnica da biodigestão anaeróbia da cama de frango é um fato, mas esta validação não tem sido observada em atitudes práticas, ou seja, a utilização deste processo de tratamento pelos avicultores. O autor propõe o desenvolvimento de políticas e programas pelas esferas federais, estaduais e municipais que contemplem a geração de energia a partir da biomassa, incluindo nestas linhas de financiamento as estratégias para adequação ambiental de pequenas e médias propriedades que desejem se tornar auto-sustentáveis energeticamente.

Um estudo do balanço energético da criação comercial de frangos demonstrou que a atividade possui alto consumo energético, apresentando eficiência energética igual a 28%. Da energia direta que entra no sistema, 10,2% corresponde à maravalha, 0,3% às aves, 86,5% à ração, 0,8% à eletricidade e 2,1% ao GLP. A energia que sai do sistema, 46,7% poderia retornar na forma de biogás, através da biodigestão anaeróbia da cama. A análise econômica evidenciou oportunidades favoráveis à implantação de biodigestor (Santos, 2001).

Um trabalho mostrou o aproveitamento energético da cama de aviário. O processo de aproveitamento do material orgânico foi feito por biodigestão anaeróbia, processo que reduz o potencial poluidor deste material e gera biogás, que pode ser empregado como combustível; sendo utilizado, por exemplo, em um motor de combustão interna visando à geração de eletricidade. No estudo, os cálculos econômicos mostraram que para os custos de produção de eletricidade o *pay-back* é de 2,1 anos, quando ocorre a igualdade entre os preços da eletricidade comprada e gerada (Florentino *et al.*, 2003).

O Brasil possui um grande número de propriedades rurais que podem ser consideradas pequenas praticando agricultura e pecuária familiares e tradicionais. Devido a esta realidade, o biodigestor, pode ser considerado como uma boa alternativa, na obtenção de energia limpa (biogás) e biofertilizante, por meio da fermentação anaeróbia (Tarrento e Martinez, 2006).

Os estudos realizados no Brasil sobre a geração de energia elétrica a partir da cama de aviário são por biodigestão. Não foi encontrado nada relacionado à gaseificação de cama de aviário para geração de energia elétrica. A partir dessa premissa o estudo tem como principal objetivo a utilização do material orgânico na forma de peletes para geração de eletricidade.

2.3 GASEIFICAÇÃO DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS

A gaseificação é definida como a conversão da biomassa ou de qualquer combustível sólido, em um gás combustível, através da oxidação parcial a temperaturas elevadas. Constitui uma excelente tecnologia de conversão termoquímica para a biomassa com a possibilidade de utilização dos gases obtidos, como combustível, e assegurar seu aproveitamento energético em instalações de fornos (para geração direta de calor), motores de combustão interna e turbinas a gás (para a geração de potência mecânica e energia elétrica). O gás combustível obtido deve ser livre de alcatrão e particulados sólidos (Gómez, 1996).

A gaseificação de biomassa não é um processo novo. Nos idos de 1669, Sir Thomas Shirley conduziu experimentos com produção de gás metano (CH₄). No entanto, as primeiras patentes sobre gaseificação foram registradas apenas em 1788 e 1791 por Robert Gardner e John Barber, respectivamente (Larson, 1998). Barber, em sua patente mencionou o uso do gás de síntese a partir do carvão em motores de combustão interna. Este uso, porém, só seria confirmado um ano após, em 1792. Ainda neste ano, Murdoch, um engenheiro escocês, pirolisou carvão em um reator de ferro e utilizou o gás sintetizado para iluminar sua casa (Lowry, 1945). Posteriormente, Murdoch construiu uma planta de gás para James Watt e iluminou uma das oficinas deste (Rezaiyan & Cheremisinoff, 2005).

No ano de 1798, os primeiros experimentos com gaseificação de madeira foram feitos por Lebon. A primeira companhia de gás de carvão começou a operar em 1812 para iluminação pública (Groeneveld, 1980). Bishoff em 1839 desenvolveu o gaseificador contra corrente. No início do século IX foi patenteado na Inglaterra um gaseificador portátil e em 1840, na França, foi desenvolvido o primeiro gaseificador comercial. Esses sistemas de gaseificação, porém, eram ainda muito rudimentares e não representavam verdadeiras soluções no fornecimento de energia à sociedade.

Siemens em 1857 modificou o desenho que foi usado pela Europa pelos 100 anos seguintes. O grande problema desses gaseificadores era a produção de alcatrão e a remoção de cinzas (Foley e Geoffrey, 1983). Na década de 1860 os primeiros motores de combustão interna, especialmente projetados para a queima de gás sintético da gaseificação começaram a ser utilizados na Bélgica. No início do século vinte numerosos veículos eram movidos a gás sintético e algumas máquinas maiores foram construídas na Europa e nos Estados Unidos. Em Cobdogla, Austrália, foi construído um sistema de irrigação no qual o motor da bomba d'água era movido por um sistema de gaseificação.

James Willian junto com Grahan J. Parker patentearam, na Inglaterra, um sistema melhorado para veículos onde o combustível era o carvão vegetal. Esse sistema, porém, ainda era pouco operacional. Abastecer o veículo com carvão era um trabalho difícil e sujo que exigia a troca de roupas. Ligar o veículo levava um considerável tempo até que as reações de gaseificação iniciassem e a qualidade do carvão era determinante. A potência desses veículos correspondia a no máximo 50% da dos veículos movidos a petróleo da época.

Durante os anos de 1930, o desenvolvimento da gaseificação despertou grande interesse de países com grandes áreas florestais. Além disso, a crise econômica que abalou o mundo devido ao “*crash*” da bolsa de valores norte-americana e o conseqüente aumento dos combustíveis fósseis, foi um incentivo adicional ao uso da gaseificação. Em 1938, cerca de 7.800 veículos movidos a gás supridos por 1.500 estações de abastecimento de madeira ou carvão vegetal circulavam pelas ruas da França. A Suécia e a Alemanha

seguiram o exemplo da França. Na Suécia, em 1942, cerca de 80.000 veículos e mais de 20.000 tratores foram convertidos para o uso do gás, (Larson, 1998).

Durante a Segunda Guerra Mundial, com a escassez de petróleo, os veículos movidos a gás sintético tiveram uma importante atuação. Este cenário de interesse e desenvolvimento da gaseificação durou até meados dos anos 50 quando a produção de petróleo foi normalizada e o interesse por gás combustível diminuiu ao ponto de ser descartado como fonte de energia alternativa.

Nos dias atuais o interesse pela gaseificação de biomassa como fonte de gás combustível é pautado por questões econômicas, sociais e ambientais. Uma característica do sistema energético de vários países em desenvolvimento, em particular em áreas rurais, é o uso intensivo de motores de combustão interna para aplicações estacionárias como a geração de potência elétrica e operação de bombas d'água para irrigação de plantações.

Tecnologias como a gaseificação, que permite a utilização de biomassa como combustível para tais máquinas com um mínimo de preparação, são de particular importância (FAO, 1986). Um sistema de gaseificação com características bastante interessantes é o do tipo *downdraft* estratificado onde o ar e a biomassa entram pela parte superior do reator e o gás de síntese sai pela parte inferior do mesmo. Este sistema opera gerando um gás relativamente limpo no que tange às concentrações de alcatrão.

Warren *et al.* (1995) em seu trabalho com plantas de 30kW_e (eletricidade) e 60kW_{th} (calor), apontaram a viabilidade de utilização da tecnologia *downdraft* para eletrificação rural. Peres (1999) obteve resultados significativos em seus experimentos de gaseificação de bagaço de cana. Verificou-se a geração de $0,65\text{ m}^3$ de gás por quilo de bagaço e um poder calorífico de aproximadamente $12,84\text{ MJ/m}^3$ demonstrando assim, a viabilidade econômica da tecnologia posto que a safra de cana de açúcar do nordeste brasileiro nos anos de 1995 e 1996 foi de 47.957.667 toneladas que geraram 14.387.300 toneladas de bagaço de cana os quais gaseificados gerariam $4.675.872.500\text{ m}^3$ de gás.

Comprovou-se através de estudos realizados que a gaseificação da biomassa do capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) é uma alternativa sustentável para geração de energia com baixa emissão de poluentes. Utilizou-se um grupo moto-gerador Diesel operando em regime híbrido alcançando uma substituição de 70% do óleo diesel pelo gás de biomassa. Estimou-se, em valores da época, um custo de 0,16 a 0,23 R\$/kWh, o que, em termos econômicos, confirma a viabilidade para o projeto de eletrificação rural (Cortes & Sanchez, 2000).

Wander *et al.* (2004) experimentaram um sistema de gaseificação leito fixo *downdraft* estratificado e comprovaram que a gaseificação de madeira pode produzir um gás capaz de ser queimado em motor de combustão interna desde que este sofra uma limpeza adequada. Eles propuseram a inserção de um sistema de recirculação que queima parte dos gases produzidos visando manter um nível elevado de temperatura na zona de gaseificação e gerando, assim, aumento da eficiência. O consumo estimado dos resíduos de serraria pelo gaseificador é de 12 kg/h. Com a finalidade de examinar os efeitos dos parâmetros operacionais em relação à qualidade do gás de síntese e taxa de conversão de biomassa, utilizou-se cavaco de madeira em um sistema de gaseificação *downdraft*. Constatou-se um poder calorífico de $5,79 \pm 0,52$ MJ/Nm³; uma taxa de conversão de carbono de $98,01 \pm 0,53\%$ e uma concentração de alcatrão de $14,06 \pm 8,54$ mg/Nm³. Esses valores apontam para a viabilidade da qualidade deste gás para o uso em motores de combustão interna. Observou-se ainda, que com o aumento da umidade da biomassa, a concentração de monóxido de carbono (CO) diminuiu ao passo que a concentração de alcatrão teve um significativo aumento.

O custo da biomassa no país e a alta eficiência de sistemas modernos de geração de eletricidade, especialmente através da gaseificação de biomassa e uso do gás em ciclos combinados, justificam maior atenção para o desenvolvimento dessas tecnologias. É ainda necessário, no entanto, identificar o consumo da madeira com finalidade energética no país, bem como de resíduos agrícolas com potencial utilização energética (Jannuzzi, 2003).

Segundo dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) o agronegócio brasileiro é moderno, eficiente e competitivo, sendo uma atividade

próspera, segura e rentável. O Brasil tem 388 milhões de hectares de terras agricultáveis férteis e de alta produtividade. As projeções indicam que o país será, em pouco tempo, o principal pólo mundial de produção de algodão e bicompostíveis, feito a partir de cana-de-açúcar, e óleos vegetais (Romeiro Neto, 2006). O crescimento do Brasil na agropecuária é o maior, quando comparado a outros países.

Os resíduos agrícolas vêm se constituindo uma das mais expressivas fontes de biomassa, que poderiam ser convertidas em combustíveis líquidos, sólidos e gasosos, além de outros processos de bioconversão para fins industriais (Vargas, 1979). Ainda que sejam produzidas fontes diferenciadas de resíduos agrícolas (Tabela 2.2), a palha de arroz e o bagaço de cana-de-açúcar são aqueles de maior importância econômica para o Brasil.

Tabela 2.2 - Principais resíduos agrícolas no Brasil. Poder Calorífico estimado com o teor de umidade a 10%. Fonte: Gauthier (1986).

Matéria Prima	Percentual em Resíduos	Poder Calorífico (MJ/Kg)
Algodão	50	15,91
Arroz	20 a 25	13,82
Coco	50	17,58
Café	20	18,00
Cana-de-açúcar	80	15,07
Girassol	10 a 15	13,40
Milho	25 a 30	16,75

A casca de arroz é praticamente produzida em todo o País, destacando-se os Estados do Rio Grande do Sul, Goiás, Mato Grosso, Maranhão, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Paraná e São Paulo, e o bagaço da cana-de-açúcar é gerado principalmente nas Regiões Sudeste e Nordeste (De Souza, 1997).

Para a biomassa sólida em particular (florestal, resíduos agrícolas, resíduos urbanos etc.), as propriedades físicas mais importantes que se encontram diretamente relacionadas com a sua utilização para fins energéticos são o conteúdo de umidade residual (base seca), a sua densidade energética, o seu poder calorífico, a análise imediata e a análise elementar. A baixa densidade energética da biomassa sólida, em comparação com o petróleo e o carvão mineral, resulta em custos elevados de transporte e armazenamento.

O desenvolvimento de técnicas para aumentar a concentração de energia ampliará o espectro de utilização da biomassa na transformação energética, sendo o caso da briquetagem. O conteúdo de umidade influencia significativamente a qualidade de combustão e o poder calorífico da biomassa. O poder calorífico da madeira duplica se o seu teor de umidade de 50% for reduzido para 20% (Couto *et al.*, 2004).

Algumas pesquisas relacionadas com gaseificação de cama de aviário foram realizadas. Resultados experimentais sobre os efeitos da temperatura do leito e composição do gás e recuperação de energia de biomassa são apresentados na gaseificação, usando ar e ar-vapor, como oxidantes. O resultado indicou que a gaseificação da cama de aviário em comparação a dois tipos de carvão (Wyoming sub-betuminoso e Texas carvão Lignite) nas mesmas condições de operação produziram uma maior quantidade de hidrogênio (Gordillo *et al.*, 2009).

Gaseificação de leito fixo do carvão e resíduos de animais como a biomassa em confinamento (esterco bovino) e biomassa de cama de frango foram investigadas experimentalmente. Os parâmetros investigados foram a oxidação médio-frontal e a velocidade de propagação de gaseificação. Os perfis de temperatura espacial e composição do gás foram medidos para o carvão e os combustíveis misturados em duas taxas de fluxo diferentes: 1,48 e 1,97 kg/h (1,28 e 1,70 m³/h), e em dois tamanhos diferentes de partículas de combustível: 9,4 (\pm 3,1 mm) e 5,15 (\pm 1,15 mm). Os resultados sugerem que a oxidação média de propagação de gaseificação é essencialmente dependente da taxa de fluxo de ar e teor de cinzas do combustível gaseificado (Priyadarsan *et al.*, 2005). O estudo teve como principal resultado a gaseificação dos resíduos animais (esterco bovino e cama de frango) com carvão.

Um projeto federal nos Estados Unidos demonstrou a viabilidade técnica e econômica em relação ao uso de carvão, na gaseificação da biomassa (cama de aviário) e co- incineração em uma caldeira operada pela Western Kentucky Energy Corporation. O foco principal é o uso de cama de frango como combustível para o processo de gaseificação. A planta Reid será capaz de reduzir o seu consumo de combustíveis fósseis de 8 à 10% e pode reivindicar a redução das emissões dos gases de efeito estufa (CO₂) de suas caldeiras (Patel *et al*, 2001).

A demonstração de um pequeno sistema modular (BioPower) usando cama de frango foi realizado nos Estados Unidos. A gasificação (downdraft) da cama de frango foi bem sucedida quando foram utilizados aglomerados densos de maravalha, secos a uma baixa velocidade superficial. Um produto com qualidade de cinzas foi produzido em escala de bancada de testes (Community Power Corporation). A gaseificação da cama de aviário surge como uma oportunidade de geração de energia elétrica em pequena escala e de se obter um alto valor para as cinzas com a criação de um fertilizante com nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) de alto valor comercial.

Um estudo indicou que a gaseificação não é um método considerado adequado para geração de energia elétrica pela cama de aviário, pela mesma ter uma maior umidade, cinzas, nitrogênio, fósforo e conteúdo de enxofre. A alta umidade e cinzas reduzem o poder calorífico do gás gerado não sendo suficiente para acionar um motor sem combustível auxiliar. Além disso a cama de aviário tem uma quantidade maior de nitrogênio que a biomassa natural, ou seja, o gás resultante da gaseificação tem uma taxa de emissão elevada de NOx (Primenergy, 2009).

O Brasil é um dos países que mais tem avançado na implementação de programas de uso da energia da biomassa. Um estudo mostrou que a gaseificação possui um amplo espectro de aplicações e deve constituir a base da difusão da utilização da “biomassa moderna” (Lora e Andrade, 2005). Os autores ainda afirmam que se faz necessário a concentração de esforços e recursos para a implementação definitiva dessa tecnologia na fase comercial.

