

ANA CARLA VIEIRA

**CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA PROVENIENTE DE RESÍDUOS
AGRÍCOLAS**

CASCVEL
PARANÁ- BRASIL
JANEIRO 2012

ANA CARLA VIEIRA

CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA PROVENIENTE DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza

Co-Orientador: Prof. Dr. Reinaldo Aparecido Bariccatti

CASCADEL

PARANÁ-BRASIL

JANEIRO – 2012

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Central do Campus de Cascavel – Unioeste
Ficha catalográfica elaborada por Jeanine da Silva Barros CRB-9/1362

V713c Vieira, Ana Carla
Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas para
geração de energia. / Ana Carla Vieira — Cascavel, PR: UNIOESTE,
2012.

56 f. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza
Co-Orientador: Prof. Dr. Reinaldo Aparecido Baricatti
Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do
Paraná.

Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Energia na
Agricultura, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas.
Bibliografia.

1. Biomassa – Produção de energia. 2. Carvão vegetal. 3. Resíduos
agrícolas – Geração de energia. 4. Energia – Fontes alternativas. I.
Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.

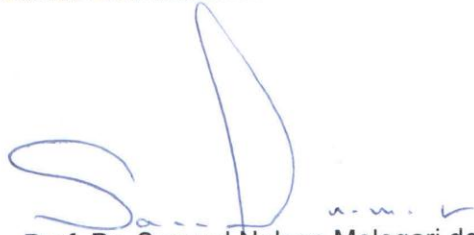
CDD 21ed. 333.794

ANA CARLA VIEIRA

“Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, **aprovada** pela seguinte Banca Examinadora:

Orientador:



Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel



Prof. Dr. Evandro Marcos Kolling
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR/Toledo



Prof. Dr. Deonir Secco
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel

Cascavel, 24 de janeiro de 2012.

*A minha família por me apoiar
incondicionalmente.*

AGRADECIMENTOS

À Deus

A minha família pelo apoio e motivação,

Ao meu noivo pelo amor e compreensão,

Ao meu orientador, Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza, pela orientação e
confiança ao longo deste trabalho,

Ao meu co-orientador, Prof. Dr Reinaldo A. Bariccatti, pela ajuda na realização do
trabalho e conhecimentos adquiridos,

À Capes, pelo auxílio financeiro,

Aos meus amigos e aos novos que conquistei em Cascavel pelo companheirismo nessa
jornada,

Ao pessoal do Laboratório de Saneamento da Universidade Estadual do Oeste do
Paraná, pela ajuda em várias etapas do trabalho,

E a todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho.

LISTA DE SÍMBOLOS

CO₂:	Gás carbônico
H₂O:	Água
ABNT:	Associação Brasileira de Normas e Técnicas
NBR:	Norma Brasileira
PCS:	Poder Calorífico Superior
BEN:	Balanço Energético Nacional
PNUMA:	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
CH₄:	Metano
C:	Carbono
O:	Oxigênio
H:	Hidrogênio
EMBRAPA:	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ANEEL:	Agência Nacional de Energia Elétrica
IBGE:	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PCI:	Poder Calorífico Inferior
M_{bio}:	Massa da Biomassa
V:	Volume em que a Biomassa ocupa
p:	Massa Específica
d:	Densidade
ρ:	Massa Específica da Biomassa
ρ_{H₂O}:	Massa Específica Água
KPa:	Kilopascal
Kg:	Kilograma
M³:	metro cúbico
Tu:	Teor de Umidade
Tv:	Teor de Voláteis

°C:	Grau Celsius
Tc:	Teor de Cinzas
Si:	Sílica
K:	Potássio
Na:	Sódio
S:	Enxofre
Ca:	Cálcio
P:	Fósforo
Mg:	Magnésio
Fe:	Ferro
Tcf:	Teor de Carbono Fixo
N:	Nitrogênio
Z:	Cinzas
Kj:	Kilo Joules
Mj:	Mega Joules
Tons/t:	Tonelada
ha:	Hectares
Co:	Monóxido de Carbono
H₂:	Hidrogênio
N₂:	Nitrogênio
FAO:	Food and Agriculture Organization of the United Nations/ Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação.
MDC:	Metro de Carvão
GEE:	Gases do Efeito Estufa
m₁:	Massa Biomassa Inicial
m₂:	Massa Biomassa final
m₃:	Massa Biomassa Depois do Experimento
m₄:	Massa Biomassa Depois do Experimento
CV:	Coeficiente de Variação

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Preço Anual Médio do Petróleo.....	04
Figura 02: Oferta Interna de Energia no Brasil.....	05
Figura 03: Composição Típica da Biomassa	12
Figura 04: Conjunto de Peneiras Mesh 7-14	22
Figura 05: Unidade de Aquecimento	22
Figura 06: Biomassa na Mufla para Análise e no Dessecador	26
Figura 07: Bomba Calorimétrica utilizada	27
Figura 08: Distribuição da Granulometria nos Resíduos	28
Figura 09: Variação e Média do Teor de Umidade	30
Figura 10: Variação e Média do Teor de Voláteis	32
Figura 11: Variação e Média do Teor de Cinzas	33
Figura 12: Variação e Média do Teor de Carbono Fixo	34
Figura 13: Variação e Média do Poder Calorífico	36
Figura 14: Variação e Média do Teor de Umidade das Biomassas Carbonizadas..	38
Figura 15: Variação e Média do Teor de Voláteis das Biomassas Carbonizadas ..	39
Figura 16: Variação e Média do Teor de Cinzas das Biomassas Carbonizadas ...	41
Figura 17: Variação e Média do Teor de Carbono Fixo das Biomassas Carbonizadas.....	42
Figura 18: Variação e Média do Poder Calorífico das Biomassas Carbonizadas ..	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Disponibilidade de Resíduos Vegetais	08
Tabela 02: Teor de Umidade dos Resíduos Agrícolas	14
Tabela 03: Teor de Material Volátil dos Resíduos Agrícolas	15
Tabela 04: Teor de Cinzas dos Resíduos Agrícolas	16
Tabela 05: Teor de Carbono Fixo dos Resíduos Agrícolas	17
Tabela 06: Análise Elementar de Algumas Espécies Vegetais	18
Tabela 07: Poder Calorífico de Diversas Biomassas	20
Tabela 08: Resultados da Análise Imediata Biomassa <i>in natura</i>	29
Tabela 09: Resultados da Análise Imediata Biomassa Carbonizada.....	37
Tabela 18: Média do Teor de Umidade da Biomassa <i>in natura</i> e Carbonizada	44
Tabela 19: Média do Teor de Material Volátil da Biomassa <i>in natura</i> e Carbonizada.....	45
Tabela 20: Média do Teor de Cinzas da Biomassa <i>in natura</i> e Carbonizada.....	46
Tabela 21: Média do Teor de Carbono Fixo da Biomassa <i>in natura</i> e Carbonizada	46
Tabela 22: Média do PCS da Biomassa <i>in natura</i> e Carbonizada	47

RESUMO

VIEIRA, Ana C. M. Sc, Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Janeiro – 2012. Caracterização da Biomassa Proveniente de Resíduos Agrícolas para Geração de Energia. Orientador: Samuel Nelson Melegari de Souza; Co-orientador: Reinaldo A. Baricatti.

A energia presente na biomassa pode ser convertida em combustíveis líquidos, sólidos e gasosos. Os resíduos agrícolas (considerados como biomassa) armazenam energia considerável para ser aproveitada. O Brasil por apresentar grandes dimensões cultiváveis, solo e condições climáticas adequadas afigura-se como um dos maiores fornecedores de matérias primas para a produção de bioenergia, ou seja, os resíduos gerados durante o processo de produção agrícola podem ser utilizados para geração de energia, podendo ser utilizados tanto *in natura* ou em carvão vegetal, produto da carbonização de materiais lignocelulósicos, ou seja, dos resíduos agrícolas e da silvicultura (madeira). Este trabalho teve como objetivo caracterizar as propriedades dos resíduos de sabugo de milho, casca de arroz, bagaço de cana e resíduos de soja, tanto *in natura* quanto carbonizada. A caracterização dos resíduos se deu pela análise imediata e o Poder Calorífico Superior, os quais foram regidos pelas normas brasileiras da ABNT NBR 8112 e 8633. A metodologia baseou-se em secar a biomassa *in natura* numa estufa e em seguida queimá-la numa mufla a diferentes temperaturas conforme a análise pretendida, outrem para o poder calorífico superior (PCS) foi utilizado uma bomba calorimétrica. Este procedimento também foi utilizado para caracterizar a biomassa carbonizada, entretanto antes do início do processo a biomassa *in natura* foi carbonizada em uma mufla. Por meio da análise percebeu-se que o bagaço de cana e o sabugo de milho *in natura* apresentaram um alto teor de umidade (46,16% e 16,93%), já o resíduo de soja juntamente com a casca de arroz tanto *in natura* quanto carbonizada apresentaram maior teor de Carbono Fixo (6,81%, 2,39% *in natura* e 88,44%, 80,68% carbonizada). Dentro destas premissas, observou-se que cada biomassa tem uma característica diferente, sendo necessário seu conhecimento para

adequá-la a tecnologia de conversão e também o grau de eficiência que se pretende obter, ou seja, quantidade de energia gerada.