Uma grande limitação do uso da tecnologia de gaseificação e motores de combustão interna é o processo de limpeza do gás principalmente na remoção do alcatrão e de particulados muito finos. Experiências mostraram que motores acionados a gás de biomassa indicaram que substâncias contaminantes como o alcatrão, a poeira, a fuligem e as cinzas são responsáveis pelo desgaste do motor (Stassen e Koele, 1997; Bühler, 1997). Pode-se classificar os tipos de gaseificadores em dois grandes grupos: Gaseificadores de Leito Fixo e Gaseificadores de Leito Fluidizado.

2.3.1 Gaseificadores de Leito Fixo

Esse tipo de gaseificador utiliza um leito de partículas sólidas pelo qual ar e gás fluem tanto para cima quanto para baixo. Os reatores nos quais esse fluxo passa de cima para baixo, são chamados de concorrentes ou *downdraft*, enquanto nos que têm o fluxo de ar passando de baixo para cima, são chamados contracorrentes, ou *updraft*.

No reator *updraft* a entrada de ar é na parte inferior e a saída do gás é superior. A biomassa entra pela parte superior seguindo para baixo, daí o nome contracorrente. Próximo à grade (Figura 2.6), ocorrem as reações de combustão, que são seguidas pelas reações de redução logo acima. Na parte superior, o aquecimento e a pirólise da biomassa ocorrem devido à transferência de calor por convecção formada.

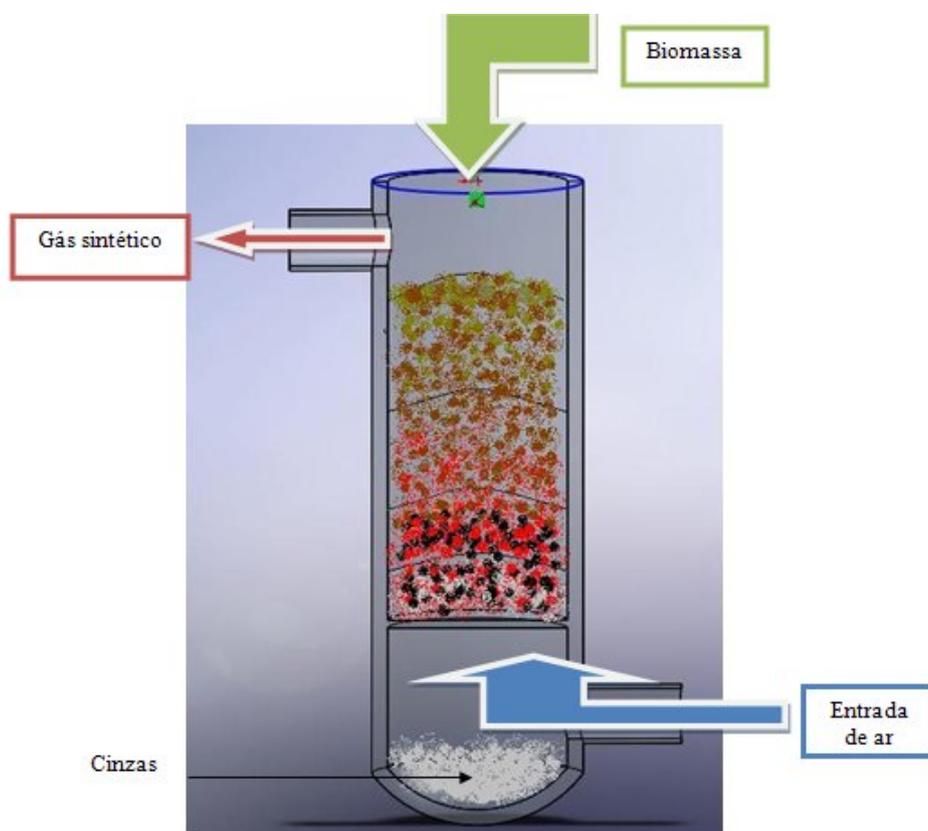


Figura 2.6 - Esquema de um gaseificador tipo updraft. Fonte : Rodrigues, 2008

Sua configuração simples é um ponto favorável, assim como a possibilidade de operação com diferentes tipos de biomassa. No entanto, este tipo de gaseificador é bastante suscetível ao entupimento, podendo criar bolsões de oxigênio em seu interior, tornando grande o risco de explosão grande. Além disso, a concentração de alcatrão no gás formado era consideravelmente elevada.

A solução para o elevado nível de concentração de alcatrão no gás dos gaseificadores tipo *updraft* foi encontrada projetando-se um reator onde o ar primário de gaseificação é injetado pela parte superior sobre a zona de oxidação no gaseificador. Assim, tanto o ar como a biomassa percorrem o gaseificador no mesmo sentido, daí a definição gaseificador tipo concorrente (*downdraft*), como pode ser visto na Figura 2.7.

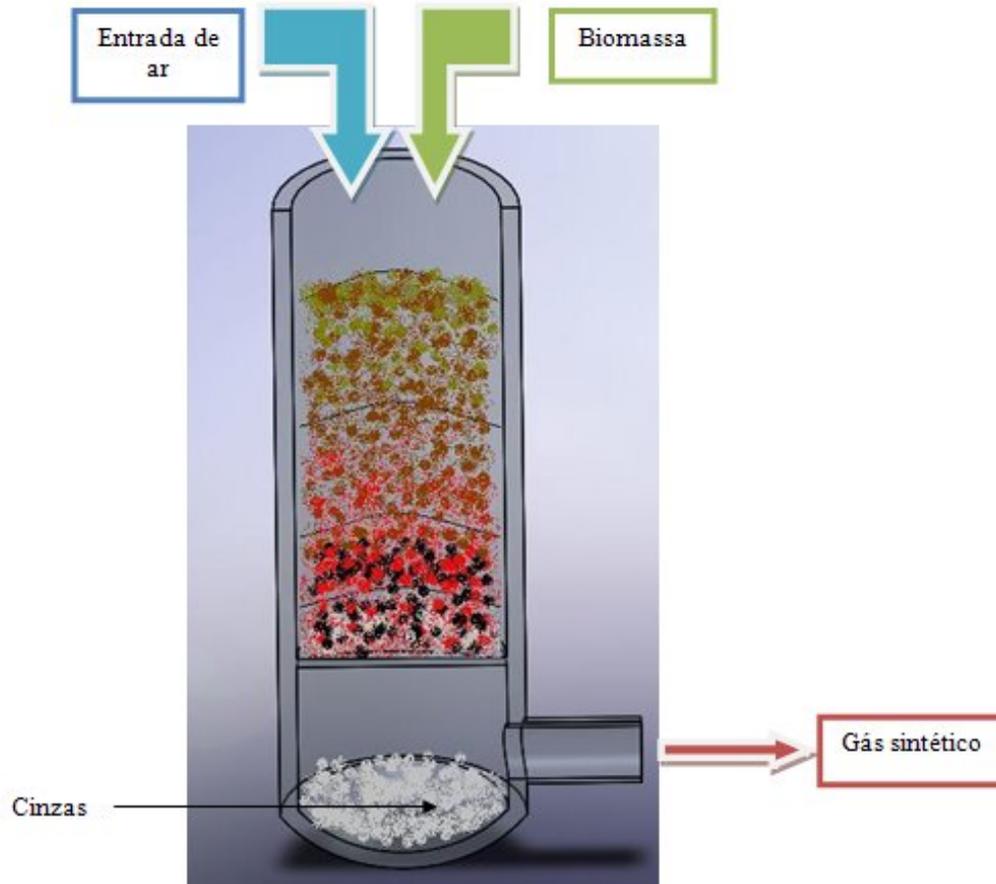


Figura 2.7 - Esquema de um gaseificador tipo downdraft. Rodrigues, 2008

2.3.2 Gaseificadores de Leito Fluidizado

A fluidização é a operação pela qual as partículas sólidas são transformadas em um estado como de um líquido através de suspensão em um gás ou líquido. Este método de contato apresenta características incomuns, que são bem utilizadas na Engenharia. Funcionam com o escoamento de um gás pressurizado pelo leito de material particulado. A vazão do gás é controlada de tal forma que sua força de arrasto se iguale ao peso das partículas que entram em suspensão. Essas partículas adquirem características de líquido ganhando o nome de leito fluidizado (Figura 2.8).

Dentre as principais vantagens estão o escoamento das partículas, como de um fluido uniforme, permitindo a realização de operações controladas continuamente e

automaticamente com fácil manuseio. Outra vantagem é a alta transferência de calor e massa entre o gás e as partículas. A principal desvantagem é a rápida mistura dos sólidos no leito, que conduzem a tempos de residência não uniformes dos sólidos no reator comprometendo a uniformidade do produto, reduzindo assim o rendimento e o desempenho do equipamento.

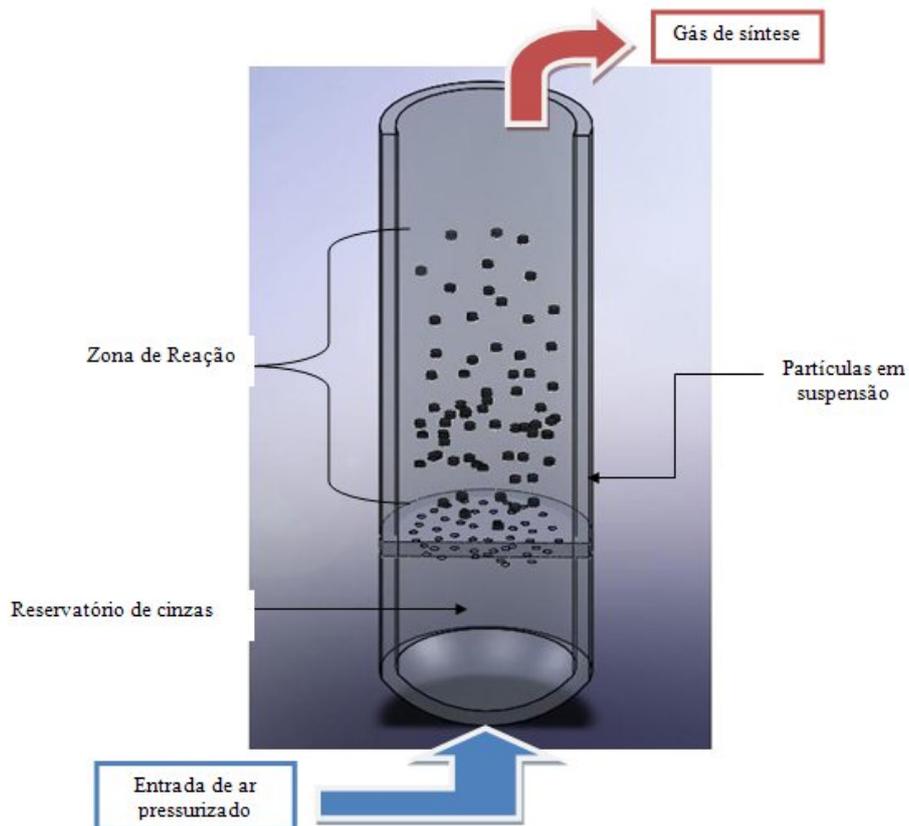


Figura 2.8 - Esquema de um gaseificador de leito fluidizado. Rodrigues, 2008

Esse tipo de gaseificador foi desenvolvido antes da Segunda Guerra Mundial visando sistemas de grande porte de gaseificação de carvão mineral. Para tanto, é necessário que a base da câmara de combustão seja alimentada com ar pressurizado por uma placa perfurada que suporta o leito de areia. Neste leito, o combustível sólido é transformado em gás no reator pela ação de agentes redutores a temperaturas aproximadas a 1000 °C produzindo um gás com baixo poder calorífico. O rendimento energético aproximado é de 70%. O combustível é praticamente todo processado e pode-se reduzir o teor de enxofre do gás pelo uso de agentes dessulfurantes. Por ser um sistema de grande porte, apresenta também elevados custos de construção e operação.

3 - METODOLOGIA

3.1 - COLETA E PREPARO DA CAMA DE AVIÁRIO

A cama de aviário (Figura 3.1) foi coletada em uma granja localizada em Brazlândia - DF. A coleta foi realizada de forma manual.



Figura 3.1 - Cama de aviário *in natura*. Fonte : Autor

3.2 - CARACTERIZAÇÃO DA CAMA DE AVIÁRIO *IN NATURA*

Realizada à coleta e preparação das amostras, a cama de aviário foi submetida à caracterização das propriedades dentre elas a análise elementar, a análise imediata, o poder calorífico, análise microbiológica, espectrofotometria, difratometria de raios-X (DRX), espectrometria de fluorescência de raios-X (EDX), microscopia eletrônica de varrimento (MEV) e análises térmicas (TG, DTG e DTA). Após foi realizada a peletização do material e a gaseificação.

3.2.1 - ANÁLISE ELEMENTAR

A análise elementar de uma amostra é o conteúdo em porcentagem de massa de carbono (C), hidrogênio (H), enxofre (S), oxigênio (O), Nitrogênio (N) e material residual (cinzas) (A). É a característica técnica mais importante do combustível e constitui a base para análise dos processos de combustão, como cálculo dos volumes de ar, gases e

entalpia, determinando o poder calorífico do combustível (Biomassa para energia, 2008).

- A análise do carbono a amostra sofre combustão completa com oxigênio e o CO_2 produzido é capturado por um material absorvente e então pesado, permitindo o cálculo da massa de carbono;
- A análise do hidrogênio a amostra sofre combustão completa com oxigênio e o H_2O produzido é capturado por um material absorvente e então pesado, permitindo o cálculo da massa de hidrogênio;
- A análise de nitrogênio é feita com digestão ácida da amostra de biomassa para formar amônia e assim métodos químicos são utilizados para o cálculo da massa de nitrogênio;
- Análise do enxofre é feita por métodos químicos.

Foram realizadas quatro análises elementares da cama de aviário para determinação do conteúdo em porcentagem de massa de carbono (C), hidrogênio (H), enxofre (S), oxigênio (O), Nitrogênio (N) e material residual (cinzas) (A). Foram realizadas duas análises na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) no Laboratório de Caracterização Tecnológica (LCT) no Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo. Uma análise no Laboratório de Química da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), e uma análise no Instituto de Química (IQ) no Laboratório de Catálise da Universidade de Brasília (UnB). As análises seguiram as normas (E775, 777 778 e 870).

3.2.2 - ANÁLISE IMEDIATA

A análise imediata tem por objetivo quantificar os teores de umidade, voláteis (condensáveis e não condensáveis) e carbono fixo contidos numa amostra de biomassa. Até 2008, o Brasil não possuía normas para a realização de análise imediata em biomassa vegetal. Os ensaios seguem as normas brasileiras (ABNT) para carvão mineral

ou seguem a norma ASTM para madeira. Nas condições a seguir são indicadas ambas as normas.

Para a análise imediata foi usada a norma NBR 8112 para a quantificação da umidade, voláteis (condensáveis e não condensáveis) e carbono fixo contidos na amostra. As análises foram realizadas no Laboratório de Propriedades Físicas e Energéticas de Biomassa da Fazenda Água Limpa – UnB. Foram realizadas quatro etapas para o processo de análise. Na primeira etapa o material foi moído. Para a moagem do material foi utilizado um picador triturador forrageiro. Após o material ser moído ele foi classificado. A classificação do material foi feita com um agitador de peneiras para análises granulométricas. Após a classificação o material foi seco. Para a secagem do material foi utilizada uma estufa. Por fim foi realizada a análise do material.

- **Determinação do Teor de Voláteis**

O teor de voláteis é quantificado medindo-se a fração de massa da biomassa que volatiliza durante o aquecimento de uma amostra padronizada e previamente seca, em atmosfera inerte, até temperaturas de aproximadamente 850°C num forno mufla por 7 (sete) minutos. Após a extração dos voláteis, tem-se como resíduo o carbono fixo e as cinzas. O teor de voláteis é definido em base seca.

$$T_v = \left(\frac{m_2 - m_3}{m_2} \right) 100 \quad (3.1)$$

Onde o T_v é o teor de voláteis, m_2 é a massa da amostra antes do experimento e m_3 é a massa residual após o experimento, ambos em gramas.