Palavras-Chave: Biomassa, Carvão Vegetal, Análise Imediata, Energia.

ABSTRACT

VIEIRA, Ana C. M. Sc, Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, January-2012. Characterization of Biomass from Agricultural Waste for Power Generation. Mastermind: Samuel Nelson Melegari de Souza; Co-advisor: Reinaldo A. Baricatti.

The energy presents in biomass can be converted in liquid, solid and gaseous fuels. The agricultural waste (biomass), stock considerable energy to be used. Brazil for presents huge arable dimensions, soil and appropriate weather conditions, appears as one of the largest provider of raw material in producing bioenergy, in other words, the waste generated during the agricultural production process, can be used for power generation, can be used either "*in natura*" either charcoal, carbonization of lignocellulosic materials, which means that, the agricultural waste and the forestry (wood). This work aimed to characterize the waste properties of corn cob, rice husk, sugar cane rest and soybean residues, either "*in natura*" either charred. The waste characterization is given by immediate analyzes and the Higher Calorific Value (HCV), which were registered by the Brazilian Standards NBR 8112 and 8633 from ABNT. The methodology was based on to dry the biomass "*in natura*" in a greenhouse than burned it in muffle at different temperatures according to the intended analyses, others for (HCV), was used a Calorimetric Bomb. This procedure was also used to characterize the charred biomass, but before the beginning of the process, the biomass "*in natura*" was charred in a muffle. Through the analysis, was possible to see that the sugar cane rest and corn cob "*in natura*" had High Moisture Content (46,16% and 16,93%) while the soybean residues with the rice husk, either "*in natura*" either charred, had High Content of Fixed Carbon (6,81% , 2,39% "*in natura*" and 88,44% , 80,68% charred). Within theses premisses, was possible to see that each biomass has a different characteristic, and is necessary its knowledge to adapt to a conversion technology and also the degree of efficiency that is intended to have, in other words, amount of power generated.

Key Words: Biomass. Charcoal. Immediate Analysis. Power

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo Geral	3
2.2 Objetivos Específicos	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Matriz Energética Brasileira.....	4
3.2 Biomassa.....	5
3.2.1 Resíduos Agrícolas	7
3.2.1.1 Resíduos Proveniente de Soja	8
3.2.1.2 Casca de Arroz.....	9
3.2.1.3 Bagaço de Cana.....	10
3.2.1.4 Sabugo de Milho	10
3.2.2 Caracterização da Biomassa.....	11
3.2.2.1 Estrutura da Biomassa	11
3.2.2.2 Propriedades Físicas da Biomassa	12
3.2.2.2.1 Massa Específica	12
3.2.2.2.2 Densidade	13
3.2.2.3 Análise Imediata	13
3.2.2.3.1 Teor de Umidade.....	13
3.2.2.3.2 Teor de Voláteis	14
3.2.2.3.3 Teor de Cinzas	16
3.2.2.3.4 Teor de Carbono Fixo.....	17
3.2.2.4 Análise Elementar	18
3.2.3.5 Poder Calorífico	19
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
4.1 Resíduos Agrícolas	21

4.2 Propriedades Físicas da Biomassa <i>In natura</i>	21
4.2.1 Granulometria.....	21
4.3 Fatores Externos	22
4.4 Análise Imediata da Biomassa <i>In natura</i>	23
4.4.1 Determinação Teor de Umidade	23
4.4.2 Determinação Teor de Voláteis	24
4.4.3 Determinação Teor de Cinzas	24
4.4.4 Determinação Teor Carbono Fixo	25
4.5 Poder Calorífico Superior	25
4.6 Processo de Carvoejamento	26
4.6.1 Análise Imediata do Carv	27
4.7 Poder Calorífico Superior	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
5.1 Granulometria.....	28
5.2 Análise Imediata da Biomassa <i>In natura</i>	29
5.2.1 Determinação Teor de Umidade	30
5.2.2 Determinação do Teor de Voláteis	32
5.2.3 Determinação Teor de Cinzas.....	33
5.2.4 Determinação Teor Carbono Fixo	34
5.3 Poder Calorífico Superior	36
5.4 Processo de Carvoejamento	37
5.4.1 Análise Imediata do Carvão	38
5.4.1.1 Teor de Umidade.....	38
5.4.1.2 Teor de Material Volátil.....	39
5.4.1.3 Teor de Cinzas	40
5.4.1.4 Teor de Carbono Fixo.....	41
5.4.2 Poder Calorífico Superior	43
5.5 Comparações entre Análise Imediata <i>In natura</i> e Carbonizada	44
5.5.1 Teor de Umidade	44
5.5.2 Teor de Material Volátil	45

5.5.3 Teor de Cinzas	45
5.5.4 Teor de Carbono Fixo.....	46
5.5.5 Poder Calorífico Superior	46
6 CONCLUSÃO.....	48
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

INTRODUÇÃO

A expansão acentuada do consumo de energia, resultante do aquecimento econômico e melhoria da qualidade de vida, leva ao esgotamento dos recursos energéticos, impacto ao meio ambiente e por último necessita de elevados investimentos na pesquisa de novas fontes e construção de usinas hidrelétricas. Isto somado ao problema ambiental devido ao grande volume de resíduos gerados pela agricultura, onde o tratamento e disposição final são ainda incipientes, faz com que esforços sejam aplicados para o aproveitamento destes resíduos para agregar valor a cadeias produtivas e reduzir possíveis impactos ambientais negativos.

Segundo Balanço energético Nacional (BEN) (2010), atualmente cerca de 44% de energia provêm de fontes não renováveis, ou seja, combustíveis fósseis. Além destas fontes serem finitas, ao serem utilizadas podem emitir gás carbônico (CO₂), o qual contribui para o problema do século conhecido como efeito estufa. A importância das alterações climáticas, a crescente preocupação com o aumento dos preços dos combustíveis fósseis, assim como a segurança energética faz com que muitos países encarem as fontes alternativas de energias, como estratégias para a garantia de suprimento energético e redução de impactos ao meio ambiente.

A biomassa é considerada uma fonte alternativa de energia, pois consiste em um material orgânico de origem vegetal ou animal. Segundo Nogueira e Lora (2003) *apud* Klautau (2008) a biomassa é a matéria vegetal oriunda da fotossíntese, o qual contém energia química procedente da transformação energética da radiação solar. Quando os laços adjacentes entre moléculas de carbono, hidrogênio e oxigênio são quebrados por combustão, digestão, ou decomposição, estas substâncias liberam sua energia química armazenada. Dentre a Biomassa vegetal destacam-se os resíduos agrícolas, os quais segundo Werther *et al* (2000), apresentam um alto potencial de energia. A carbonização da biomassa vegetal resulta em outra fonte de energia renovável, o carvão vegetal, que é bastante utilizado no Brasil, principalmente nas indústrias de ferro gusa e até mesmo em residências. A biomassa mais utilizada, atualmente, para produção de carvão vegetal é a lenha ou resíduos de madeira,

entretanto estudos demonstram outras fontes de matéria prima para a produção como os resíduos agrícolas.

O Brasil é considerado como um dos maiores produtores agrícolas devido à várias razões, desde a disponibilidade de área para cultivo, possibilidade de introdução de culturas variadas à posição geográfica (condições climáticas adequadas), além de sua rica biodiversidade e tecnologia avançada, afigura-se, portanto como um fornecedor com potencial altíssimo de matérias primas (resíduos) para a produção de bioenergia. Segundo Açma (2003), a energia presente na biomassa pode ser transformada (através de processos de conversão físicos, químicos e biológicos) em combustíveis líquidos, sólidos e gasosos. O objetivo desta conversão é transformar um material carbonáceo de baixa eficiência energética para uma eficiência economicamente viável, porém para que este objetivo seja atingido, uma caracterização da biomassa deve ser feita, ou seja, conhecer suas propriedades, para que haja uma melhor escolha da biomassa adequada e conseqüentemente da tecnologia de conversão.

A caracterização pode basear nas propriedades físicas (granulometria, massa específica, densidade e teor de umidade), na análise imediata (teor de umidade, voláteis, cinzas e carbono fixo), análise elementar, a qual analisa os elementos químicos presentes na biomassa, análise somativa (teor de lignina, celulose e hemicelulose) e Poder Calorífico.