- **Determinação do Teor de Cinzas**

As cinzas são resultantes da combustão dos componentes orgânicos e oxidação dos inorgânicos em um forno mufla sob rígido controle de massa, temperatura, tempo e atmosfera. Um grama de biomassa, já sem umidade e voláteis, é colocado num cadinho e levada ao interior de um forno. Sua temperatura é então elevada para 710°C, e nessa condição, fica por uma hora. Ao final, dentro do cadinho ficam somente as cinzas.

$$T_{cinzas} = \left(\frac{m_3 - m_4}{m_3} \right) \quad (3.2)$$

Onde T_{cinzas} é o teor de cinzas, m_3 é a massa da amostra antes do experimento e m_4 é a massa da amostra após do experimento, ambos em gramas. O teor de cinzas é expresso em base seca.

- **Determinação do Teor de Carbono Fixo**

O teor de carbono fixo representa, basicamente, a concentração de carbono embora contenha em pequenas quantidades outros elementos como enxofre, hidrogênio, nitrogênio e oxigênio. O teor de carbono fixo é obtido após a determinação dos teores de umidade, de matéria volátil e de cinzas.

$$T_{cf} = 100 - (T_v + T_{cinzas}) \quad (3.3)$$

Onde T_{cf} é o teor de carbono fixo.

3.2.3 - PODER CALORIFICO

O poder calorífico é definido como a quantidade de energia liberada na forma de calor durante a combustão completa da unidade de massa do combustível em Kj/Kg. O poder calorífico inferior só pode ser encontrado se for determinado o poder calorífico superior. Para a determinação do PCS dois métodos são possíveis, utilizando-se uma bomba calorimétrica ou através da análise elementar.

- **Poder calorífico superior por bomba calorimétrica (NBR 8633)**

O poder calorífico superior é determinado em base seca. O ensaio consiste em queimar 1g de uma amostra de biomassa seca e triturada e oxigênio em um ambiente fechado e mergulhado numa massa de água que possui sua temperatura monitorada. A quantidade de calor liberada pela combustão da amostra é absorvida pela água a qual tem sua temperatura elevada. Quando a temperatura da água estabiliza, a quantidade de calor é calculada pela expressão.

$$Q_r = m_{H_2O} * C * (T_{final} - T_{inicial}) \quad (3.4)$$

Onde m_{H_2O} é a massa de água, C é o calor específico da água e T_{final} e $T_{inicial}$ são as temperaturas iniciais e finais da água. Assumindo que a quantidade de calor absorvido pela água é igual ao calor de reação, e dividindo esse valor pela massa da amostra, obtém-se o PCS do combustível.

- **Poder calorífico superior por análise elementar**

O poder calorífico superior pode ser determinado com a ajuda dos resultados da análise elementar, conhecendo a fração mássica dos componentes da biomassa. Tillman, (1991) fez uma correlação para a madeira com um erro médio de 2,5%.

$$PCS = 437,1m_c - 1669,4 \quad (3.5)$$

Onde m_c é a fração mássica de carbono na biomassa de combustível seca em percentagem e o PCS é obtido em Kj/Kg de biomassa seca.

- **Determinação do poder calorífico inferior corrigido**

No caso da biomassa combustível, uma quantidade de água é trazida com o combustível, ou seja, a umidade do combustível. Como a umidade é considerada no cálculo e o valor do poder calorífico inferior é estimado, o poder calorífico inferior corrigido é calculado considerando-se a umidade na equação. O PCIc é calculado em função da umidade base úmida e do PCS.

$$PCI_s * m_{comb,s} = PCS * m_{comb,s} - (m)_{H_2O,r} + m_{H_2O,um} * h_{lv} \quad (3.6)$$

Onde PCI_s é o PCI da biomassa seca, $m_{H_2O,r}$ é a massa de água formada pela reação entre o hidrogênio do combustível e o oxigênio do ar, $m_{H_2O,um}$ é a massa de água trazida pela biomassa combustível e $m_{comb,s}$ é a massa de combustível seca e h_{lv} é a quantidade de calor para evaporar 1 grama de água.

$$PCI_c = PCI_s * (1 - \omega_{bu}) \quad (3.7)$$

Onde o PCI_c é o valor do poder calorífico inferior corrigido, PCI_s é o valor do poder calorífico inferior da biomassa seca e ω_{bu} é o valor da umidade em base úmida.

O poder calorífico foi realizado no Laboratório de Pesquisa em Polímeros, no Instituto de Química da Universidade de Brasília – UnB. Foi utilizado no experimento uma bomba calorimétrica. Para o cálculo do calor de combustão da amostra (H) foi usada a seguinte equação:

$$H = \frac{C\Delta T - e}{m} \quad (3.8)$$

Onde:

C = Calor de combustão da cama de aviário em calorias por grama;

m = Massa da pastilha da cama de aviário;

ΔT = Variação da temperatura. Diferença entre a temperatura inicial e final em °C;

e = Correção para o calor de combustão do fio de platina em calorias. Essa correção é necessária, pois o fio também é queimado durante a combustão e libera calor.

3.2.4 - ANÁLISE MICROBIOLÓGICA

A análise microbiológica é um tipo de análise para determinação qualitativa de diversas colônias de bactérias, leveduras e fungos. A análise foi realizada no Instituto de Química (IQ) da Universidade de Brasília (UnB) no Laboratório de Catálise.

3.2.5 - ESPECTROFOTOMETRIA

A espectroscopia de infravermelho (FTIR) é um tipo de espectroscopia de absorção a qual usa a região do infravermelho eletromagnético. É uma técnica que pode ser usada para identificar um composto ou investigar a composição da amostra. Este método se baseia no fato de que as ligações químicas das substâncias possuem frequência de vibrações específicas, as quais correspondem a níveis de energia da molécula. As frequências dependem principalmente da forma da superfície de energia potencial da molécula, da geometria molecular e da massa dos átomos (Baratone *et al.*, 1996). A

FTIR é uma técnica de análise para obter o espectro infravermelho mais rapidamente. A análise foi realizada no Instituto de Química (IQ) da Universidade de São Paulo (USP) na Central Analítica.

3.2.6 - DIFRATOMETRIA DE raios - X (DRX)

A difratometria de raios-X (DRX) é uma das principais ferramentas para a identificação das fases presentes nos materiais policristalinos. Sua aplicação é de fundamental importância no estudo de substâncias cristalinas em geral e de minerais, em particular. A técnica consiste na incidência da radiação em uma amostra e na detecção dos fótons difratados, que constituem o feixe difratado (Gomes, C. B., 1984). A análise foi realizada no Instituto de Química (IQ) da Universidade de Brasília (UnB) no Laboratório de Catálise.

3.2.7 - ESPECTROMETRIA DE FLUORESCÊNCIA DE raios - X (EDX)

O espectrômetro de fluorescência de raios-X determina quantitativamente os elementos presentes em uma determinada amostra. Isto é possível através da aplicação de raios x na superfície da amostra e a posterior análise dos fluorescentes raios x emitidos. É uma técnica não destrutiva (Skoog, D .A., Holler, F .J. and Nieman, T .A., 1998). A análise foi realizada na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), no Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo, no Laboratório de Caracterização Tecnológica (LCT).

3.2.8 - MICROSCÓPIA ELETRÔNICA DE VARRIMENTO (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) é um tipo de técnica capaz de produzir imagens de alta resolução da superfície de uma amostra. Devido à maneira com que as imagens são criadas, as imagens de MEV tem uma aparência tridimensional característica e são úteis para avaliar a estrutura superficial de uma dada amostra. O feixe de elétrons de alta energia incide na superfície da amostra onde, ocorrendo uma interação, parte do feixe é refletido e coletado pelo detector (Klauss, P). A análise foi realizada na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), no Departamento

de Engenharia de Minas e Petróleo, no Laboratório de Caracterização Tecnológica (LCT).

3.2.9 - ANÁLISES TÉRMICAS (TG, DTG E DTA)

A termogravimetria pode ser definida como um processo contínuo que mede a variação de massa (perda ou ganho) de uma substância ou material em função da temperatura e/ou tempo (Figura 4.3). Essa técnica é empírica e apresenta diferenças de acordo com a variação do equipamento e da amostra.

Na termogravimetria derivada, curvas da derivada da massa em função da temperatura (T) ou do tempo (t) são registradas. Assim, uma série de picos é obtida no lugar da curva degrau, onde a área abaixo dos picos é proporcional ao total de massa perdida pela amostra. A curva DTG permite a determinação da temperatura em que a velocidade de perda de massa apresenta um máximo. Os picos agudos (Figura 3.2) permitem distinguir claramente a perda de massa que muitas vezes não é diferenciada nas curvas de TG.

Análise térmica diferencial (DTA) é uma técnica que permite a medição da diferença de temperatura entre a amostra e uma substância inerte (referência), quando ambas são submetidas ao aquecimento ou ao resfriamento. Mudanças da temperatura da amostra são ocasionadas pelas transições ou reações entálpicas: endotérmicas ($\Delta H > 0$) ou exotérmicas ($\Delta H < 0$). Estas mudanças de temperatura ocorridas durante variações físicas (por exemplo, mudança do estado físico do material) ou químicas (por exemplo, oxidação do material) são detectadas pelo método diferencial em função da temperatura ou do tempo.

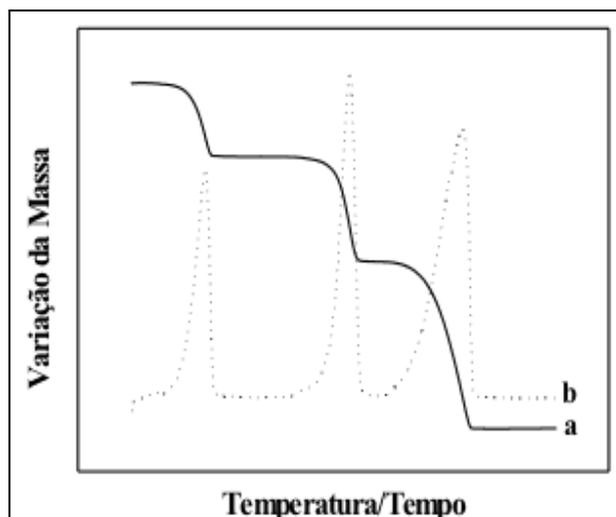


Figura 3.2 – Comparação entre as curvas de TG (a) e DTG (b).

3.3 - PELETIZAÇÃO DA CAMA DE AVIÁRIO

Peletização e briquetagem são processos de densificação energética da biomassa, transformando resíduo em combustível adensado. Existem inúmeras vantagens na densificação, entre elas, a facilidade do transporte e estocagem do combustível, o material é uniforme permitindo melhor controle da combustão e possuem densidade energética elevada (Quirino, 2007).

Na Tabela 3.1 é apresentado a densidade e poder calorífico dos resíduos e dos briquetes. A briquetagem é uma forma bastante eficiente para concentrar a energia disponível da biomassa.

Tabela 3.1 - Densidade e poder calorífico de resíduos e dos briquetes correspondentes. Fonte : IBAMA

Tipo de Resíduo	Densidade natural do resíduo (kg/m³)	Densidade do briquete (kg/m³)	Densidade à granel do briquete (kg/m³)	Poder calorífico (MJ/kg)
Palha de milho	33	910	550	14,95
Pó de serra	274	1220	570	20,43
Aparas de madeira	112	1116	565 - 615	20,10
Restos de compensado	132	830	560	18,52
Casca de arroz	150	1280	610	15,62
Bagaço-de-cana	180	1100	500 - 600	15,49

Conforme apresentado na tabela 3.1, 1 m³ de briquete contém pelo menos 5 vezes mais energia que 1 m³ de resíduos, levando-se em consideração a densidade do briquete e o poder calorífico médio desses materiais. Devido à dimensão a as grandes distâncias internas do país, o aspecto concentração energética assume também grande importância

(Quirino, W.F., 1991). Segundo o mesmo autor existem cinco tipos de equipamentos ou princípios básicos de compactação de resíduos:

1. Prensa Extrusora de Pistão Mecânico - Tecnologia desenvolvida desde o princípio do século ha tempos conhecida no mundo. Um pistão ligado excetricamente a um grande volante força o material a ser compactado por meio de um tronco de cone. No Rio Grande do Sul existe fábrica deste equipamento, a única do país.

2. Prensa Extrusora de Rosca sem Fim - Processo muito usado para resíduos, no exterior. Apresenta excelentes resultados. Seu princípio mecânico é semelhante as marombas da indústria cerâmica. É um equipamento de fácil manutenção a de investimento favorável se comparado aos outros tipos também produzidos no exterior (Kubinski, E.J., 1986).

3. Prensa Hidráulica - Equipamento que usa um pistão acionado hidraulicamente. O material a ser compactado é alimentado lateralmente por uma rosca sem fim. Uma peça frontal ao embolo abre a expulsa o briquete quando se atinge a pressão desejada. Não é um processo extrusivo e a pressão aplicada geralmente é menor que em outros métodos, produzindo briquetes de menor densidade. No entanto, é o processo com maior número de fabricantes na Europa. Não existe no Brasil este tipo de equipamento para compactar resíduos, que seria semelhante às máquinas de produzir comprimidos e pastilhas.

4. Peletizadora - É um equipamento que opera pelo processo extrusivo. É o princípio dos equipamentos de produção de ração animal, onde há necessidade de injeção de vapor para aquecer e corrigir a umidade. Estes equipamentos vêm sendo experimentados para compactação de resíduos com resultados razoáveis. Operando com bagaço, produz peletes de diâmetro igual a 10 mm X 30 a 40 mm de comprimento, densidade absoluta de $1,2 \text{ g/cm}^3$ a densidade a granel de 550 kg/m^3 . (Copersucar, 1983).

5. Enfardadeira - Como o próprio nome indica, o equipamento comprime a amassa o resíduo, elevando a densidade do bagaço de cana com 20% de umidade a 500 kg/m^3 . Não exige pré-secagem do material, o que permite a secagem posterior. No entanto, é

aconselhável o enfardamento após a secagem. É um equipamento já produzido no Brasil, usado para ração a enfardamento de bagaço de cana.

A diferença entre briquetes e peletes está nas suas dimensões e no processo de fabricação. O comprimento do briquete é de até cinco vezes o seu diâmetro e varia de 40 a 120 mm e o diâmetro do pelete varia de 4 mm a 10 mm. O pelete é mais produzido e usado em países desenvolvidos enquanto que o briquete é mais usado em países em desenvolvimento (Dias, 2002).

A peletizadora (Figura 3.3), prensa ou moinho granulador como também é conhecida, foi desenvolvida na década de 30 nos Estado Unidos com 2 objetivos:

- Adensar o produto para facilitar o armazenamento e o transporte;
- Garantir que em peletes, cada grânulo possua todos os ingredientes necessários a uma dieta balanceada dirigida aos animais. Evitando assim a recusa de alguns ingredientes. (Muito comum em rações fareladas).



Figura 3.3 - Máquina peletizadora. Fonte : Greenpeças.

O processo de peletização possui a vantagem de transformar um resíduo de baixa densidade em um resíduo de alta qualidade. Todos os tipos de resíduos orgânicos

podem ser peletizados necessitando apenas serem colocados numa granulometria e num teor de umidade adequados ao processo de peletização. O processo é dividido em três etapas:

- **ALIMENTADOR**

Trata-se de um transportador de rosca helicoidal responsável pela alimentação do condicionador da peletizadora. Acionado por motoredutor e operado através de inversor de frequência, é o alimentador que determina o ritmo de carga do equipamento.

- **CONDICIONADOR**

Composto de um eixo agitador, montado com paletas reguláveis, o condicionador é acima de qualquer definição um misturador contínuo, com possibilidade de através de aletas reguláveis, conseguir um tempo de residência maior ou menor do produto em contato com o vapor (calor e umidade).