Neste sentido, a busca por novas fontes de energia renováveis associado a soluções dos passivos ambientais causados pelos resíduos agrícolas sem destinação adequada, é importante para a redução da dependência do País em relação aos combustíveis fósseis.

1. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O trabalho teve o objetivo caracterizar a biomassa residual proveniente de Resíduos Agrícolas tanto *in natura* quanto carbonizada.

2.2 Objetivos Específicos

- Calcular as Propriedades Físicas, Granulometria, Umidade, Teor de Cinza, Voláteis, Carbono Fixo e Poder Calorífico da Biomassa *in natura*;
- Transformar a Biomassa *in natura* em carvão vegetal;
- Calcular as Propriedades Físicas, Granulometria, Umidade, Teor de Cinza, Voláteis, Carbono Fixo e Poder Calorífico da Biomassa carbonizada.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Matriz Energética Brasileira

A possibilidade da redução dos recursos utilizados para a produção de energia, os passivos causados ao meio ambiente e a preocupação com o aumento do preço do petróleo e seus derivados que atingiram recordes históricos sem perspectivas de que declinem sensivelmente nos próximos anos (figura 1), fazem com que muitos países apostem na Bioenergia como um elemento chave para a estratégia nacional de energia (GOLDEMBERG; NIGRO; COELHO, 2008).

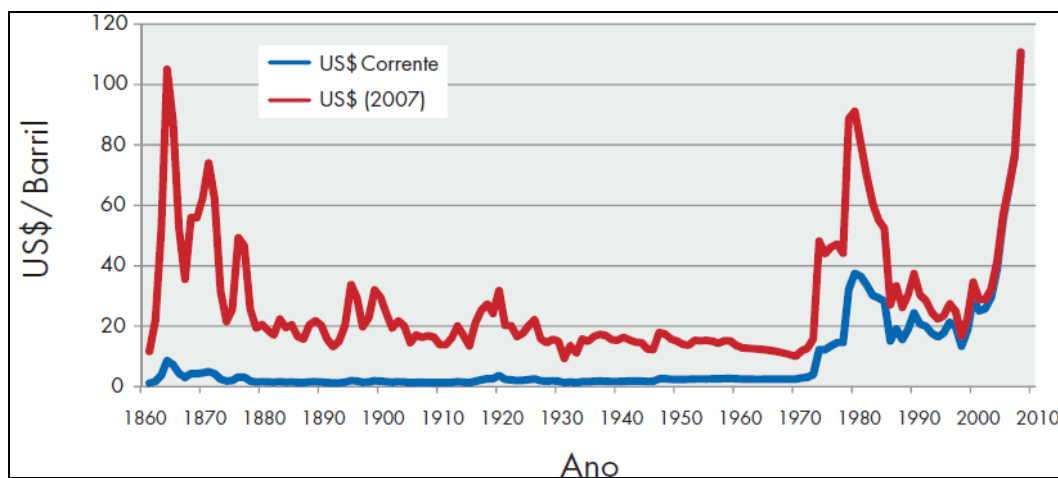


Figura 1: Preço Anual Médio do Petróleo (BP Statistical Review, 2007 *apud* Goldemberg; Nigro e Coelho, 2008).

Devido às condições econômicas estabelecidas, de forma estrutural, a agro energia surge como elemento relevante ao dinamismo do agronegócio. Tanto as pressões sociais (emprego, renda e fluxos migratórios) quanto ambientais (mudanças climáticas e poluição) apenas reforçam e consolidam essa tendência. No Brasil, percebe-se esta tendência se tornando cada vez mais representativa através da matriz

energética, figura 2, pois é o país que reúne mais vantagens comparativas para liderar a agricultura de energia (GOLDEMBERG; NIGRO; COELHO, 2008).

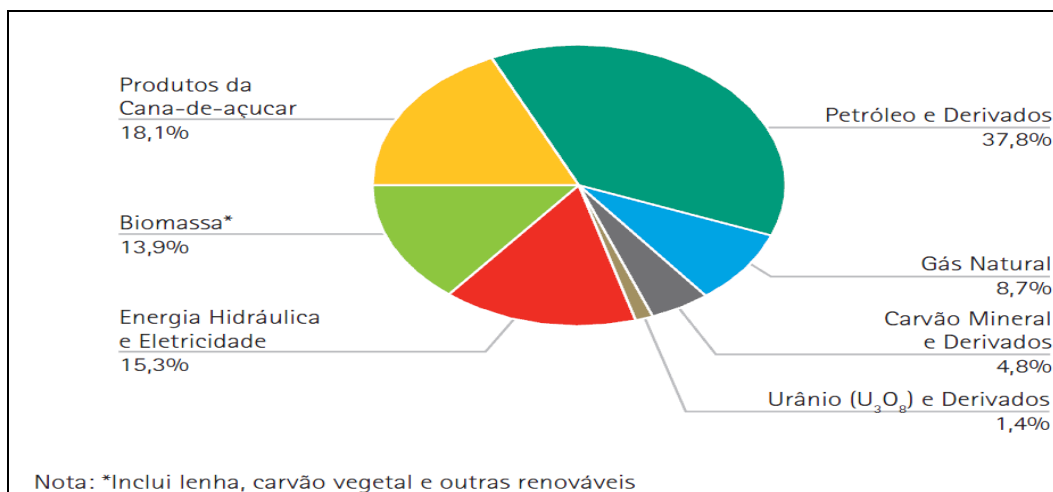


Figura 2: Oferta Interna de Energia no Brasil (Balanço energético Nacional – BEN 2010).

Em 1989, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), estabeleceu uma estratégia de produção mais limpa, qual tem por objetivo aplicar de maneira contínua uma estratégia ambiental preventiva integrada, aplicada aos processos, produtos e serviços para aumentar a eficiência e reduzir os riscos para os seres humanos e ao meio ambiente, favorecendo assim o aumento do consumo de energias renováveis (WBCSD e UNEP, 1997 *apud* SILVEIRA, 2008).

3.2 Biomassa

A Biomassa é definida como todo material orgânico de origem vegetal. Este material deriva da reação entre gás carbônico (CO₂ no ar), água (H₂O) e luz solar, ou seja, pelo processo de fotossíntese, qual armazena fração de energia solar nas ligações químicas de seus componentes (SOUZA; SORDI; OLIVA, 2002).

Quando os laços adjacentes entre moléculas de carbono, hidrogênio e oxigênio são quebrados por combustão, digestão, ou decomposição, estas substâncias liberam sua energia química armazenada. A utilização da biomassa como matéria prima de conversão depende das propriedades químicas e físicas das moléculas (MCKENDRY, 2002).

Segundo Açma (2003), a energia presente na biomassa pode ser transformada (através de processos de conversão físicos, químicos e biológicos) em combustíveis líquidos, sólidos e gasosos. O objetivo desta conversão é transformar um material carbonáceo de baixa eficiência energética para uma eficiência economicamente viável.

Werther *et al* (2000) aponta que materiais de biomassa com potencial de alta energia incluem:

- Resíduos agrícolas como: palha, bagaço de cana, casca de café, casca de arroz, entre outros;
- Resíduos da floresta tais como lascas de madeira, serragem e casca.

Os resíduos de atividades florestais representam 65% do potencial energético da biomassa enquanto que os resíduos de culturas agrícolas são de 33% (WERTHER *et al* 2000).

Segundo McKendry (2002) existem diversos motivos para a biomassa ter se revigorado nos últimos 10 anos. Um dos fatores foi o avanço da tecnologia relativa à conversão da biomassa, apresentando hoje baixo custo e maior eficiência em sua conversão, diferentemente do que acontecera anteriormente. A segunda razão é o setor agrícola estar produzindo cada vez mais quantidades excedentes de alimentos e, conseqüentemente seus rejeitos. Esta situação levou a uma política de redução dos excedentes, reduzindo conseqüentemente os passivos ambientais causados pelos rejeitos. O terceiro estímulo trata-se da mudança climática, devido aos níveis elevados de emissões de gases com efeito de estufa (CO₂, CH₄, entre outros), o qual tornou-se um grande estímulo às energias renováveis em geral.

Lora e Andrade, (2004) *apud* Soares *et al* (2006), apontam que tanto em escala mundial como no Brasil, o potencial energético da biomassa é enorme, podendo se

tornar uma das soluções para o fornecimento de eletricidade em comunidades isoladas, incentivando o desenvolvimento de atividades extrativistas sustentáveis que contribuam para o desenvolvimento destas comunidades.

3.2.1 Resíduos Agrícolas

Segundo a Norma Brasileira 10.004 resíduos são aqueles que:

“(…) resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos que resultam da atividade da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Considera-se também, resíduo sólido os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornam inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d’água, ou exijam, para isso, soluções técnicas e economicamente inviáveis, em face à melhor tecnologia disponível” (ABNT,1987).

São considerados resíduos de origem agrícola aqueles que apresentam grande potencial para serem utilizados na produção de energia, como exemplo, resíduos de culturas agrícolas e de seu beneficiamento ou as palhas, cascas de frutos, cereais, os bagaços, os resíduos das podas de pomares e vinhas, rejeitos madeireiros, entre outros (SAITER, 2008).

Segundo Matos (2005) a produção de resíduos agrícolas é variável, pois depende da espécie cultivada, o destino da mesma, das condições climáticas e da fertilidade do solo, entre outros. O conteúdo de nutrientes dos resíduos de culturas também pode variar, pois as mesmas, como a produção, dependem da fertilidade do solo e tipo de material.

Segundo Nonhebel (2007) as biomassas mais significativas com relação a energia, são aquelas obtidas de culturas energéticas e resíduos agrícolas, estes originam-se de material vegetal gerados no sistema de produção de outros produtos. A tabela 01 mostra a produção agrícola assim como a quantidade de resíduos que a mesma gera.

Tabela 01: Disponibilidade de Resíduos Vegetais

Matéria Prima	Produção Agrícola (tons)*	Produção de Resíduos (t/ha)**	Produção Total de Resíduos (tons)***
Cana (bagaço)	396.012.158	7.0 – 13.0	59.401.824
Arroz (casca)	10.334.603	4.0 – 6.0	2.937.094
Mandioca (rama)	21.961.082	6.0 – 10.0	6.542.206
Milho (palha e sabugo)	48.327.323	5.0 – 8.0	64.028.870
Soja (restos de cultura)	51.919.440	3.0 – 4.0	80.746.839

* IBGE 2004

** Nogueira et al (2000)

*** Calculado em base seca

Segundo Brás *et al* (2007) para que as culturas agrícolas tenham fins energéticos devem ser considerados os seguintes itens: a necessidade de reduzir a dependência energética nacional; redução de emissão de gases do efeito estufa e maior opções culturais.

3.2.1.1 Resíduos Provenientes da Soja

A soja (*Glycine max L.*) é uma das principais fontes de proteína e óleo vegetal do mundo, sendo utilizada na alimentação humana e animal por milênios (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, 2011).

O Brasil é o segundo maior produtor de soja mundial, onde em 2010 produziu 67,7 toneladas, espera-se que em 2011 a produção atinja 68,1 milhões de toneladas, apresentando uma variação de 0,6% em comparação a 2010, um dos motivos deste aumento é o acréscimo da área a ser colhida (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2011).

O primeiro resíduo a ser gerado no processo de industrialização desta oleaginosa é a casca da mesma, onde é retirada no processo de pré-limpeza (armazenagem), sendo o restante dos resíduos gerados na etapa de extração. A casca de soja é o de maior valor comercial em uma indústria processadora de soja, sendo que a sua principal utilização atualmente é como ingrediente na alimentação animal, sendo seu uso para gerar energia ainda incipiente (PUKASIEWICZ; OLIVEIRA; PILATTI, 2004).

Segundo Nogueira *et al* (2000) *apud* Cortez; Lora e Ayarza (2008) estima-se que para cada ha de soja seja produzido de 3,0 a 4,0 toneladas de resíduos, ou seja, restos da cultura da soja.

3.2.1.2 Casca de Arroz

Estima-se que em 2011 a produção de arroz acrescente 7,9% em relação a 2010 (IBGE 2011). A casca de arroz é um dos mais abundantes resíduos agrícolas, estima-se que para cada ha de cultura de arroz seja produzido de 4,0 a 6,0 toneladas de resíduos (NOGUEIRA *ET AL* 2000 *APUD* CORTEZ; LORA; AYARZA, 2008).

Esta biomassa está sendo utilizada atualmente como fonte de calor para secagem própria nas usinas de beneficiamento e também, ainda em pequenos índices, para geração de energia elétrica através da queima direta em unidades termelétricas, sendo que apenas seis estão em operação no Brasil (Agência Nacional de Energia Elétrica- ANEEL 2010 *apud* Centro Nacional de Referência em Biomassa - CENBIOa

2011). O valor energético a que se refere esta queima corresponde a 50% da capacidade de um carvão betuminoso e/ou cerca de 33% do petróleo (DELLA *et al.*, 2005 apud CENBIOb 2011).

3.2.1.3 Bagaço de Cana

Segundo Oliveira (2007) e Lora (2004) apud Silva e Moraes (2008) no processo de industrialização da Cana, principalmente na etapa de moagem para extração do caldo, resulta em resíduos conhecido como bagaço de cana, este pode ser considerado como o principal resíduo agrícola devido a expansão da produção do álcool. Este resíduo pode ser utilizado para geração de vapor (produção de energia) qual pode ser utilizado pela própria indústria ou ainda para ração de animal, fabricação de papel, hidrólise para gerar álcool entre outros. Macedo; Leal e Silva (2004) apud Oliveira (2007) apontam que para cada tonelada de cana moída gera-se 280 kg de bagaço.

Em resumo, o bagaço é considerado uma fonte de biomassa, o qual é gerado em grandes quantidades durante o processamento da cana de açúcar, além de ser um combustível barato e de baixo poluentes (KATYAL; THAMBIMUTHU; VALIX, 2003)

3.2.1.4 Sabugo de Milho

O milho é uma das culturas mais produzidas pelo Brasil, segundo Preto e Mortoza (2010) pode ser cultivado em qualquer solo, clima ou altura no mundo, a sua produtividade está ligada a fertilidade do solo e as colheitas. Em se tratando de resíduos, o milho tem como rejeito durante seu processamento o sabugo, colmo (caule), folhas e palha, tornando-se uma biomassa com alta produção, pois conforme Koopmans e Koppejan (1997) apud Preto e Mortoza (2010) a produção de resíduos de milho para cada tonelada colhida é de 2,3 toneladas. Entretanto, a utilização do milho como biomassa para geração de energia ainda é incipiente, pois o mesmo só pode ser utilizado quando a colheita do milho for a espiga para utilização em indústrias de processamento de milho verde ou para produção de sementes de milho.

3.2.2 Caracterização da Biomassa

A caracterização da biomassa é quem determina a escolha do processo de conversão e as dificuldades de processamento subseqüentes que possam surgir.

3.2.2.1 Estrutura da Biomassa

Basicamente a Biomassa é um hidrocarboneto, o qual possui átomos de oxigênio na sua composição química, diferentemente dos combustíveis fósseis. A presença desse átomo faz com que a biomassa requeira menos oxigênio do ar, sendo menos poluente, mas conseqüentemente sua quantidade de energia a ser liberada é reduzida, diminuindo assim o seu Poder Calorífico Superior (NOGUEIRA; RENDEIRO, 2008).

A celulose, hemicelulose e lignina são os principais componentes da biomassa vegetal, sendo que o teor de celulose varia de 40 a 50%, a hemicelulose de 20 a 40% e o teor de lignina de 25%, como é demonstrado na figura 03, por isso a biomassa vegetal também é considerada como resíduo ligno-celulósico (MARTINI, 2009).

Abbasi (2010) cita ainda que além de quantidades variáveis de celulose, hemicelulose e lignina a biomassa apresenta ainda pequenas quantidades de outros produtos orgânicos e inorgânicos, sendo estes responsáveis pelo desenvolvimento de processos para produção de combustíveis e produtos químicos.

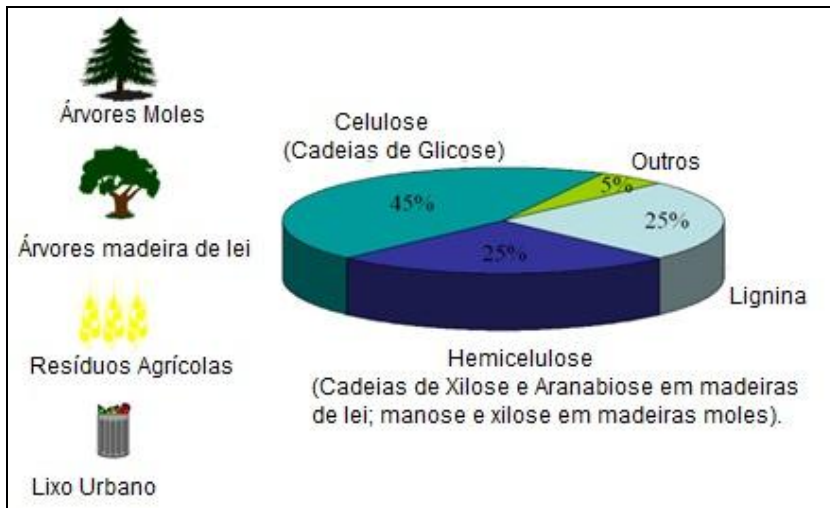


Figura 3: Composição Típica da Biomassa Vegetal (Nogueira, 2007).