É através do "distribuidor de vapor" que o vapor (fornecido geralmente por uma caldeira), entra no condicionador. Por seu formato semicircular e sua localização (na parte inferior do condicionador) o produto entra em contato com o vapor logo após sua entrada, obtendo assim uma mistura homogênea em textura, umidade e temperatura.

A quantidade e pressão de entrada do vapor a ser adicionado, dependem do produto a ser processado, bem como sua umidade relativa. O vapor funciona como um lubrificante que facilita o processo, podendo, quando bem utilizado, reduzir o desgaste por atrito e como consequência, gerar uma economia na troca de peças de reposição e no consumo de energia elétrica por tonelada peletizada. A qualidade nutricional do produto peletizado está intimamente ligada a qualidade de seu condicionamento.

- **CÂMARA DE PELETIZAÇÃO**

Nessa etapa que os peletes (Figura 3.4) se caracterizam. Isso ocorre quando o produto proveniente do condicionador é descarregado por uma bica e é prensado pelos rolos compressores contra a matriz.



Figura 3.4 - Cama de aviário peletizada.

Os principais fatores que influenciam a peletização são o correto condicionamento com vapor, a textura, a granulometria e o tamanho das partículas. Segundo Bezzon (1994), a compactação de descartes de madeira produz combustíveis sólidos de excelente qualidade.

Um estudo utilizando resíduos compostos dentre eles caroço de açaí, serragem e casca de cacau indicou briquetes com alto poder calorífico, quando o processo exigir uma boa eficiência energética do combustível, sem que, necessariamente se gaste em excesso os resíduos de maior valor energético, o que representa economia na realização do processo (Rodrigues, 2002). Assim, a produção de briquetes compostos pode aumentar a viabilidade da geração de energia a partir de resíduos de biomassa.

Cada país ou região explora os seus recursos mais abundantes e mais disponíveis. Os Estados Unidos procuram otimizar as reservas de petróleo junto aos países árabes, seja por meio de acordos comerciais, bilaterais ou ações bélicas. Os europeus voltam-se mais para as energias renováveis, entre eles países como Suécia e Finlândia ricos em biomassa de turfa e de coníferas, com uma cobertura nativa de coníferas com mais de 60% do território (Alakangas, 2002; Zakrisson, 2002; Hirsmark, 2002).

Alakangas (2002) mostra que o diferencial de mercado do pelete e do briquete na Finlândia além do menor preço é a sua condição ecológica. Yagy (2006) afirma que os benefícios dos peletes são a indução à redução do aquecimento global e mitiga a dependência dos combustíveis fósseis.

Os países nórdicos, principalmente Suécia e Finlândia que não tem hidroelétricas, são os que reúnem maior *know how* de produção e comércio em peletes e briquetes tanto de madeira como de carvão entre outros biocombustíveis sólidos. Nestes países em função do frio intenso, com menos radiação solar e lentidão de geração de biomassa em relação ao Brasil, existem em funcionamento plantas de co-geração elétrica movidas a combustíveis sólidos biomássicos como briquete e pelete (Bridgwater, 2007; Hirsmark, 2002; European pellet centre, 2007; Vapo, 20006).

Um estudo apresentou uma análise energética feita no bagaço de cana-de-açúcar, em diferentes níveis de umidade e graus de compactação no processo de briquetagem. Observou-se, pelos resultados obtidos, que o processo de briquetagem pode ser eficiente se respeitados alguns critérios de fabricação, entre eles umidade, grau de compactação (densidade) e granulometria do bagaço, bem como densidade energética do briquete produzido. Após sua confecção, o mesmo tem considerável aumento no valor energético comercial (Morais et al ; 2005).

Hoje o processo de peletização é muito utilizado dentro das fábricas de ração animal balanceada de todo o mundo por apresentar benefícios físicos, econômicos e nutricionais e é sem dúvidas, o processo de maior demanda de energia e capital dentro da cadeia de suprimentos e alimentação animal. A peletização também é utilizada para sementes pequenas de alto valor para incorporação de materiais benéficos como fungicidas, inseticidas dentre outros.

O estudo da viabilidade da compra de uma máquina peletizadora para o avicultor é necessário. Dentre os parâmetros mais importantes estão o mercado consumidor, ou seja a finalidade da cama de aviário peletizada e o custo de produção. A capacidade de produção de resíduos, no caso da avicultura, é a quantidade de cama de frango disponível para a peletização e a qualidade da cama de aviário como teor de umidade e sua capacidade de compactação, são outros fatores importantes. É necessário levar em consideração o custo ambiental, bem como o custo social e econômico da produção dos peletes.

Para a gaseificação foi necessário a peletização do material. Na primeira etapa os peletes foram produzidos de forma manual em uma prensa hidráulica na Universidade de Brasília (UnB) no Laboratório de Equipamentos Leves da Engenharia Mecânica (SG9) e um ensaio no gaseificador foi realizado com êxito. Na segunda etapa houve uma viagem de campo para a cidade de Chavantes no estado de São Paulo para avaliação de uma prensa peletizadora na produção e qualidade dos peletes. A visita foi realizada em duas empresas:

- Indústria e Comércio Chavantes;
- Indústria e Comércio Martelos Chavantes.

3.4 - SISTEMA DE GASEIFICAÇÃO E MOTOGERADOR

É recomendado que o teor de umidade do material a ser gaseificado esteja no intervalo de 8 e 20 %. Provavelmente é o fator mais importante a ser levado em consideração quando se estuda a viabilidade do aproveitamento do resíduo.

O teor de umidade é a medida da quantidade de água livre na biomassa e que pode ser avaliada pela diferença entre os pesos de uma amostra antes e logo após ser submetida à secagem a $105 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ e lá permanecem até que a massa da amostra permaneça constante. As amostras são preparadas conforme a NBR 6923 (Amostragem e Preparação da Amostra).

$$\omega_{bu} = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1} \right) 100 \quad (3.9)$$

Onde m_1 é a massa inicial da amostra medida em gramas e m_2 é a massa final da amostra, em gramas. A umidade dessa forma é em base úmida.

O teor de umidade é definido como a massa de água contida na biomassa. Uma das maiores preocupações na gaseificação é o teor de umidade da biomassa. O processo de gaseificação necessita de temperaturas superiores a 526.85°C e quanto maior o teor de umidade mais energia para iniciar o processo (Reed e Gauer, 2001). O teor de umidade pode ser apresentado em base seca ou base úmida.

Teor de umidade na base úmida é calculado por:

$$\omega_{bu} = \frac{m_{H_2O}}{m_{H_2O} + m_{bio\ sec\ a}} (\%bu) \quad (3.10)$$

Onde ω_{bu} é o teor de umidade base úmida, m_{H_2O} é a massa de água contida na amostra e $m_{bio\ sec\ a}$ é a massa de biomassa seca.

Teor de umidade na base seca é calculado por:

$$\omega_{bs} = \frac{m_{H_2O}}{m_{bio\ sec\ a}} (\%bs) \quad (3.11)$$

Onde ω_{bs} é o teor de umidade base seca, m_{H_2O} é a massa de água contida na amostra e $m_{bio\ sec\ a}$ é a massa de biomassa seca.

O sistema de gaseificação utilizado para o presente estudo é de leito fixo do tipo co-corrente estratificado (topo aberto) e sistemas auxiliares (Figura 3.5).

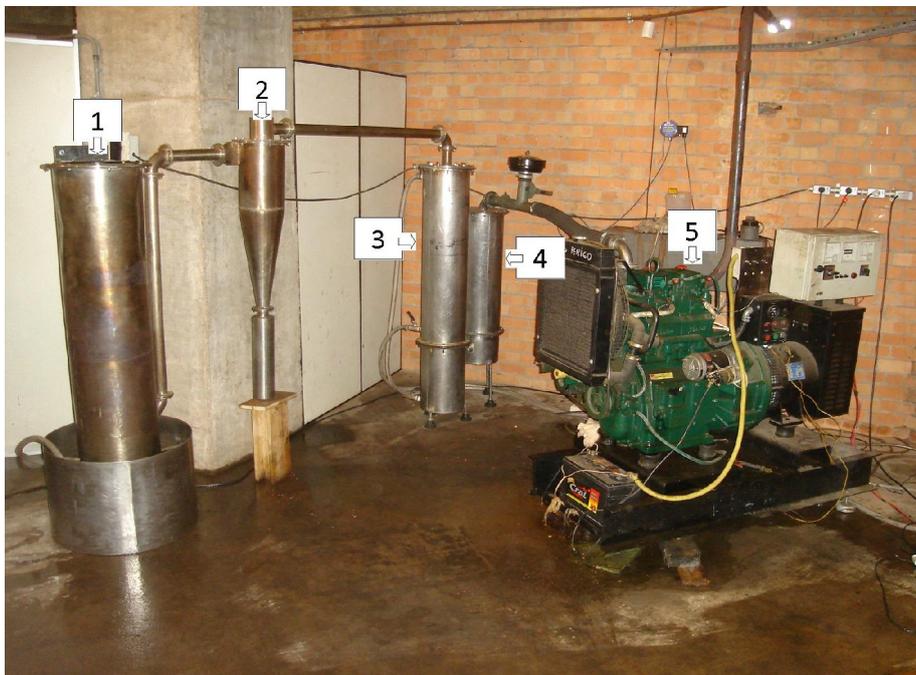


Figura 3.5 - Sistema de gaseificação (Lea – UnB).
1 – Reator; 2 – Ciclone; 3 – Trocador de calor; 4 – Filtro de limpeza; 5 – Motogerador.

Basicamente, o processo pode ser dividido em três etapas: a geração de gás ou a gaseificação propriamente dita, a limpeza do gás e, por fim, a queima deste. Após o

reator tem-se o sistema de limpeza de material particulado. Na fase seguinte o gás é resfriado em um trocador de calor. O trocador de calor possui um tanque para armazenar os condensáveis e o acesso aos tubos é facilitado para permitir manutenção sistemática do equipamento. Por fim tem-se um elemento filtrante, cujo interior é carregado com a biomassa disponível, cujo tamanho de partícula deve ser apropriado para esta fase. Após algum tempo esta biomassa deve ser substituída. A biomassa utilizada pode ser consumida no próprio reator de gaseificação.

O grupo motogerador onde foram realizados os ensaios utiliza um motor Diesel Kirloskar modelo DM-20, de fabricação indiana com as seguintes características:

- Cilindros/disposição: 2 cilindros em linha;
- Válvulas: 2 por cilindro, no cabeçote;
- Comando de válvulas: lateral no bloco;
- Diâmetro x curso: 100 mm x 120 mm;
- Cilindrada total: 1.884 cm³;
- Taxa de compressão: 17.0:1;
- Potência: 23,0 cv (16,9 kW) a 1.800 rpm;
- Refrigeração: a água, circuito fechado, bomba centrífuga;
- Lubrificação: óleo, com bomba tipo diafragma;
- Admissão: aspiração natural;
- Injeção de combustível: bomba injetora mecânica de controle automático de rotação.

O gerador elétrico (Heimer do Brasil LTDA) acoplado ao motor Kirloskar possui as seguintes características:

- Modelo: GEHK-18;
- Tensão e Frequência de saída: 220 V (corrente alternada) e 60Hz;
- Rotação de trabalho: 1.800 rpm;
- Potência máxima fornecida: 12,5 kW.

Para efetuar os testes de simulação de carga foi utilizado um grupo moto gerador, com um banco de resistências e entre o gerador elétrico e o banco de resistências foi instalado um medidor de potência.

O consumo de óleo combustível foi medido por uma balança de precisão e o consumo médio de biomassa por meio do controle da coluna de biomassa no reator de gaseificação (co-corrente, topo aberto) e uma balança eletrônica de precisão. Uma sonda do analisador de gases foi colocado no cano de descarga para analisar os gases resultantes do processo..

Na emissão, os gases analisados foram o monóxido de carbono (CO), o dióxido de carbono (CO₂), o oxigênio (O₂), os hidrocarbonetos (HC) e o oxido nitroso (NOx) com o motor funcionando somente com óleo Diesel e com o gás da cama de aviário juntamente com óleo Diesel. Na figura 3.6 é apresentado um esquema ilustrativo da bancada.

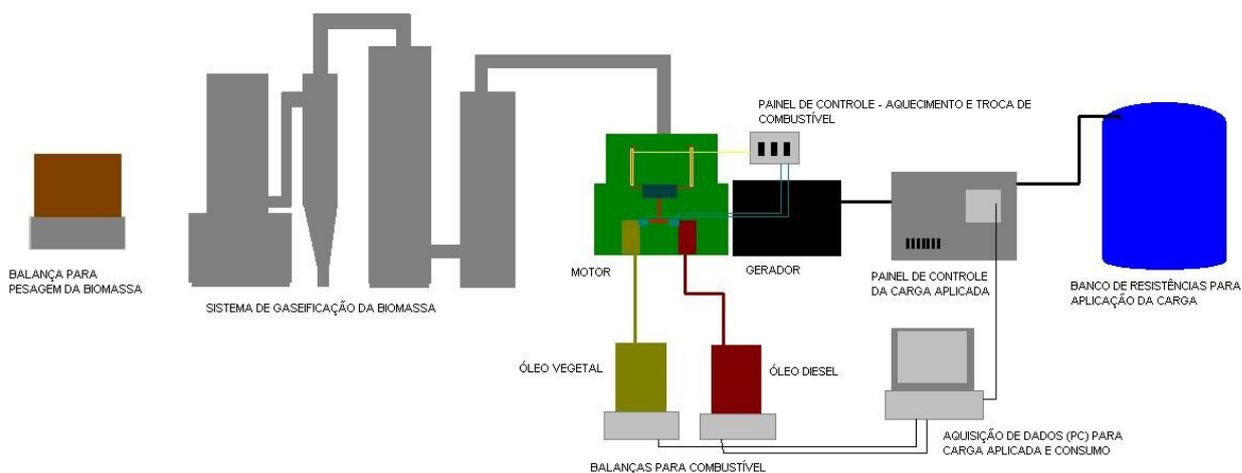


Figura 3.6 – Detalhamento ilustrativo da bancada de ensaio (Lea – UnB). Fonte : Veras *et al.*

3.5 - ANÁLISES DAS CINZAS

Por fim foi realizada a análise química das cinzas (Figura 3.7) resultantes do processo de gaseificação, dentre essa análises estão à análise microbiológica, espectrometria de fluorescência de raios-X (EDX), análise elementar de Carbono, Nitrogênio e Hidrogênio (CHN), difratometria de raios-X (DRX) e análises térmicas (TG, DTG e DTA). Todas as análises das cinzas foram realizadas no Instituto de Química (IQ) no Laboratório de Catálise da Universidade de Brasília (UnB).



Figura 3.7 - Cinzas resultantes da gaseificação.

As cinzas são resíduos da combustão, compostas por óxidos que se apresentam normalmente no estado sólido à temperatura ambiente. A combustão se processa a elevadas temperaturas e o conhecimento do comportamento das cinzas é necessário para evitar inconvenientes provocados por operações inadequadas e orientar na escolha dos materiais refratários. A composição química das cinzas permite avaliar o seu comportamento em relação aos seguintes aspectos:

- Ataque aos refratários - Os materiais refratários que entram em contato com a cinza devem ter baixa porosidade, pois as cinzas alojadas nos poros, ao se dilatarem, provocam rachaduras nas superfícies do mesmo. O ataque químico pode ser evitado ao escolher refratários com comportamento químico semelhante ao das cinzas;
- Amolecimento e fusão das cinzas – O ensaio de fusibilidade determina a temperatura inicial e final de amolecimento das cinzas e pode ser determinada através de equações empíricas. Os processos de combustão com temperaturas superiores ao ponto de amolecimento da cinza podem propiciar a aglomeração de material particulado que geralmente inviabilizam a continuidade do processo ou reduzem a eficiência da troca de calor no equipamento;
- Sublimação de compostos – Os óxidos alcalinos Na_2O e K_2O , diferem dos demais óxidos, pois uma boa parte dos mesmos se volatiliza durante a combustão, e condensa-se em temperaturas em torno de 760°C . Ao condensar-se nas superfícies mais frias do equipamento aglutinam as cinzas volantes, propiciando corrosão e redução da taxa de transferência de calor nessas superfícies.

3.6 - ANÁLISE ECONÔMICA

A análise econômica de projetos de energia é de fundamental importância para o planejamento energético e para a tomada de decisões no setor de energia (Carvalho, 2002). A elaboração de uma metodologia para a análise de projetos envolve as áreas de administração, engenharia e economia e permite saber a viabilidade tecnológica do

projeto. Assim, segundo a equação 3.12 é calculado o custo/benefício do kW para a geração de energia elétrica com a cama de aviário.

$$C / B = \frac{PEC}{\eta \cdot PCI} + CEM - VES + \left(I \cdot i + \frac{(I - R) \cdot i}{(1 + i)^{\frac{v}{FC}} - 1} \right) \cdot \frac{1}{FC \cdot PI \cdot 8760} \quad (3.12)$$

- C/B – É a relação Custo Benefício em (R\$/kWh);
- PEC – É o Preço Específico do Combustível em (R\$/kg);
- η - É o Rendimento do Equipamento Gerador de Energia;
- PCI - É o Poder Calorífico Inferior do Combustível em (kWh/kg);
- CEM - É o Custo de Manutenção Específico em (R\$/kWh);
- VES - É o Valor do Subproduto Específico em (R\$/kWh);
- I - É o investimento inicial em (R\$);
- i - É a taxa de juros [a.a];
- R - É o Valor Residual em (R\$);
- v - É a vida útil (anos);
- FC - É o Fator de Capacidade Energia;
- PI - É a Potência Instalada em (kW).

A relação C/B é uma estimativa. Os valores foram consultados em algumas empresas atuantes no mercado para cada finalidade. Essa metodologia é especialmente adequada para a avaliação econômica de projetos de energia e permite uma fácil comparação das alternativas consideradas.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - CARACTERIZAÇÃO DA CAMA DE AVIÁRIO E CINZAS

A cama de aviário utilizada no estudo era composta de maravalha (cepilho de madeira), dejetos da atividade avícola, restos de ração, penas e insetos.

A partir da análise elementar foi possível determinar carbono, hidrogênio, nitrogênio, enxofre, fósforo, dentre diversos metais. Quatro análises foram realizadas com a cama de aviário *in natura* e as cinzas resultantes do processo de gaseificação. Os resultados são apresentados na tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Análise elementar da cama de aviário *in natura*

Análise Elementar	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)	O (%)	Cinzas
1	39,52	5,57	1,18	2,22	34,79	16,72
2	39,61	5,63	1,01	2,08	35,08	16,59
3	36,34	5	3,09	2,53	35,54	17,5
4	34,64	4,82	4,14	2,43	37,35	16,62
Média	37,53	5,26	2,36	2,32	35,69	16,86

A cama de aviário, por ser um material polidisperso e possuir na sua composição outros materiais além da serragem, dentre eles dejetos e penas das aves e ração, apresentou um valor inferior de carbono quando comparado à madeira ou serragem pura que possuem em torno de 50% de carbono. Quando comparada à casca de arroz que possui em torno de 38% de carbono, valor baixo, devido em parte, ao alto teor de cinzas, 17,89%, segundo Jenkins (1990), o valor encontrado foi semelhante.

O valor encontrado para o enxofre foi alto quando comparado ao carvão vegetal, entre 0,03 a 0,1% e ao carvão mineral 0,3 a 2,2%, a casca de soja (0,34%), casca de macadâmia (0,21%), casca de arroz (0,01%) e a casca de grão de café (0,22%) (Silva *et al*, 2005).

Os resultados observados da cama de aviário *in natura* a partir da análise de EDX estão descritos abaixo:

Tabela 4.2 - Análise EDX de laboratório da cama de aviário *in natura*

Elemento	Cama de aviário (%)
CaO	41,19
K ₂ O	22,47
P ₂ O ₅	14,75
SO ₃	9,23
MgO	7,75
Fe ₂ O ₃	1,29
SiO ₂	1,27

A partir destes resultados pode-se observar um alto teor de potássio, fósforo e cálcio. Em função destas quantidades, a cama aviária tem sido extensivamente usada na agricultura como adubo. Souza et al (2002) usou húmus de minhoca com cama de aviário na cultura do tomate e observou um maior comprimento de parte aérea e um maior peso seco de parte aérea e de raiz quando comparado ao adubo comercial Plantmax.

Em contrapartida, não se recomenda utilizar a cama de aviário como adubo por apresentar uma alta carga microbiana (*Salmonella*) a qual não assegura condições sanitárias para seu manejo. Por isso, há estudos na literatura para que haja a redução desta carga microbiana para que possa ser reutilizada. A fermentação é o método mais empregado, pois reduz substancialmente esta carga.

Foi observado o desenvolvimento de diversas colônias de bactérias, leveduras e fungos na cama de aviário *in natura*. Nas cinzas, não houve desenvolvimento microbiano.

O teor de cinzas apresentou um valor maior quando comparado a espécies madeiras como o cedro, maçaranduba, sapucaia, timborana e eucalipto que possuem no máximo 2,5% de teor de cinza (Netto et al, 2006). Comparado à casca de arroz o valor encontrado foi menor. Uma possível causa do teor de cinzas da cama de aviário ser maior quando comparada a espécies madeiras é a possível presença de partículas de solo misturadas com serragem, dejetos, ração, penas e insetos na sua composição e isso ocorre na retirada do produto do aviário.

A combustão se processa em uma elevada temperatura e o conhecimento do comportamento das cinzas nessas condições é importante para evitar possíveis inconvenientes como o ataque de refratários e fusão das cinzas. A composição das cinzas consiste em basicamente fases minerais as quais o ponto de fusão foi determinado e se encontra entre 1540 °C e 1800 °C (Bärnthaler et al; 2006). Por isso, as cinzas continuam existindo mesmo após o processo de gaseificação. Em função disso, as cinzas foram analisadas por EDX, CHN, DRX, TG e calorimetria. Os resultados de EDX foram os seguintes:

Tabela 4.3 - Análise EDX de laboratório das cinzas da cama de aviário

Elemento	Cinzas (%)
CaO	30,37
P ₂ O ₅	22,3
K ₂ O	20,84
MgO	10,22
SO ₃	4,31
Cl	4,19
SiO ₂	3,77
Fe ₂ O ₃	2,1

Este material pode ser usado como fertilizante. Uma das causas do alto teor de cinzas e resíduo após queima direta se deve à presença dos óxidos com hipótese de que a cama de aviário apresenta partículas de solo na sua composição.

Os resultados de CHN foram os seguintes:

Tabela 4.4 - Análise CHN de laboratório das cinzas da cama de aviário

Elemento	Cinzas (%)
C	15,2
H	1,3
N	0

Com estes resultados pode-se concluir que as cinzas da cama de aviário podem ser utilizadas também como fertilizantes. Dessa forma, pode-se considerar a gaseificação como bastante eficaz para a eliminação de carga microbiana.

A análise imediata se caracteriza pela porcentagem de voláteis, teor de cinzas e carbono fixo. Quatro análises foram realizadas e seus resultados podem ser observados na tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Análise imediata de laboratório da cama de aviário *in natura*

Nº Cadinho	(%) Voláteis	Teor de Cinzas (%)	Carbono Fixo (%)
1	74,75	16,60	8,65
2	76,45	14,75	8,80
3	75,25	16,72	8,02
4	75,90	15,82	8,27
Média	75,59	15,98	8,43

Quando comparada com algumas espécies madeireiras a porcentagem de voláteis encontrada foi semelhante. O cedro, a maçaranduba, a sapucaia, a timborana e eucalipto possuem valores de voláteis entre 79 a 84% (Netto *et al*, 2006). Entretanto, o teor de carbono fixo da cama de aviário foi inferior ao apresentado pelas referidas espécies (teor de carbono fixo variando de 15 a 20%) o que pode estar associado ao valor superior do teor de cinzas exibido pela cama de aviário em função da sua composição.

As curvas termogravimétricas mostraram uma diminuição inicial na massa das amostras de 19,03% para a cama aviária *in natura*, devido à liberação de umidade remanescente e compostos orgânicos voláteis nas amostras. Três eventos térmicos são observados durante a pirólise da biomassa. Os dois primeiros são ligados à queima de biomassa, primeiramente a perda de umidade remanescente e a perda de matéria orgânica (somente *in natura*, pois nas cinzas não foi observado) enquanto o terceiro evento ocorreu em a temperatura mais elevada, relacionada à perda de fase mineral pelo ponto de fusão. A temperatura de degradação da biomassa diminuiu com o aumento do teor de matéria orgânica e isso pode ser explicado devido à decomposição massiva de biocombustíveis. Em função disso, a fração mineral apresentou uma relação linear entre o rendimento e a proporção de matéria orgânica, o que sugere ausência de efeitos sinérgicos entre estas duas frações.

A perda de massa da cama aviária *in natura* foi de 78,94% e ocorreu em temperaturas menores que 800 °C Nesta gama de temperaturas, além da liberação de CO₂ ocorreram outros fenômenos, como a perda de matéria orgânica e umidade remanescente. A perda

de massa total da cama aviária *in natura* foi de 82,41% até 1000 °C. Primeiramente, a liberação de água ocorre em até 150 °C. Em seguida, uma perda de massa entre 150 - 600 °C, associada à quantidade de matéria orgânica, a qual corresponde a uma perda de 73,21%. Finalmente, a perda de massa a 600-800 °C se deve à decomposição do carbonato de cálcio (CaCO₃), a qual corresponde a uma perda de 3,25% da massa total. Em temperaturas superiores a 800 °C, uma perda de massa de 2,34% ocorre e está relacionada à perda de material mineral. Três picos endotérmicos podem ser encontrados em 64,27 °C (compostos orgânicos de baixo peso molecular), 95,94 °C (água) e 158,26 °C (matéria orgânica) e três picos exotérmicos em 271,67 °C, e em 455,56 °C relacionados à combustão da matéria orgânica. Outro em 671,12 °C relacionado à decomposição do CaCO₃, conforme figura abaixo:

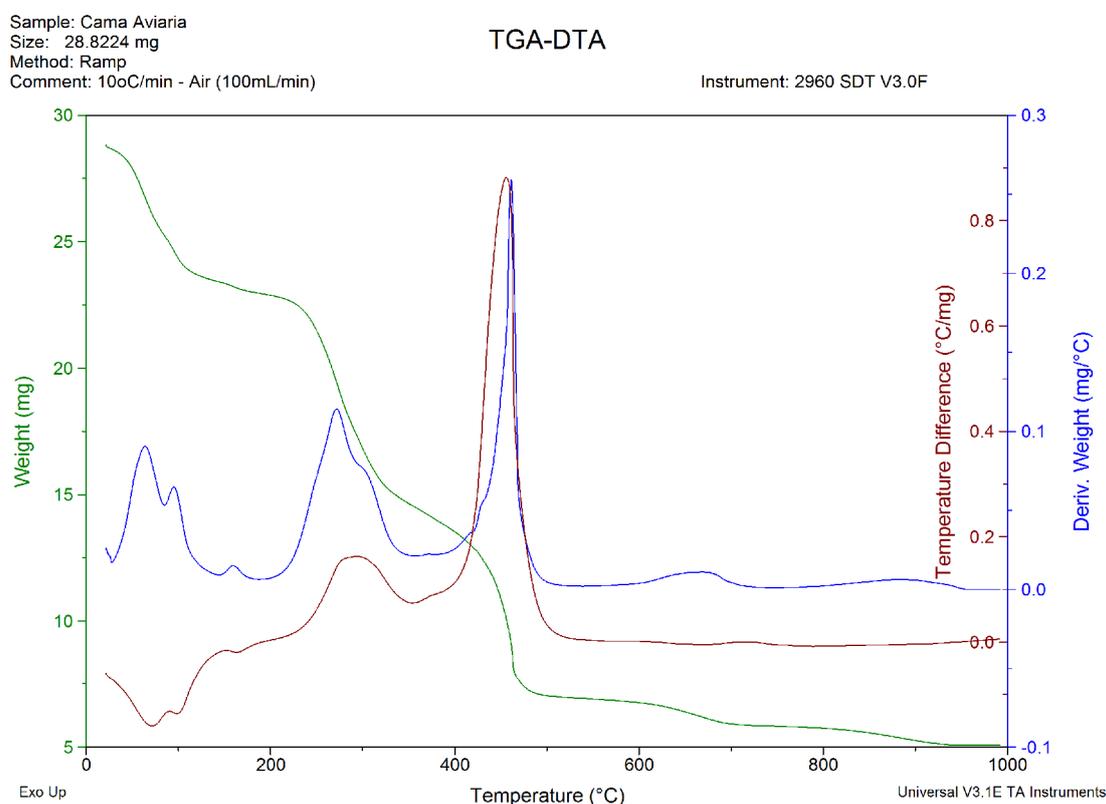


Figura 4.1 - Curvas de TG (verde), DTG (azul) e DTA (marrom) para a cama aviária *in natura*.

A perda de massa total das cinzas até 1000 °C foi de 12,07%. A perda de massa até 150 °C foi de 0,67%, relacionada à água. De 150 °C até 600 °C, a perda de massa foi de 2,85%, relacionada à matéria orgânica remanescente. Na temperatura acima de 600 °C até 1000 °C ocorreu uma perda de massa de 8,61% relacionada à decomposição de matéria inorgânica. Quatro picos exotérmicos foram encontrados, um em 359,38 °C, e

em 440,23 °C relacionados à decomposição de matéria orgânica remanescente, outro em 655,80 °C devido à decomposição de carbonatos e o último em 934,80 °C relacionado à decomposição de alguns óxidos de metais alcalinos. Ainda, pode-se verificar a decomposição acima de 1000 °C, porém esta se encontra além do limite de detecção do equipamento. As decomposições se encontram conforme figura abaixo:

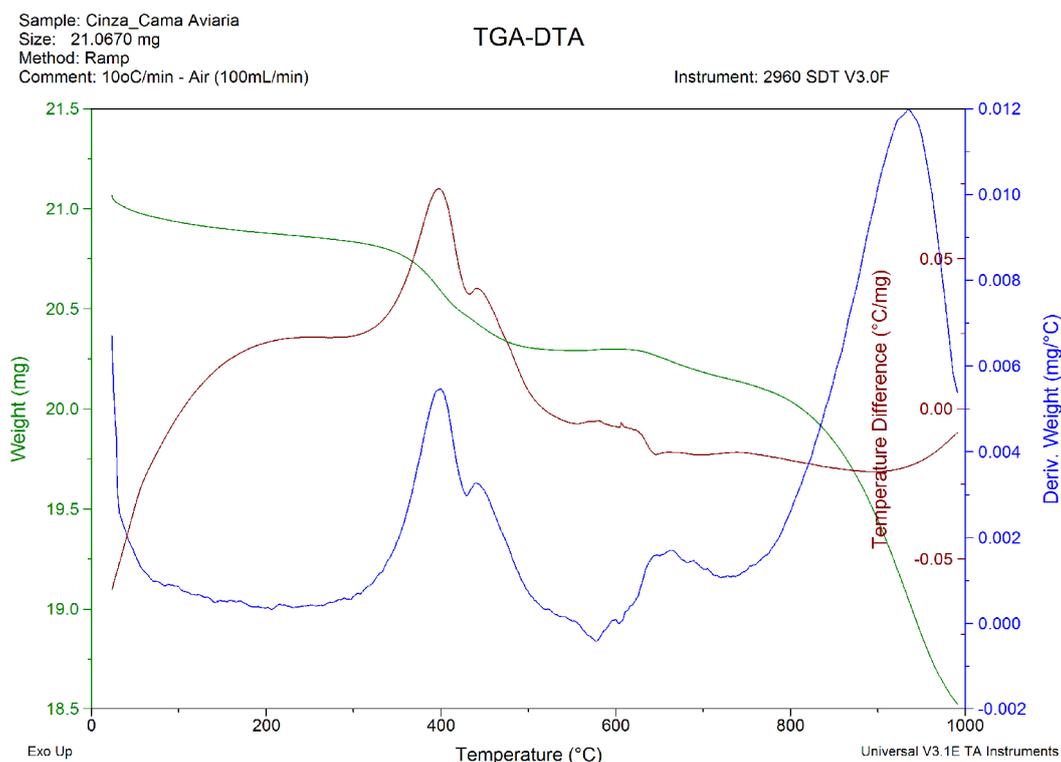


Figura 4.2 - Curvas de TG (verde), DTG (azul) e DTA (marrom) para as cinzas resultantes da gaseificação da cama aviária.