3.2.2.2 Propriedades Físicas da Biomassa

Para caracterizar energeticamente a biomassa e seu manuseio é determinante conhecer as propriedades físicas da Biomassa: teor de umidade, massa específica, densidade e porosidade.

3.2.2.2.1 Massa Específica

A Massa específica pode ser dividida em massa específica ou massa específica aparente. A Massa específica é a relação entre a massa contínua de biomassa pelo volume que essa massa contínua ocupa como mostra a equação 01.

$$p = \frac{M_{bio}}{V} \quad \frac{Kg}{m^3} \quad (01)$$

Quando a matéria é contínua (não existem descontinuidades), esta representa Massa Específica Aparente. Porém para resíduos este conceito não se aplica, pois

existem vários pedaços do mesmo material ocupando o mesmo volume (NOGUEIRA; RENDEIRO, 2008).

3.2.2.2.2 Densidade

A densidade é uma das principais características, pois ela define a logística a ser tratada: o transporte e o armazenamento (NOGUEIRA, 2007).

Define-se densidade como a razão entre a massa específica da biomassa pela massa específica da água (ρ_{H_2O}) na condição padrão (25°C e 100 kPa), ou seja 1000 kg/m³ como pode ser observado na equação 02 (NOGUEIRA; RENDEIRO, 2008).

$$d = \frac{\rho}{\rho_{H_2O}}$$

(02)

3.2.2.3 Análise Imediata

Trata-se de um quantificador dos teores de umidade, voláteis e carbono fixo presentes na Biomassa.

Segundo Nogueira e Rendeiro (2008), até 2008, o Brasil ainda não possui normas para a realização desta análise em biomassa vegetal. Para realizar a análise os ensaios seguem as Normas Brasileiras.

3.2.2.3.1 Teor de Umidade

Teor de umidade pode ser definido como a massa de água contida na biomassa e pode ser expressa tanto na base úmida (bu) quanto na base seca (bs), qual pode ser

avaliada pela diferença entre os pesos de uma amostra, antes e logo após ser submetida à secagem (NOGUEIRA, 2003).

Segundo McKendry (2002) duas formas de teor de umidade são de interesse, a umidade intrínseca (teor de umidade do material sem a influência de efeitos climáticos) e a umidade extrínseca (a influência das condições meteorológicas prevalentes durante a colheita da biomassa).

O teor de umidade presente na Biomassa pode interferir em outras propriedades, como o Poder Calorífico Inferior (PCI) que está intimamente ligado, pois este decresce com o aumento da umidade. A condutividade elétrica é outro fator que depende do teor de umidade (NOGUEIRA, 2007 e CALEGARI *et al* 2005).

Biomassa originária de produção agrícola possui teor de umidade entre 15–30% bu (NOGUEIRA; RENDEIRO, 2008).

A tabela 02 mostra os valores de umidade encontrados na literatura para os resíduos agrícolas estudados. Para a determinação do teor de umidade segue a metodologia das Normas: NBR 8112 (Carvão Vegetal – Análise Imediata) e E 871.

Tabela 02: Teor Médio de Umidade dos Resíduos Agrícolas.

Biomassa	Teor de Umidade (%)	Referências
	7,9	Diniz (2005).
Casca de Arroz	10,61	Morais <i>et al</i> (2011).
Resíduos de Soja	6,3	Werther <i>et al</i> (2000)
Bagaço de Cana	8,20	Katyal; Thambimuthu;Valix (2003).
Sabugo de Milho	17,1	Lima (2004)

3.2.2.3.2 Teor de Voláteis

Segundo McKendry (2002) o teor de voláteis é a parte da biomassa que evapora como um gás (incluindo umidade) por aquecimento, ou seja, 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. Ainda para Lewandowski (1997) *apud* Klautau (2008), o material volátil interfere na ignição, pois quanto maior o teor de voláteis maior será a reatividade e conseqüentemente a ignição. Enfim, determina a facilidade com que uma biomassa queima. Os valores de material volátil são diferentes em determinados produtos agrícolas como pode ser observado na tabela 03.

Quando a biomassa é retirada da mufla, restam apenas os carbonos fixos e as cinzas. Este procedimento é regido pela Norma NBR 8112 (Carvão Vegetal – Análise Imediata) e E 872 (NOGUEIRA, 2007).

Tabela 03: Teor Médio de Material Volátil dos Resíduos Agrícolas.

Biomassa	Teor de Voláteis (%)	Referências
Casca de Arroz	59,5	Diniz (2005).
	70,01	Rocha; Perez; Cortez (2004).
	63,6	Nogueira (2007).
	64,24	Morais <i>et al</i> (2011)
	61,0	Demirbas (2004).
Resíduos de Soja	69,6	Werther <i>et al</i> (2000)
Bagaço de Cana	79,70	Rocha; Perez; Cortez (2004).
	83,10	Katyal; Thambimuthu; Valix (2003).
Sabugo de Milho	81,31	Paula <i>et al</i> (2011)
	87,4	Demirbas (2004)

3.2.2.3.3 Teor de Cinzas

Conforme Nogueira e Rendeiro (2008) os resíduos resultantes da combustão dos componentes orgânicos e oxidações dos inorgânicos são caracterizadas como teor de cinzas. Assim, as cinzas são resultados da combustão da biomassa, a qual se processa em altas temperaturas, tornando-se necessário conhecimento do comportamento destas cinzas para evitar operações inadequadas. As mesmas podem originar-se de elementos metálicos já presentes no combustível; de argila, areia e sais que possam estar na biomassa e ainda por solos misturados a biomassa durante sua colheita ou manuseio.

As cinzas são constituídas de composto de silício (Si), potássio (K), sódio (Na), enxofre (S), cálcio (Ca), fósforo (P), magnésio (Mg) e ferro (Fe). Quando em alta concentração podem diminuir o poder calorífico (PC), podem ainda causar perda de energia e sua presença afeta também a transferência de calor sendo, portanto necessário a remoção das mesmas (STREHLER, 2000 *apud* KLAUTAU, 2008). Segue abaixo tabela (04) com valores de cinzas (conforme literatura) presente nos resíduos agrícolas em questão. A determinação do teor de cinzas é feita pela metodologia NBR 8112 (Carvão Vegetal – Análise Imediata) e D 1102 (NOGUEIRA, 2007).

Tabela 04: Teor Médio de Cinzas dos Resíduos Agrícolas.

Biomassa	Teor de Cinzas (%)	Referências
Casca de Arroz	22,6	Demirbas (2004).
	23,84	Morais <i>et al</i> (2011).
	20,6	Nogueira (2007).
	17,1	Diniz (2005).
Resíduos de Soja	5,1	Werther <i>et al</i> (2000)
	11,3	Demirbas (2004).
Bagaço de Cana	4, 20	Katyal; Thambimuthu; Valix (2003).
Sabugo de Milho	1,1	Demirbas (2004)

O conhecimento do teor de cinzas permite avaliar o seu comportamento a diversos critérios, como por exemplo, o ataque a refratários pelas cinzas pode ser evitado, ou seja, os refratários devem apresentar o mesmo comportamento químico ao das cinzas e, ainda devem ter baixa porosidade para que as cinzas ao se alojarem não provoquem rachaduras na superfície do mesmo. Outro critério que deve ser visto é o ponto de amolecimento e fusão das cinzas, pois processos de combustão com temperaturas maiores do amolecimento podem propiciar a aglomeração de material particulado denominado “sinter”, ou a fusão da cinza “slagging”, que geralmente inviabilizam a continuidade do processo ou reduzem a eficiência da troca de calor no equipamento (NOGUEIRA; RENDEIRO, 2008).

3.2.2.3.4 Teor de Carbono Fixo

Por fim o teor de carbono fixo (CF) representa a massa restante após a libertação de compostos voláteis, excluindo as cinzas e teores de umidade (MCKENDRY, 2002). A tabela 05 mostra os valores de carbono fixo conforme a literatura. A determinação do mesmo também é regida pela Norma 8112.

Tabela 05: Teor Médio de Carbono Fixo dos Resíduos Agrícolas.

Biomassa	Teor de Carbono Fixo (%)	Referências
	16,7	Demirbas (2004).
Casca de Arroz	11,90	Morais <i>et al</i> (2011).
	15,8	Nogueira (2007).
	15,5	Diniz (2005)
	19	Werther <i>et al</i> (2000)
Resíduos de Soja	15,0	Demirbas (2004).
Bagaço de Cana	12,70	Katyal; Thambimuthu; Valix (2003).
Sabugo de Milho	18,32	Paula <i>et al</i> (2011)

3.2.2.4 Análise Elementar

Trata-se de um ensaio empregado na determinação da composição química, e através desta o poder calorífico superior (PC) dos combustíveis.