O poder calorífico é a quantidade de energia liberada na forma de calor durante a combustão completa. Para estimar este parâmetro foram feitas quatro análises empregando bomba calorimétrica. Os valores do poder calorífico superior podem ser observados na tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Poder calorífico superior da cama de aviário

Poder Calorifico	H (MJ/kg)
1	13,37
2	13,46
3	13,58
4	13,60
Média	13,50

Os resultados são comparáveis aos encontrados por Dagnall *et al.*, (2000) para cama de aviário (9 a 13 MJ/kg). Segundo esse autor, o valor do poder calorífico deste resíduo depende da composição da cama de aviário.

A espectroscopia de infravermelho (FTIR) é uma técnica que pode ser usada para identificar um composto ou investigar a composição da amostra. O espectro da cama de aviário é apresentado na figura 5.3.

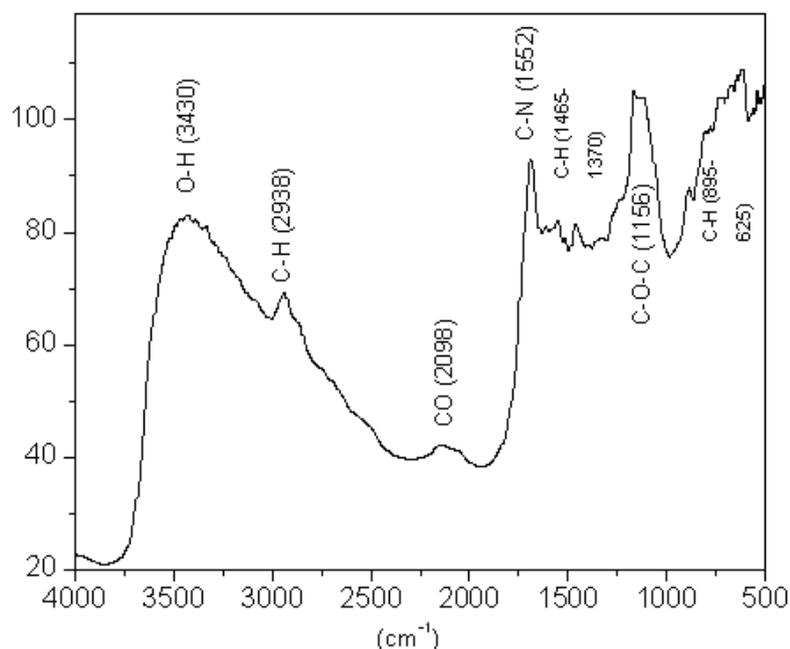


Figura 4.3 - Espectro (FTIR) da cama de aviário.

A análise, as bandas observadas representa a frequência correspondente às ligações dos grupos funcionais característicos, identificados na figura acima. A banda em 3500 cm^{-1} é característica do grupo hidroxila (OH), o qual indica a presença de água na matéria. Pela figura da análise térmica da amostra, Figura 5.1, pode-se observar que há um teor de 19,06% de água na amostra de cama aviária *in natura*. As bandas em 2938 e 2098 cm^{-1} são características de ligações O-H e C-H, característico de compostos orgânicos oxigenados (aldeídos, ácidos carboxílicos, cetonas, dentre outros.). Na faixa de 895 a 625 cm^{-1} , pode-se observar bandas relacionadas a estiramentos próprios de óxidos como P_2O_5 , SiO_2 , CaO e Fe_2O_3 . Ainda, nesta faixa pode-se observar estiramentos característicos a frequência de ligações C-H. Dessa forma, pode-se constatar a presença de matéria orgânica, a qual liberará energia após a sua gaseificação e queima direta.

O espectro de infravermelho das cinzas após o processo de gaseificação apresentou apenas picos característicos de óxidos, principalmente de P_2O_5 , CaO , MgO e Fe_2O_3 . Ainda, uma banda de baixa intensidade em 3500 cm^{-1} é característica do grupo Hidroxila (OH) (presença de água), uma vez que pela análise térmica foi possível verificar uma pequena hidratação de 0,67%.

A presença dos óxidos identificados na análise indica que estes não são potenciais poluidores do solo e que podem servir como adubo. A quantidade de oxigênio é a maior junto com a quantidade de carbono o que está comprovado na análise elementar. A quantidade de teor de carbono presente no material é importante favorecendo o processo de gaseificação.

A difratometria de raios-X (DRX) foi utilizada para identificar se o material é cristalino ou amorfo. O resultado se encontra na figura 4.4.

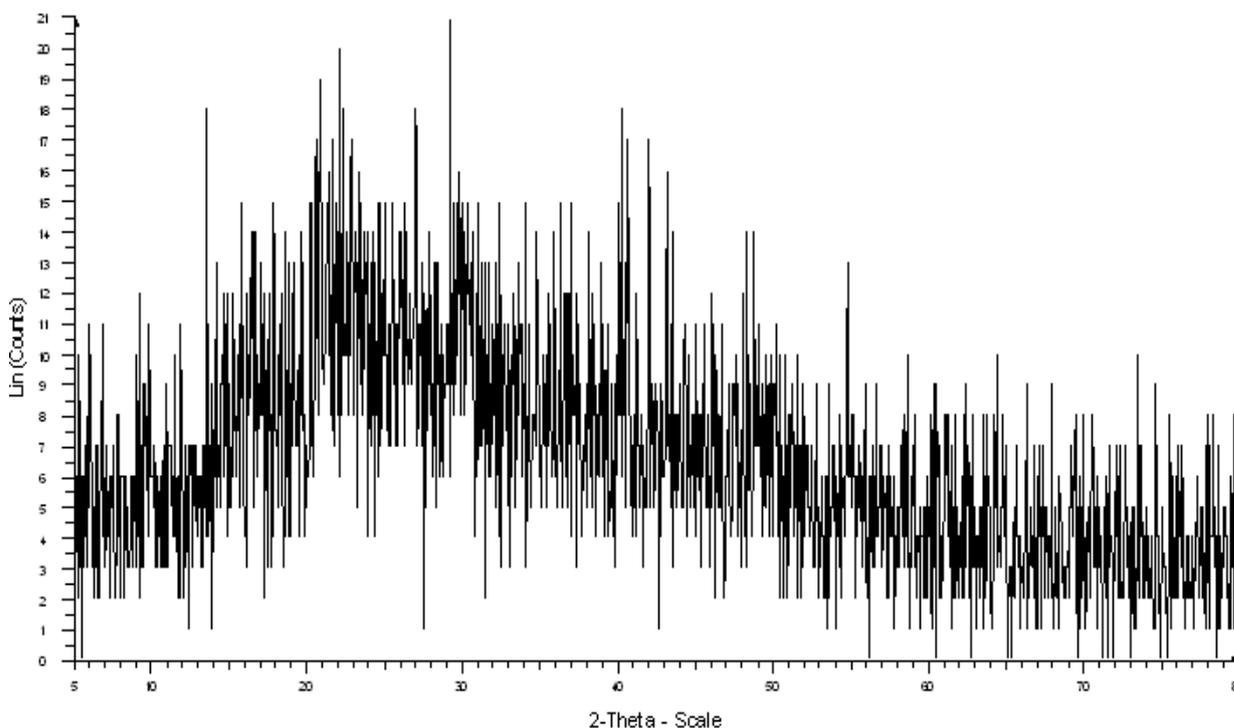


Figura 4.4 - Difratometria de raios-X.

A análise DRX obtida foi extremamente ruidosa e não apresentou nenhum pico correspondente a amostra cristalina. Isso porque o material *in natura* se apresenta como um material amorfo, não havendo uma cristalinidade característica em função de haver

material orgânico agregado a estes óxidos que geram cristalinidade, o que ocasiona este tipo de difratograma amorfo.

A Figura 4.5 mostra o difratograma das cinzas. Nesta figura é possível observar que o material apresenta uma cristalinidade relacionada a picos característicos de CaO, P₂O₅, K₂O, MgO e SiO₂, óxidos mais abundantes nas cinzas. O difratograma do resíduo de queima direta das cinzas foi similar e está diretamente relacionado à presença destes materiais.

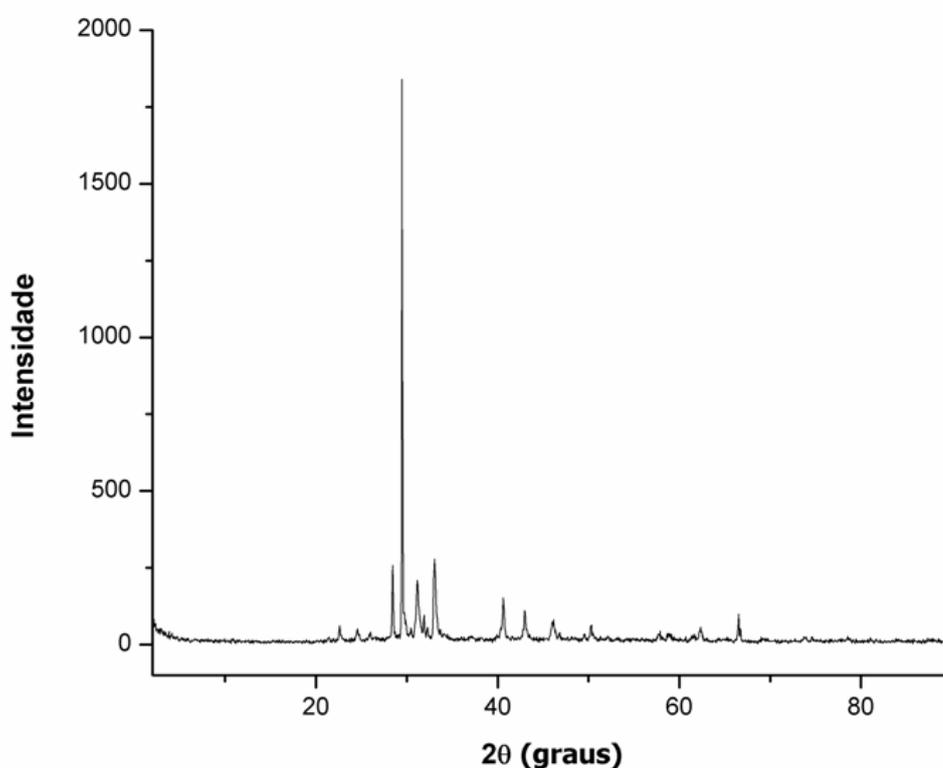


Figura 4.5 - Difratometria de raios-X das cinzas resultantes da gaseificação da cama de aviário.

O microscópio eletrônico de varredura (MEV) produz imagens de alta resolução da superfície de uma amostra. Nas figuras 4.6 e 4.7 são apresentadas figuras da cama de aviário *in natura* aumentadas 50 vezes e 1.000 vezes, respectivamente.

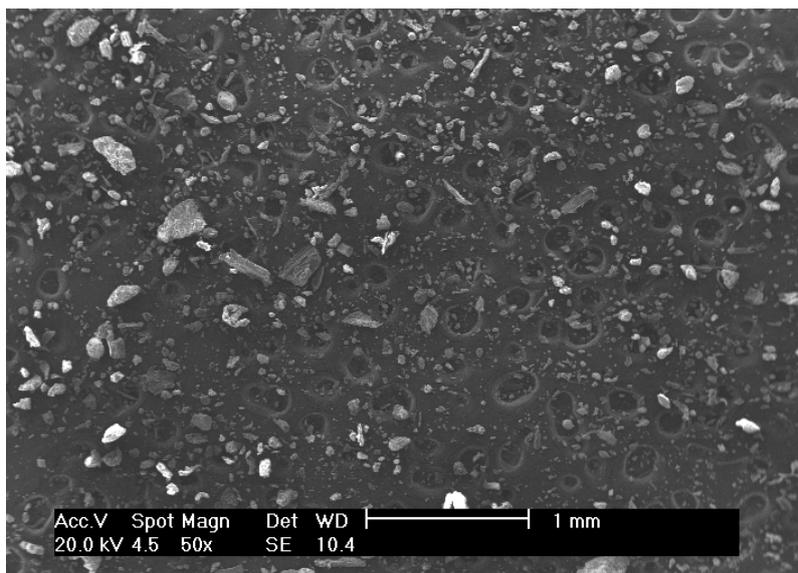


Figura 4.6 - Cama de aviário com magnitude de 50 vezes.

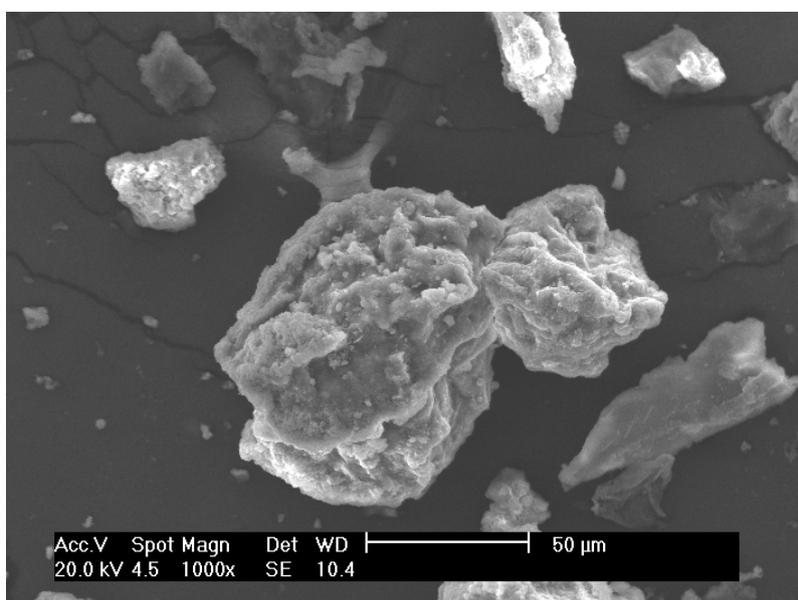


Figura 4.7 - Cama de aviário com magnitude de 1000 vezes.

A partir das figuras acima, pode-se observar uma grande heterogeneidade da amostra em função de sua composição. Estes aglomerados heterogêneos são característicos de material orgânico.

A cama de aviário por ser um material polidisperso possui composição variada, é porosa e sua estrutura é fina (Figura 4.8). Com esta estrutura sua densidade energética é baixa, foi necessário efetuar a peletização (densificação) do resíduo a fim de aumentar sua densidade energética. Os peletes foram produzidos em uma máquina peletizadora.



Figura 4.8 - Cama de aviário *in natura* e peletizada.

Os peletes se caracterizam por possuir um comprimento de 22 mm e um diâmetro de 8 mm. Após o processo de peletização foi realizado o cálculo da densidade a granel, a densidade do pelete e a densidade da cama de aviário *in natura* apresentados na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Densidade da cama de aviário *in natura* e peletizada

Material	Densidade (kg/m ³)
Cama de frango <i>in natura</i>	287,07
Pelete cama de aviário a granel	523,1
Pelete cama de aviário	1143

A densidade da cama de aviário *in natura* foi da ordem de 287,07 kg/m³, um valor 1,82 vezes inferior ao encontrado com a cama de frango peletizada a granel que foi da ordem de 523,1 kg/m³. Essa densidade a granel da cama de aviário peletizada apresenta um valor superior ao encontrado quando comparado ao caroço do açaí (240 kg/m³) e à fibra de coco (282 kg/m³) (Netto et al , 2006).

O alto valor da densidade do granel dos peletes da cama de aviário pode ser explicado pelo tamanho e formato dessas partículas, que promovem melhor arranjo e compactação no recipiente. A densidade do pelete foi da ordem de 1143 kg/m³, um valor semelhante ao do endocarpo da macaúba 1161 kg/m³ e do endocarpo do babaçu 1085 kg/m³.

4.2 - GASEIFICAÇÃO DA CAMA DE AVIÁRIO

Para baixas potências o reator do tipo co-corrente é bastante indicado pelo alto poder de quebra dos hidrocarbonetos condensáveis (alcatrão). Para operar a contento o reator

precisa ser muito bem dimensionado e alguns meios devem ser providenciados para que o leito se mantenha homogêneo.

É recomendado que o teor de umidade do material a ser gaseificado esteja no intervalo de 8 e 20 %. Provavelmente é o fator mais importante a ser levado em consideração quando se estuda a viabilidade do aproveitamento do resíduo. As amostras foram secas em estufa a $105 \pm 2^\circ \text{C}$, até que a massa permanecesse constante. O teor de umidade encontrado foi de 17%, que está no intervalo recomendado.

Foi realizado um ensaio de longa duração e os parâmetros observados foram o consumo de Diesel com e sem o gás de síntese proveniente da cama de aviário peletizada e o consumo da cama de aviário peletizada para as cargas de 2, 4, 6 e 8 kW. Os resultados se encontram na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 - Consumo de Diesel e da cama de aviário peletizada no processo de gaseificação

Parâmetros	Potência			
	2 kW	4 kW	6 kW	8 kW
Consumo de Diesel (l/h)	2,13	2,34	2,9	3,5
Consumo de Diesel com gás (l/h)	1,34	1,48	1,85	2,28
Consumo de biomassa (kg/h)	3,45	7,22	11,3	17,55

Com base nos dados da Tabela 4.9 foi confeccionado uma figura comparando o sistema funcionando com óleo Diesel e com gás de síntese da cama de aviário.

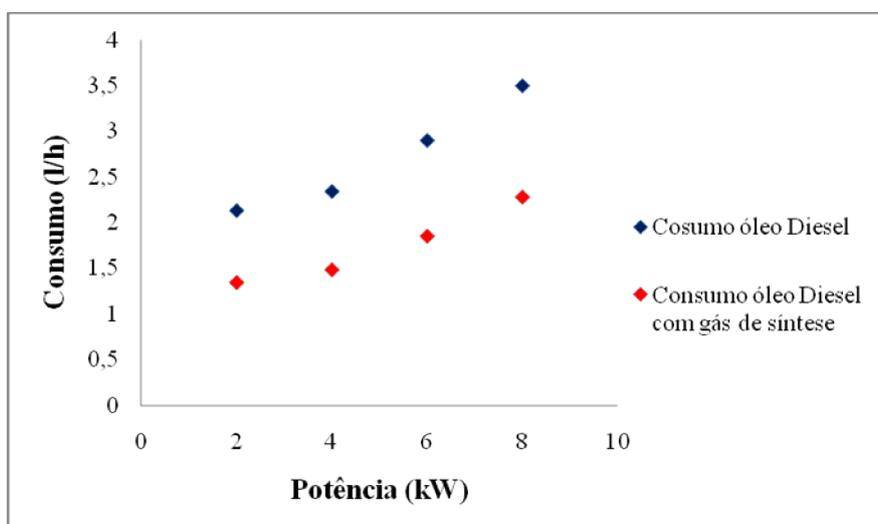


Figura 4.9 - Consumo (l/h) versus Potência (kW).

A economia no consumo de óleo Diesel foi da ordem de 36,22 % com o motor funcionando com gás proveniente da cama de aviário. O valor foi inferior ao encontrado para aos testes realizados com o endocarpo da macaúba e babaçu que foram da ordem de 70,34 % e 74,6% respectivamente. O consumo da cama de aviário peletizada foi da ordem de 1,90 kg/h para cada kW de energia gerado, um valor superior ao encontrado para o endocarpo da macaúba e do babaçu que foram da ordem de 1,33 kg/h e 1,20 kg/h respectivamente.

Uma possível causa dos resultados encontrados para a cama de aviário em relação à economia no consumo de combustível ser menor e o consumo de biomassa ser maior, quando comparados aos resultados da macaúba e babaçu, é que o seu menor poder calorífico é menor e o teor de cinzas é maior.

Foram observadas as emissões de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), Oxigênio (O₂), Hidrocarbonetos (HC) e Óxido Nitroso (NO_x) com o motor funcionando somente com óleo Diesel e com o gás da cama de aviário juntamente com óleo Diesel. Os resultados indicaram que o teor de emissão de monóxido de carbono e dos hidrocarbonetos é maior com o gás da cama de aviário. Entretanto o teor de emissão de óxido nitroso e dióxido de carbono foram menores. O teor de oxigênio foi semelhante para os dois casos observados.

4.3 - ANÁLISE ECONÔMICA

Para o cálculo do PEC foi adotado um valor de 2,00 R\$/l para o óleo Diesel e 0,08 R\$/kg de cama de aviário. O PCI foi estipulado em 13,5 MJ/kg. Para investimento inicial foi considerado a compra de um grupo motogerador a Diesel com o custo de R\$ 65.000, uma máquina peletizadora no valor de R\$ 18.000 com capacidade de produção de 150 kg/h de peletes, o sistema de gaseificação no valor de R\$ 100.000 e a construção de um galpão para o sistema e acondicionamento da biomassa no valor de R\$ 10.000.

A taxa de juros mais baixa do mercado é de 8,73%. O Valor Residual é o que pode ser aproveitado depois da vida útil, e foi adotado um valor de 50 % do investimento inicial. O Fator de Carga é a quantidade de horas que o sistema irá funcionar por dia em um ano em relação ao total de horas por ano que poderia funcionar e o valor foi determinado em

0,5, ou seja 12 horas por dia. O equipamento precisa de apenas uma pessoa para a operação. Serão 2 funcionários, cada um trabalhando 6 horas por dia. Antes de realizar o cálculo do C/B do kW alguns parâmetros foram definidos:

- Consumo de Diesel (kg) – 6;
- Consumo de biomassa (kg) – 76;
- Preço da cama de aviário (R\$/kg) – 0,08;
- Preço do Diesel necessário para funcionamento por uma hora (R\$) – 14,20;
- PCI da cama de aviário (kWh/kg) – 3,75;
- PCI do Diesel (kWh/kg) – 11,81;
- Motogerador (R\$/kWh) – 0,0178;
- Gaseificador (R\$/kWh) – 0,0071;
- Peletizador (R\$/kWh) – 0,0071;
- Rendimento Grupo Motogerador (η) – 22%;
- 2 Funcionários (R\$/kWh) – 0,0331;
- Investimento Inicial (R\$) – 193.000;
- I (taxa de juros ao ano) – 0,0873;
- Valor Residual (R\$) – 96.500;
- Vida útil em anos – 12;
- Fator de carga – 0,5;
- Potência Instalada (kW) – 39.

Tabela 4.9 - Valor do kW para uma potência instalada de 39 kW.

Cama de aviário + Diesel	
PEC	20,28
η	0,22
PCI	355,86
CEM	0,059
VES	0
R	96500
I	193000
i	0,0873
v	12
FC	0,5
PI	39
C/B = 0,1977 R\$/kWh	

O Valor do Subproduto Específico (VES) foi considerado nulo para o determinado estudo. As cinzas podem ser um subproduto com um valor comercial, no entanto, um estudo mais detalhado da composição das mesmas é necessário.

O valor do kW rural é de R\$ 0,20 no Distrito Federal. O preço do kW gerado pelo sistema de gaseificação, para que seja equivalente ao cobrado pela concessionária, e a potência instalada deve ser no mínimo de 39 kW. Para potências abaixo desse valor não é recomendado pelo valor do kW ser maior que o cobrado pela concessionária. A tecnologia de gaseificação surge como uma oportunidade de garantia de geração de energia elétrica para o avicultor sem depender da rede convencional.

5 - CONCLUSÃO

A atividade avícola brasileira é competitiva internacionalmente e o principal rejeito é a cama de aviário. A busca de alternativas para a utilização, gestão e destino é necessária para o desenvolvimento sustentável do setor. A investigação contribuiu para uma nova finalidade do uso da cama de frango considerando os aspectos sanitários, econômicos e ambientais.

O estudo mostrou que os peletes produzidos foram de excelente qualidade. Para o uso da cama de aviário na gaseificação é necessária a peletização do material. O Brasil possui tecnologia para produção de máquinas peletizadoras para produção de peletes de qualidade.

Os resíduos clássicos do processo de gaseificação são carvão na forma de partículas, cinzas e água do processo de resfriamento. O carvão se mostrou um material poroso. Análises químicas identificaram teores de Fósforo (P) e Potássio (K) em boa quantidade e um fertilizante de alta qualidade pode ser formulado.

Conforme Silva (2008), quando um lote de aves passa por algum tipo de doença a reutilização da cama não é possível. Com a gaseificação o material chega a uma temperatura de até 1050°C e uma análise microbiológica não identificou formação de carga microbiana nas cinzas, diferente do resultado encontrado para a cama de aviário *in natura*, que tinha uma alta carga microbiana (Salmonella). A cama de aviário por possuir uma grande quantidade de cinzas, deve ter um sistema de remoção bem dimensionado.

A utilização de outras fontes de energia, notadamente a da biomassa, aparece como uma oportunidade de particular importância e com maior potencial de crescimento nos próximos anos. Tanto no mercado nacional como no internacional, é considerada uma das principais alternativas para diversificar a matriz energética, com conseqüente redução da dependência de combustíveis fósseis.

Uma análise de Custo/Benefício mostrou que a partir de uma potência de 39 kW, o preço do kW de energia elétrica gerado pela tecnologia de gaseificação se equivale ao cobrado pela concessionária, garantindo ao avicultor eletricidade para sua atividade sem depender da mesma.

A análise dos resultados obtidos neste trabalho permite afirmar que a utilização do gás de síntese, produzido por gaseificadores do tipo “downdraft” estratificado, torna atrativa a operação de grupos geradores Diesel destinados a geração de energia elétrica pelos avicultores. Como importante vantagem destaca-se a possibilidade de substituição parcial do Diesel, em 36%, sem importantes modificações operacionais na unidade, destinação adequada de um rejeito da atividade avícola e uma oportunidade de formulação de um fertilizante de alta qualidade agregando valor ao seu produto.

Recomenda-se o uso das cinzas como fertilizante em algum tipo de cultura agrícola e os seus efeitos, por exemplo produtividade por hectare, crescimento, dentre outros. Por possuir altos teores de Fósforo (P) e Potássio (K) é possível o bom desenvolvimento da cultura sem preocupação de carga microbiana o que inviabilizaria o seu uso nesse aspecto. Outra recomendação é testar peletes com outros teores de umidade, com diâmetros e tamanhos diferentes.

O teor de enxofre foi alto quando comparado ao carvão vegetal, carvão mineral e outras biomassas e uma recomendação é um estudo sobre as possíveis conseqüências a saúde humana e as precauções para anular ou minimizar esses efeitos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2008), “Atlas da Energia Elétrica no Brasil” 3º Edição, Brasília, 236 p.
- Alakankas, E. Wood pellets in Finland – Technology, economy and market. OPET 5. VTT – Technical Research Centre of Finland. Jyvaskyla. 2002.
- Almeida, M.A.C. Fatores que afetam a umidade da “cama”. Avicultura Industrial 1986, 76:16-18.
- Ambientebrasil. Dinamarca mostra exemplo em produção de energia limpa. Disponível em <http://noticias.ambientebrasil.com.br/noticia/?id=50083>. Acesso em novembro, 2009.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 8633 Carvão vegetal – determinação do poder calorífico, Out/1984.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 6923. Carvão vegetal amostragem e preparação da amostra, Out/1981.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 8112 Carvão vegetal – análise imediata, Out/1986.
- Associação Gaucha de Avicultura – Asgav. MAPA aperta cerco contra produtos de origem animal na alimentação de ruminantes. Disponível em http://www.asgav.com.br/main.php?page=_noticia&n=2270&. Acesso em outubro, 2009.
- ASTM E775 - 87(2008)e1 Standard Test Methods for Total Sulfur in the Analysis Sample of Refuse-Derived Fuel.
- ASTM E777 - 08 Standard Test Method for Carbon and Hydrogen in the Analysis Sample of Refuse-Derived Fuel.
- ASTM E778 - 08 Standard Test Methods for Nitrogen in the Analysis Sample of Refuse-Derived Fuel.
- ASTM E870 - 82(2006) Standard Test Methods for Analysis of Wood Fuels.
- Ávila, V.S.de., Jaenish, F.R.F., Pieniz, L.C., Ledur, M.C., Albino, L.F.T., Oliveira, P.A.V.de. Produção e manejo de frangos de corte. Embrapa Suínos e Aves. Documentos, Número 28. 1992. p 11.
- Avila, V. S., Abreu, V. M. N., Élsio Antônio Pereira de Figueiredo, Brum, P. A. R., Ubirajara de Oliveira. Valor Agrônômico da Cama de Frangos após

- Reutilização por Vários Lotes Consecutivos. Comunicado Técnico Nº466. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2007. 4p.
- Avisite. Evolução da produção de carne de frango no Brasil nos últimos 30 anos. Disponível em <http://avesite.com.br/noticias/noticias.asp?codnoticia=10413>. Acesso em setembro, 2009.
- Avisite. Avicultura tem cinco itens entre os 100 principais produtos exportados pelo Brasil. Disponível em <http://www.avisite.com.br/noticias/default.asp?codnoticia=10531>. Acesso em outubro, 2009.
- Avisite. Em 2010, Brasil responderá por 40% do comércio mundial de frango. Disponível em <http://www.avisite.com.br/noticias/noticias.asp?codnoticia=10554>. Acesso em outubro, 2009.
- Avisite. Juiz dos EUA sentencia: cama de frango é lixo. Disponível em <http://www.avisite.com.br/noticias/maisnotss.asp?codnoticia=10329&codCategoria=&Mes=8&Ano=2009>. Acesso em agosto, 2009.
- Baerenthaler, G., Zischka, M., Haraldsson, C., Obernberger, I. Determination of major and minor ash-forming elements in solid biofuel. Biomass and Bioenergy 2006.
- Balanco Energético Nacional – BEN (2007) Ano Base 2006, Empresa de Pesquisa Energética – Rio de Janeiro : EPE 2007. 192p.
- Balanco Energético Nacional – BEN (2008) Ano Base 2007, Empresa de Pesquisa Energética – Rio de Janeiro : EPE 2008. 234p.
- Baratone *et al.*; Nanotechnology, FTIR Spectroscopy an Nanostructured Materials, American Chemical Society, Washington, DC, 9 p.313, 1996.
- Bezzon, G. Síntese de novos combustíveis sólidos a partir de resíduos agroflorestais e possíveis contribuições no cenário energético brasileiro. Tese de Mestrado. Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP. Campinas-SP. 1994.
- Biomassa para Energia/ Organização : Luís Augusto Barbosa Cortez, Electro Eduardo Silva Lora, Edgardo Olivares Cortez. Campinas – SP. Editora da UNICAMP, 2008.
- Blum, H. XI Congresso Brasileiro de Energia – XICBE. Energia e Meio Ambiente. XI Congresso Brasileiro de Energia – XICBE. Energia e Meio Ambiente. Uma Análise Multicritério para Avaliação da Contribuição de uma Política Energética para o Desenvolvimento Sustentável. Rio de Janeiro. Anais, 2006. p. 493-506.