Esse ensaio fornece os percentuais mássicos dos elementos, carbono “C”, hidrogênio “H”, oxigênio “O”, nitrogênio “N”, enxofre “S” e cinzas “Z” contidos na amostra da biomassa combustível, a tabela 06 exhibe alguns exemplos de resultados desta análise. Esta análise é realizada seguindo as normas (E775, 777, 778 e 870) (CORTEZ; LORA; GOMES 2008 e NOGUEIRA; LORA, 2003 *apud* KLAUTAU 2008).

Além dos elementos acima citados (a composição química), a Análise Elementar também fornece a razão entre as populações de átomos de hidrogênio/carbono e oxigênio/carbono. Essas relações permitem o cálculo do Poder Calorífico Superior (PCS) e Poder Calorífico Inferior (PCI), pois existe correlação entre o PCS e as razões H/C e O/C. Além disso, conhecendo-se a relação H/C é possível calcular o PCI (NOGUEIRA; RENDEIRO, 2008).

McKendry (2002) aponta que quanto maior a proporção de oxigênio e hidrogênio, em comparação com o carbono, o valor energético de um combustível é reduzido, devido a menor energia contida em carbono (C) – oxigênio (O) e carbono (C) – hidrogênio (H), que em ligações carbono (C) –carbono (C).

A tabela 06 mostra a composição química de alguns resíduos vegetais.

Tabela 06: Análise Elementar de Algumas Espécies Vegetais

Espécie	C	H	N	S	O	Cinzas
Casca de Arroz	38,24	4,40	0,80	0,06	35,50	21
Pinheiro	59	7,2	-	-	32,7	1,1
Caroço de Açaí	46	6	0,8	-	46	1,2

Fonte: EBMA *apud* NOGUEIRA; RENDEIRO, 2008.

3.2.3.5 Poder Calorífico

Segundo Quirino (2011), o poder calorífico é a quantidade de calorias liberadas por um material em sua combustão completa. Ainda para Nogueira (2003), quando ocorre combustão completa de uma unidade de combustível este libera energia térmica e é geralmente medido em termos da energia por conteúdo por unidade de massa ou volume, daí Mj/kg (sólidos), a Mj/l para líquidos e por fim para gases para Mj/Nm³. De uma maneira geral, essa propriedade depende da composição da biomassa e do seu grau de umidade.

O Poder Calorífico pode ser dividido em Superior e Inferior:

- a) Poder Calorífico Superior (PCS): Segundo Nogueira (2007) e Van Wylen (1998) *apud* Klautau (2008), PCS representa o calor liberado, ou seja, a quantidade máxima de energia que pode ser obtida da transferência de calor do combustível. O PCS pode ser obtido de duas maneiras: Por Bomba Calorimétrica, qual consiste em colocar “n” quantidade de biomassa dentro de uma bomba calorimétrica seguindo os procedimentos ditados pela NBR 8633 (Carvão Vegetal Determinação do Poder Calorífico), qual dará o valor do PCS, ou pela Análise Elementar, pois através da mesma é possível relacionar do PCS de uma biomassa com a quantidade de ligações químicas envolvendo seus elementos. Conhecendo-se a fração mássica dos componentes da biomassa, então conseqüentemente é possível calcular o PCS.

Tabela 07: Poder Calorífico de Diversas Biomassas.

Biomassa	PCS (KJ.kg⁻¹)
Bagaço de Cana	8903,40
Lenha	12958,00
Casca de Arroz	16775,60
Restos de Algodão	16775,60
Eucalipto	18420,00
Sabugo de Milho	18972,60
Cascas de Castanhas	20470,30
Madeira Picada	20470,30
Carvão	30900,00

Fonte: Eletrobrás, 2005; Lopes, 2002; Mata 1981 apud Filho 2009.

- b) Poder Calorífico Inferior (PCI): Calegari *et al* (2005) e Van Wylen (1998) *apud* Klautau (2008) apontam PCI como a quantidade de calor liberado durante a combustão sendo que a água está no estado de vapor. O PCI é calculado a partir do PCS, porém considerando o teor de umidade que está presente no combustível, ou seja, corresponde a quantidade de calor útil para acontecer a queima da biomassa esta análise retrata melhor a qualidade do combustível.

Segundo Carioca, (1985) *apud* Filho (2009), tanto o Poder Calorífico Superior PCS ou Inferior PCI de uma determinada biomassa é a propriedade físico-química mais importante a considerar para a escolha de um processo termoquímico.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi realizado no Laboratório de Solos e Saneamento Básico da Universidade Estadual do Oeste do Paraná/ UNIOESTE, *campus* de Cascavel-Pr.

4.1 Resíduos Agrícolas

Os resíduos utilizados neste experimento são resultados do processo de industrialização das culturas agrícolas citadas. A Casca de Arroz e o Resíduo de Soja foram provenientes de uma usina de beneficiamento, sendo coletados depois do processo de industrialização. O Sabugo de Milho e o Bagaço de Cana foram coletados a campo, logo após foram colocados em um moedor para que tivessem uma granulometria menor com a qual ficasse mais adequado para realizar os experimentos.

4.2 Propriedades Físicas da Biomassa *In natura*

Para levantamento das Propriedades Físicas da Biomassa *in natura* foram realizados ensaios granulométricos.

4.2.1 Granulometria

Foram pesadas em uma balança analítica as biomassas (casca de arroz, resíduos de soja e sabugo de milho) para quantificar a granulometria. Estes resíduos foram adicionados em peneiras com granulometria que variaram de 2.36 mm ou Mesh 5

até 1.18 mm ou Mesh 14 da marca Bertel (figura 04), sendo agitados por cinco minutos. Neste procedimento foi separado a granulometria adequada para as outras análises.



Figura 04: Conjunto de Peneiras Mesh 5-14.

4.3 Fatores Externos

Para controlar a temperatura em que a amostra seria utilizada, as mesmas foram colocadas em uma unidade de aquecimento, como mostra a figura 05, cuja temperatura foi controlada em 30°C.

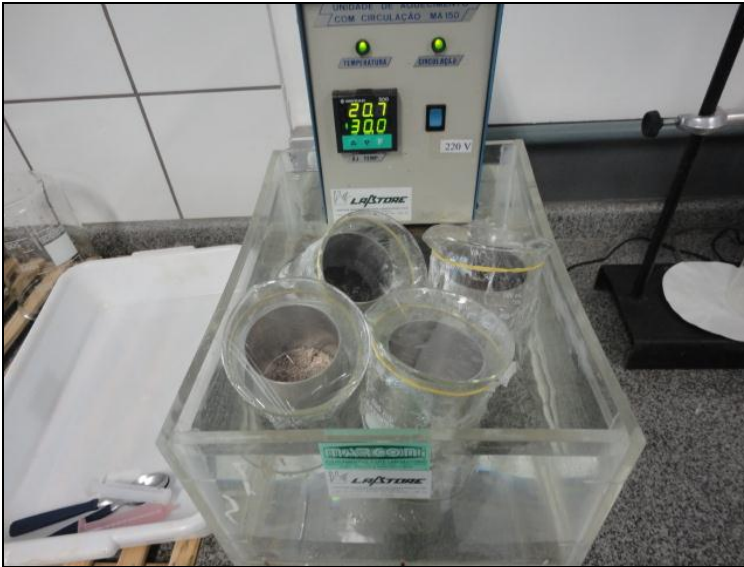


Figura 05: Unidade de Aquecimento.

4.4 Análise Imediata da Biomassa *In natura*

Para a determinação da Análise Imediata da biomassa *in natura*, regida pela NBR 8112 citado por Nogueira e Rendeiro (2008), fizeram-se necessário determinar o Teor de Umidade, Teor de Material Volátil, Teor de Cinzas e Teor de Carbono Fixo. Onde para cada amostra de biomassa foram realizadas três repetições.

A partir dos resultados obtidos dos teores de cada resíduo foi efetuado um boxplot pelo programa Minitab 15, este programa é um software estatístico qual fornece as ferramentas necessárias para analisar os dados (MINITAB, 2012).

4.4.1 Determinação Teor de Umidade

As amostras foram introduzidas em uma estufa a $100 \pm 10^\circ\text{C}$ até que a massa ficasse constante. Os dados da estufa junto da equação (3) permitiram determinar o teor de umidade.

$$Tu = \frac{m1 - m2}{m1} \times 100 \quad (3)$$

Onde: m_1 é a massa inicial (gramas) da biomassa e m_2 é a massa final (gramas).