- Bridgwater, A. V. Biomass fast Pyrolysis. Bioenergy Research Group. Aston University. Birmingham. United Kingdom. 2007.
- Bühler, R. "Fixed bed gasification for electricity generation application in Europe", in M. Kaltschmitt e A.V. Bridgwater (eds.), Biomass gasification & pyrolysis – State of the art and future prospects. Newbury: CPL Press, 1997, pp. 117-28.
- Carvalho, M. O. M. Avaliação econômica de projetos de energia - Análise Custo-Benefício. In: X Congresso Brasileiro de Energia, 2004, Rio de Janeiro. X Congresso Brasileiro de Energia, 2004. v. III. p. 1431-1442.
- Cifuentes, *et al.* Assessing the Health Benefits of Urban Air Pollution Reductions Associated with Climate Change Mitigation (2000-2020): Santiago, São Paulo, México City, and New York City. Environmental Health Perspectives Volume 109, Supplement 3, Junho 2001.
- Coelho, S.T. Resultados do workshop STAP/GEF, Delhi, 2005. Comunicação pessoal. Setembro, 2005.
- Community Power Corporation. Demonstration of a Small Modular BioPower System Using Poultry Litter. DOE SBIR Phase-I, Final Report, 2001.
- Copersucar. Seminário sobre bagaço-de-cana. Piracicaba, 1983. 30 pág.
- Cortes, M., & Sanchez, C. (2000). Projeto gaseificação de gramínea (*pennisetum purpureum*). Encontro de Energia no Meio Rural. Campinas - SP: UNICAMP.
- Couto *et al.* Couto, L., Watzlawick, L.F., Câmara, D. Vias de valorização energética da biomassa. Biomassa & Energia, v.1, n.1, p.71-92, 2004.
- Dagnall, S. *et al.* Resource mapping and analysis of farm livestock manures – assessing the opportunities for biomass-to-energy schemes. Bioresour. Technol., Essex, v. 71, p. 225-234, 2000.
- De Souza, M. R. Tecnologias para usos alternativos de resíduos florestais: experiência do Laboratório de Produtos Florestais – IBAMA na área de utilização de resíduos florestais e agrícolas. Workshop Sul Americano sobre usos alternativos de resíduos de origem florestal e urbana. Curitiba: 1997. p. 49-70.
- Dias, J. Utilização da biomassa: avaliação de resíduos e utilização de pellets em caldeiras domésticas. Tese de Doutorado-Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa. 2002.
- Empresa de Pesquisa Energética - EPE. Balanço Energético Nacional 2008: Ano base 2007: Resultados Preliminares Rio de Janeiro, 2008. 44 p

- European pellet centre. Disponível em <http://www.pelletcentre.info/cms/site.aspx?p=878>. Acesso em setembro, 2009.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1986). Wood gas as engine fuel. Rome, Italy: FAO.
- Florentino *et al.* Magalhães Sobrinho, P.; Silveira, J. L. Aproveitamento energético de Resíduos Sólidos Aplicado à Avicultura de Corte. In: Congresso Latino-Americano de Geração e Transmissão de Energia Elétrica, 2003, São Pedro - SP. Fifth Latin-American Congress of Electricity Generation and Transmission, 2003.
- Foley, G., Geoffrey, B. “Biomass gasification in developing countries”, Energy Information Programme, Technical Report nº1, 1983.
- Gauthier, T. G. Revista O Papel, n. 9, p. 62-64, 1986.
- Goldemberg, J. The Case for Energy Renewables. In: International Conference for Renewable Energies, 2004, Bonn. Thematic Background Paper, Alemanha, 2004.
- Gomes, C.B. 1984. Técnicas analíticas instrumentais aplicadas à Geologia. Editora Edgard Blücher Ltda., 218 p.
- Gómez, E. O. (1996), “Projeto, Construção e Avaliação Preliminar de um Reator de Leito Fluidizado para Gaseificação de Bagaço de Cana-de-açúcar”, dissertação de mestrado Universidade Estadual de Campinas, Campinas – São Paulo.
- Gordillo G, *et al.* Adiabatic fixed-bed gasification of coal, dairy biomass, and feedlot biomass using an air–steam mixture as an oxidizing., Renewable Energy (2009).
- Greenpeças Indústria e Comércio de Máquinas e Equipamentos Ltda. Peletizadoras para Ração. Disponível em: http://www.greenpecas.com.br/equipamentos/peletizadora_racao.asp. Acesso em 5 de novembro de 2009.
- Groeneveld, M.J. The co-current moving bed gasifier, Ph.D. Thesis, Twente University of Technology, The Netherlands, 1980.
- Guardabassi, P. M. Sustentabilidade da biomassa como fonte de energia: perspectivas para países em desenvolvimento. Dissertação de mestrado. São Paulo, 2006. p.123.
- Hinrichs, R.A., Kleinbach, M. Energia e meio ambiente – Tradução da 3ª edição norte americana. São Paulo, 2003.
- Hirsmark, J. Densified biomass fuels in Sweden. Swedish University of agricultural sciences. Master os science thesis. Examensarbeten nr 3. Uppsala. 2002.

- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2009), “Contagem da população 2007” Disponível em http://www.ibge.gov.br/servidor_arquivos_est acesso em 20 de maio de 2009.
- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. Utilização energética de resíduos vegetais. Laboratório de produtos florestais - LPF/IBAMA. 35 p.
- Jaenisch, F.R.F. Biossegurança e cuidados com a saúde dos frangos. Instrução técnica para o avicultor. Embrapa Suínos e Aves. Área de Comunicação e Negócios, ISS 1515 5523, dezembro – 6, 2006.
- Jannuzzi, G. de M. Uma Avaliação das Atividades Recentes de P&D em Energia Renovável no Brasil e Reflexões para o Futuro – Campinas, SP: Energy Discussion Paper Nº 2.64-01/03,2003.
- Jenkins, B.M. Fuel properties for biomass materials. International Symposium on Application na Managemente of Energy in Agriculture: The Role Biomass Fuels. Nova Delli. 1990.
- Karekesi *et al.* Status of Biomass Energy in Developing Countries and Prospects for International Collaboration. In GFSE-5 Enhancing International Cooperation on Biomass. Background Paper. Áustria, Maio 2005.
- Klauss, P. Estudo da Obtenção de Imagens no Microscópio Eletrônico de Varredura e Espectros na Micro-Análise por Energia Dispersiva. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC / EMC – LabMat / LCMAI).
- Kubinsky, E. J. - Densifying wood waste, a machinery comparison. World Wood, June, 1986.
- Larson, E. D. (1998). Small escale gasification based biomass power generation. Princeton, USA: Center for Energy and Environmental Studies.
- Lora, E. E. S., Andrade, R. V. Estado da Arte e Potencial de Utilização de Biocombustíveis no Brasil. Biomassa & Energia (Viçosa), v. 2, p. 19-36, 2005.
- Lowry, H. H. (1945). Chemistry of Coal Utilization.
- Luczynski, E., Avellar, L. Abordagem Qualitativa da Inserção do Biogás x Diesel para o Meio Rural. In: AGRENER, 2002, Campinas. AGRENER/2002. Campinas : Unicamp, 2002.
- Medeiros, H.S., Dezidera, D. A. XI Congresso Brasileiro de Energia – XICBE. Energia e Meio Ambiente. Emissões de CO₂ Gerados pela Atividade Econômica no Brasil: uma Análise de Decomposição. Rio de Janeiro. Anais, 2006. p. 455-467.

- Miraglia, S.G., Saldiva, P.H., Bohm, G.M., An evaluation of air pollution health impacts and costs in Sao Paulo, Brazil. *Environ Manage.* 35(5):667-76. Maio, 2005.
- Morais, A. S., Silva, M. B. da. Avaliação Energética do Bagaço de cana em diferentes níveis de umidade e grau de compactação. In: V Congresso Latino Americano de Transferência de Energia e Massa - LATCYM, 2005, Caracas. Anais do V Congresso Latino Americano de Transferência de Energia e Massa, 2005. v. Único.
- Netto, G. B. F., Oliveira, A. G. de P., Coutinho, H. W. M., Nogueira M. F. M., Rendeiro, G., 2006, “Caracterização Energética de Biomassas Amazônicas”, AGRENER 2006, Campinas.
- Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional - BEN, Brasília, 1982.
- Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional 2004, Brasília, 2005.
- Ministério de Minas e Energia. Matriz Energética Nacional 2030; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília : MME : EPE, 2007. p. 254.
- Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional – BEM. Brasília: MME, 2008. Disponível em: <http://www.mme.gov.br> Acesso em setembro de 2009.
- Organização das Nações Unidas no Brasil (ONU). Brasil e China lideram investimentos em economia verde. Disponível em: <http://www.onu-brasil.org.br>. Acesso em junho de 2009.
- Paganini, F.J. Manejo da cama. Produção de Frangos de Corte. Facta, 2004, 1º ed. pp. 107-116. 2004.
- Palhares, J. C. P. Uso da cama de frango na produção de biogás. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004 (Circular Técnica).
- Patel *et al*, K. McQuigg, R. Toerne. Integration of poultry litter gasification with conventional pulverized coal fired power plant, 2001.
- Pereira, C. M. M. de A., Melo, M. R., Santos. M. H. O AGRONEGÓCIO DO FRANGO DE CORTE: um estudo de caso sob a ótica da economia dos custos de transação. *Informações Econômicas*, SP, v.37, n.1, jan. 2007.
- Peres, S. Gás do bagaço de cana: um combustível substituto do gás natural. XV Seminário nacional de produção e transmissão de energia elétrica. Recife – PE, 1999.
- Petric, et al. Influence of wheat straw addition on composting of poultry manure, *Process Safety and Environmental Protection* (2009).

- Primenergy. World Leader in gasification technology. The Economics and Environmental Impact of the Beneficial Use of Poultry Litter as Biomass Fuel. Disponível em http://www.primenergy.com/reference_PoultryLitter.htm. Acesso em novembro, 2009.
- Priyadarsan *et al.*, Co-gasification of blended coal with feedlot and chicken litter biomass. Proceedings of the Combustion Institute, 2005.
- Quirino, W. F. Características de briquetes de carvão vegetal ao seu comportamento na combustão. Piracicaba, janeiro, 1991. 80 páginas (Dissertação de Mestrado apresentada à ESALQ/LISP para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais).
- Quirino, W. F. Densificação de Resíduos da Biomassa. Workshop – Madeira Energética: Principais questões envolvidas na organização e no aperfeiçoamento do uso energético da lenha. Rio de Janeiro. 2007.
- Reed, T. B. e S. Gauer. A survey of biomass gasification. The National Renewable Laboratory and The Biomass Energy Foundation. 2001.
- Rezaiyan, J., & Cheremisinoff, N. P. (2005). gasification Technologies - A Primer for Engineers and Scientists. Boca Raton - Florida: Taylor & Francis.
- Rodrigues, A.C. Projeto e Avaliação de uma Central de Geração Elétrica de 5 kW por Gaseificação de Biomassa. Universidade de Brasília – UnB, 2008
- Rodrigues, L. D., Silva, I. T., Silva, I. M. O., Rocha, B. R. P. Uso de briquetes compostos para produção de energia no Estado do Pará. In: 4º Encontro de Energia no Meio Rural, 2002, Campinas-SP. 4º Encontro de Energia no Meio Rural, 2002.
- Romeiro Neto, Davi. P., XI Congresso Brasileiro de Energia – XICBE. Energia e Meio Ambiente. Dilemas e Questões do Biodiesel na Matriz Energética. Rio de Janeiro. Anais, 2006. p. 401-415.
- Saldiva *et al.* Related Articles, Links Decreased fertility in mice exposed to environmental air pollution in the city of Sao Paulo - Environ Res. 2005 Jun;98(2):196-202. PMID: 15820725, 2005.
- Santos, A. M. XI Congresso Brasileiro de Energia – XICBE. Energia e Meio Ambiente. O Uso de Fontes Alternativas Renováveis para a Geração Elétrica Isolada: proposta de implantação de Sistemas Agroenergéticos com base na Palma Africana no Estado do Amazonas. Rio de Janeiro. Anais, 2006. p. 535-544.

- Santos, T. M. B. Balanço energético e adequação do uso de biodigestores em galpões de frangos de corte. Doutorado em Zootecnia (Produção Animal). Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Brasil. 2001.
- Sauer *et al.* Nitrous oxide emissions from a bermudagrass pasture: Interseeded winter rye and poultry litter. *Soil Biology & Biochemistry*, 2009.
- Silva *et al.*, Bentes, M.A., Medrado, S.B., Sobrinho, P.M., Júnior, J.A de C. Estudo da utilização da biomassa em substituição parcial ao carvão mineral na fabricação do coque na coqueira da CSN. *Tecnologia em Metalurgia e Materiais*, São Paulo, v.5, n.1, p. 40-45, jul.-set. 2008.
- Silva, V.S., Manejo Adequado para Reutilização de Cama de Aviário. Conferência Apinco 2008 de Ciência e Tecnologia Avícolas. Santos – SP.p311-322.
- Skoog, D.A., Holler, F.J., Nieman, T.A., *Principles of Instrumental Analysis*, Saunders College Publishing, 5th ed., Florida, 1998.
- Stassen, H.E., Koele, H.J. “The use of LCV-gas from biomass gasifiers in internal combustion engines”, in M.Kaltschmitt e A.V. Bridgwater (eds.), *Biomass gasification & pyrolysis – State of the art and future prospects*. Newbury: CPL Pres, 1997, pp.269-81.
- Sordi *et al.* Souza, S.N.M., Oliveira, F.H. Distribuição geográfica do potencial energético dos resíduos da avicultura de corte na região Oeste do Paraná. 4º Encontro de Energia no Meio Rural. Campinas-SP. 2002.
- Souza et al., Leal. M.A de A., Araújo. M.L. Produção de mudas de tomateiro utilizando húmus de minhoca e cama de aviário como substrato e o biofertilizante Agrobio como adubação foliar. Rio de Janeiro, 2002.
- Tarrento, G.E., Martinez, J.C. Análise da implantação de biodigestores em pequenas propriedades rurais, dentro do contexto da produção limpa. In: XIII Simpósio de Engenharia de Produção SIMPEP, 2006, Bauru. Simpósio de Engenharia de Produção SIMPEP, 2006.
- Tillman, D. A. *The Combustion of Solid Fuels and wastes*. San Diego: Academic Press. 1991. 378 p.
- Tomazela, J.M. Cama de frango é ruim para o gado. Disponível em : <http://www.meujornal.com.br/ocb/jornal/materias/integra.aspx?id=8334>. O Estado de São Paulo, 2007. Acesso em maio de 2009.

- United States Department of Agriculture - USDA. Foreign Agricultural Service.
Disponível em: http://www.fas.usda.gov/scriptsw/attacherep/attache_lout.asp.
Acesso em agosto de 2009.
- Upham, P. and Shackley, S. (2007) "Public opinion of a proposed 21.5MW(e) biomass gasifier in Devon: questionnaire survey results", *Biomass and Bioenergy*, v 31, p. 433-441.
- Vapo. Disponível em <http://briquetes.com.br/index.php?pg=utilização>. Acesso em setembro, 2009.
- Vargas I. J. Biomassa. Simpósio Nacional sobre fontes convencionais e de energia. Brasília: Câmara dos Deputados, 1979. p. 626-640.
- Veras *et al*, C.A.G. Caldeira. A.P. Neitzke, G. Rodrigues, P. A. Rodrigues, A.C. Geração de energia elétrica em motor do ciclo Diesel com óleo vegetal e gás pobre. VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica e Industrial. Brasília, 2008.
- Wander, P. R., Altafini, C. R., Barreto, R. M. (2004). Assessment of a Small Sawdust Gasification Unit. ScienceDirect .
- Warren, T.J.B., Pouter, R., Parfitt, R.I. "Converting Biomass to Electricity on a Farmsized Scale using Downdraft Gasification and a Spark-ignition Engine", *Bioresource Technology*, (1995).
- Yagy, K. Economics and a policy option of Wood pellet fuel in Japan. *Journal of the Japan Institute of Energy*. V 85, n 6, p 451 – 460. 2006.
- Zakrisson, M. A comparison of international pellet production costs. Swedish University of Agricultural Sciences. Examensarbeten nr 39, Uppsala. 2002.