4.4.2 Determinação Teor de Voláteis

Após a determinação do teor de umidade, a mesma matéria de biomassa foi introduzida em uma mufla da marca Quimis Q318M à 850 ± 10 °C por sete minutos. Depois disto a amostra foi então colocada em um dessecador para resfriamento da mesma e posterior pesagem, como pode ser observado na figura 06.



Figura 06: Biomassa na Mufla para Análise e Posteriormente colocada em um Dessecador.

O teor de voláteis foi determinado pela equação (4) a seguir:

$$Tv = \frac{m_2 - m_3}{m_2} \times 100 \quad (4)$$

Sendo: T_v : teor de voláteis; m_2 massa final do teor de umidade em gramas; m_3 massa final (gramas) depois da mufla.

4.4.3 Determinação Teor de Cinzas

A amostra (biomassa) já sem umidade e voláteis foi colocada na mufla Quimis Q318M a uma temperatura de 710 ± 10 °C por uma hora (meia hora com a porta meio aberta e meia hora com a porta da mufla fechada). O teor de cinzas foi calculado utilizando a equação a seguir:

$$T_c = \frac{m_3 - m_4}{m_3} \times 100 \quad (5)$$

Onde T_c : teor de cinzas; m_3 massa em gramas depois do procedimento anterior; m_4 massa final (g).

4.4.4 Determinação Teor Carbono Fixo

Esta foi a última análise a ser realizada, sendo que este foi obtido por diferença através da equação, a qual se baseia em:

$$T_{cf} = 100 - (T_v + T_c) \quad (6)$$

Onde: T_{cf} : teor de carbono fixo; T_v teor de voláteis (%) e T_c teor de cinzas (%).

4.5 Poder Calorífico Superior

Neste procedimento as amostras previamente secas, *in natura* (pesando quatro gramas) foram colocadas em uma bomba calorimétrica isotérmica modelo E2K, como mostra a figura 07, para quantificar a quantidade de calor a ser liberada pela amostra, ou seja, o Poder Calorífico Superior.



Figura 07: Bomba Calorimétrica utilizada.

4.6 Processo de Carvoejamento

Este processo consistiu na queima das biomassas em mufla (Quimis Q318M) a $450 \pm 10^{\circ}\text{C}$ por 3,5 horas. Após o carvoejamento a amostra foi colocada em um dessecador e posteriormente pesada sua nova massa para iniciar a análise imediata da biomassa carbonizada.

4.6.1 Análise Imediata do Carvão

As análises da biomassa carbonizada (teor de umidade, teor de material volátil, teor de cinzas e teor de carbono fixo) partiram da mesma premissa da análise imediata realizada para a biomassa *in natura*.

4.6.2 Poder Calorífico Superior

Neste procedimento as amostras já carbonizadas, (pesando quatro gramas) foram estabelecidas em uma bomba calorimétrica isotérmica, modelo E2K, para quantificar a quantidade de calor a ser liberada pela amostra.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados foram divididos em três partes sendo a primeira resultante das análises da biomassa *in natura*; a segunda referente a biomassa carbonizada e a última a comparação dos resultados obtidos nas duas análises realizadas.

5.1 Granulometria

As amostras de biomassa de casca de arroz e casca de soja apresentaram maior quantidade no MESH 14, sendo que o do sabugo de milho esteve na faixa do MESH 5. Esta variação de quantidade em diferentes MESH pode ser analisada na figura 08.

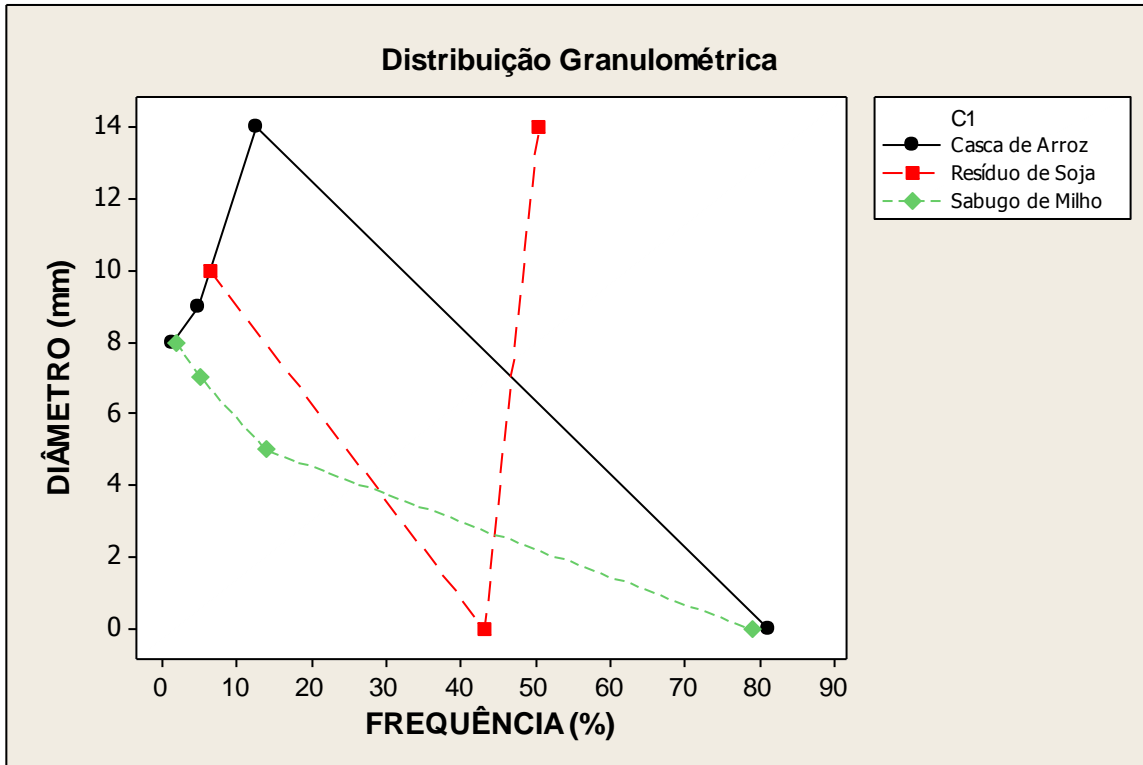


Figura 08: Distribuição da Granulométrica dos Resíduos.

Como pode ser visualizada na figura 08, a maior frequência da Casca de Arroz foi em uma granulometria pequena demais para se trabalhar (por se tratar de quase pó), optou-se então, por uma granulometria maior e de maior frequência sendo a de Mesh 14 (1,18mm) com 50,32g ou 12,58%. O Resíduo de Soja também apresentou maior frequência na menor granulometria, sendo utilizada a obtida na peneira no Mesh 14 com 50,39%. Para os ensaios realizados com o Sabugo de Milho utilizou-se a granulometria de Mesh 5 com 13,89%.

A granulometria interfere na zona de combustão, ou seja, quando as partículas são desuniformes as mesmas acarretam queima irregular da carga de zona de combustão.

5.2 Análise Imediata da Biomassa *In natura*

Esta análise forneceu dados sobre o Teor de Umidade, Teor de Material Volátil, Teor de Cinzas e Teor de Carbono Fixo dos resíduos agrícolas em estudo, na **tabela 08** pode ser visualizado a média encontrada para estes teores.

Tabela 08: Resultados da Análise Imediata Biomassa *in natura*.

Biomassa	Teor Médio de Umidade (%)	Teor Médio de Material Volátil (%)	Teor Médio de Cinzas (%)	Teor de Carbono Fixo (%)	PCS (%)
Resíduo de Soja	12,23	89,90	3,29	6,81	16,47
Casca de Arroz	11,31	82,09	15,51	2,39	14,67
Bagaço de Cana	46,16	98,59	0,94	0,47	15,54
Sabugo de Milho	16,93	98,19	0,70	1,11	16,00

5.2.1 Determinação Teor de Umidade

A figura 09 mostra a variação do teor de umidade nos resíduo, assim como a média das três repetições realizadas.

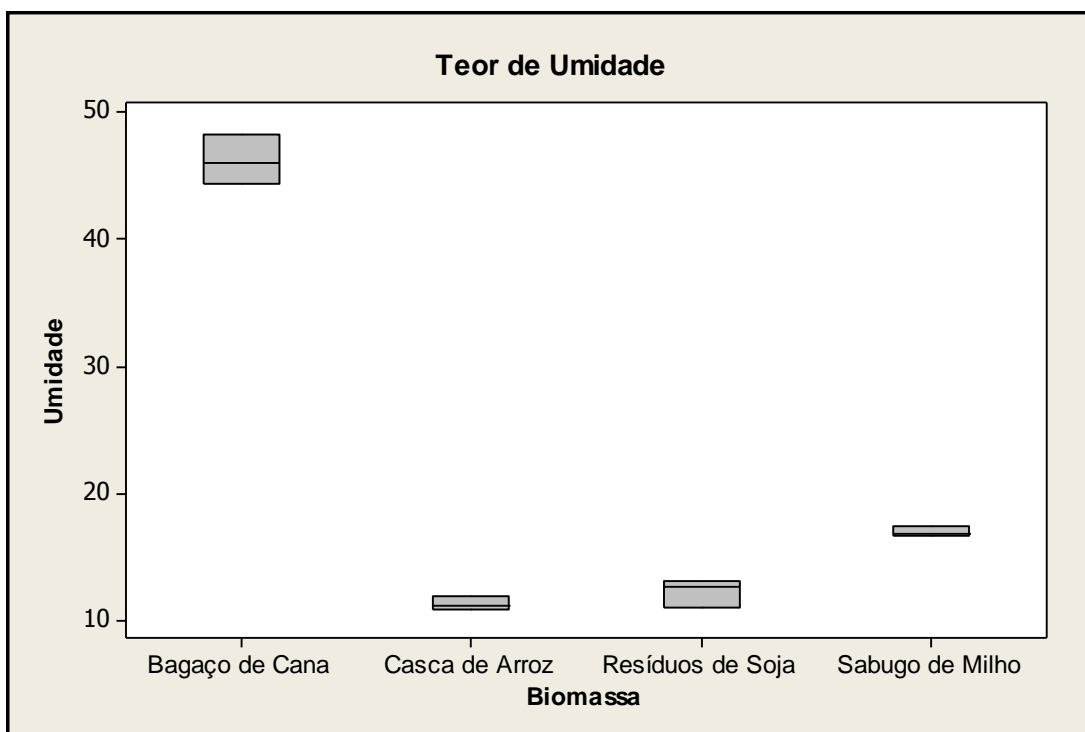


Figura 09: Variação e Média do Teor de Umidade.

O teor de umidade médio encontrado no bagaço de cana foi de 46,2%, para Petrobrás (1982) apud Silva e Morais (2008) este resíduo apresenta umidade aproximadamente em 50%. Segundo Diniz (2005) e Morais *et al* (2011) o teor de umidade da casca de arroz está aproximadamente entre 7,9% e 10,61%, neste estudo a média das três repetições representou 11,31%, estando próximo dos valores encontrado na literatura.

Para os Resíduos de Soja o valor médio resultante deste experimento foi de 12,23% enquanto que para os autores Werther *et al* (2000) foi de 6,3%. A média do teor para o sabugo de milho foi de 16,93% concordando com o valor presente no trabalho de Lima (2004), o qual diz que a umidade encontrada no sabugo de milho foi 17,1%.

Quando a biomassa apresenta um alto teor de umidade o mesmo faz com que o processo de combustão seja mais baixo, isto comparado quando utilizado material seco. Assim, quanto maior o valor da umidade presente na biomassa mais energia é necessária para iniciar o processo de queima, ou seja, mais energia é requerida para vaporizar a água e menos energia então é fornecida para a reação endotérmica (a queima). Brand (2008) e Klautau (2008) relatam que a presença de umidade dificulta esta queima, pois o poder calorífico é reduzido, aumentando o consumo do combustível. Brand (2008) afirma ainda que a presença de um alto valor de umidade gera poluição ambiental devido ao aumento do volume de produtos de combustão e de material particulado, sem contar que o processo de corrosão é acelerado na parte final do gerador de vapor e acúmulo de sujeira nas superfícies de aquecimento.

Em se tratando de processo de conversão da biomassa em combustível, especificamente na gaseificação, Hoffman (2010) diz que um alto teor de umidade não gera dificuldades técnicas na gaseificação, mas sim uma redução na eficiência do processo, pois a energia necessária para evaporar a água e manter a temperatura de operação se obtém pela alimentação de mais combustível e oxidante.

Em suma, a umidade é um fator limitante na escolha do combustível (biomassa), não sendo permitido valores acima de 50%, pois acima deste ponto é liberada energia insuficiente para a combustão e conseqüentemente para a produção de calor (KLAUTAU, 2008). Através dos dados encontrados (como pode ser visualizado na tabela 08), o bagaço de cana é o resíduo com maior umidade, necessitando antes do início do processo uma secagem para que o mesmo libere energia suficiente ao processo de queima, os demais não apresentam umidade que possa interferir no processo.

5.2.2 Determinação do Teor de Voláteis

O teor de voláteis encontrado nos resíduos é mostrado na figura 10.

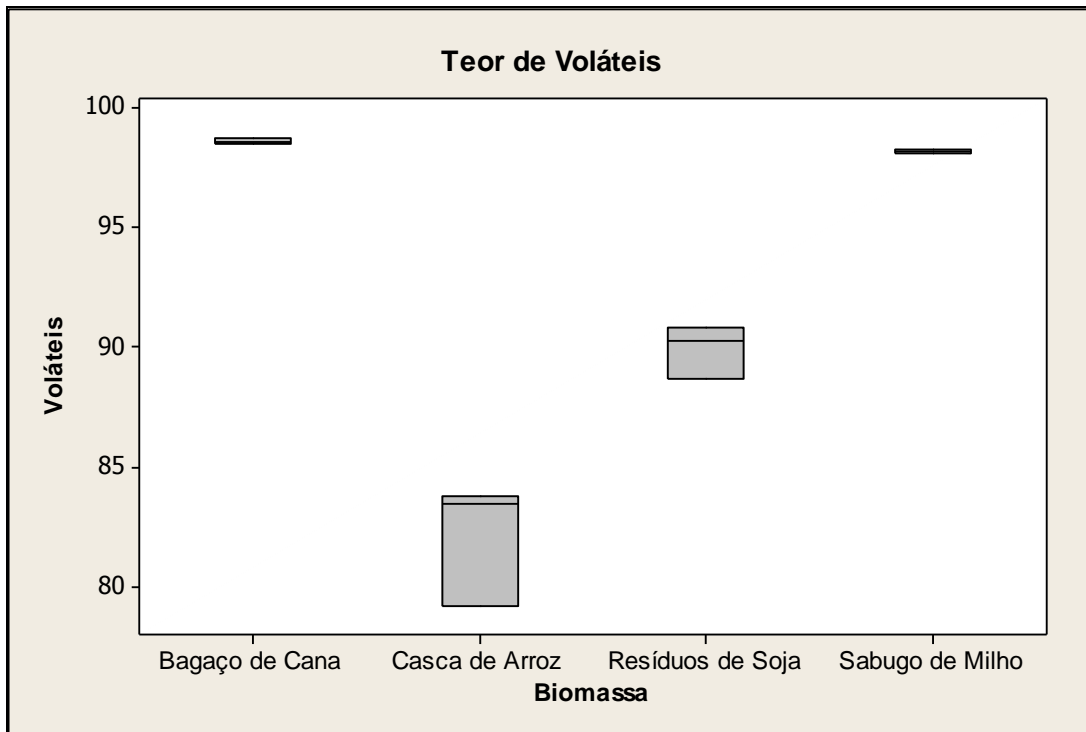


Figura 10: Variação e Média do Teor de Voláteis.

No estudo de Rocha, Pérez e Cortez (2004) o bagaço de cana apresentou um teor de volátil de 79,7%, já para Jenkins *et al* (1998) este teor foi de 85,61% e de 82,3% recentemente para Paula *et al* (2011), entretanto neste estudo o teor apresentou uma média de 98,6%.

Para Morais *et al* (2011) a casca de arroz contém 64,26% de volátil e para Diniz (2005) o valor está na faixa de 59,5%. Porém para Rocha, Perez, Cortez (2004) este valor é de 70,01%, neste experimento o valor médio foi de 82,09%, variando de 79,14 à 83,74%. A diferença dos valores (entre este estudo e a literatura) pode ser devido a metodologia empregada ser diferente e os resíduos não serem da mesma região.

Os Resíduos de Soja apresentaram um teor que variou de 88,67 à 90,77%, apresentando uma média de 89,90%, outrem para Werther *et al* (2000) esta média foi de 69,6%. O sabugo de milho teve uma média de 98,18%, sendo que na literatura foi encontrado o valor de 81,31% no trabalho de Paula *et al* (2011), 87,4 % apresentado por Demirbas (2004) e 73,50%.por Rocha, Pérez, Cortez (2004).

A biomassa ao apresentar um alto teor de voláteis tem maior facilidade de incendiar e queimar, embora o processo de combustão ser rápido o mesmo é difícil de controlar. Um alto teor de matérias voláteis também pode afetar o processo de combustão em geral.

5.2.3 Determinação Teor de Cinzas

A análise do teor de cinzas foi realizada após três repetições em cada biomassa, sendo estes resultados exibidos no boxplot (da figura 11).

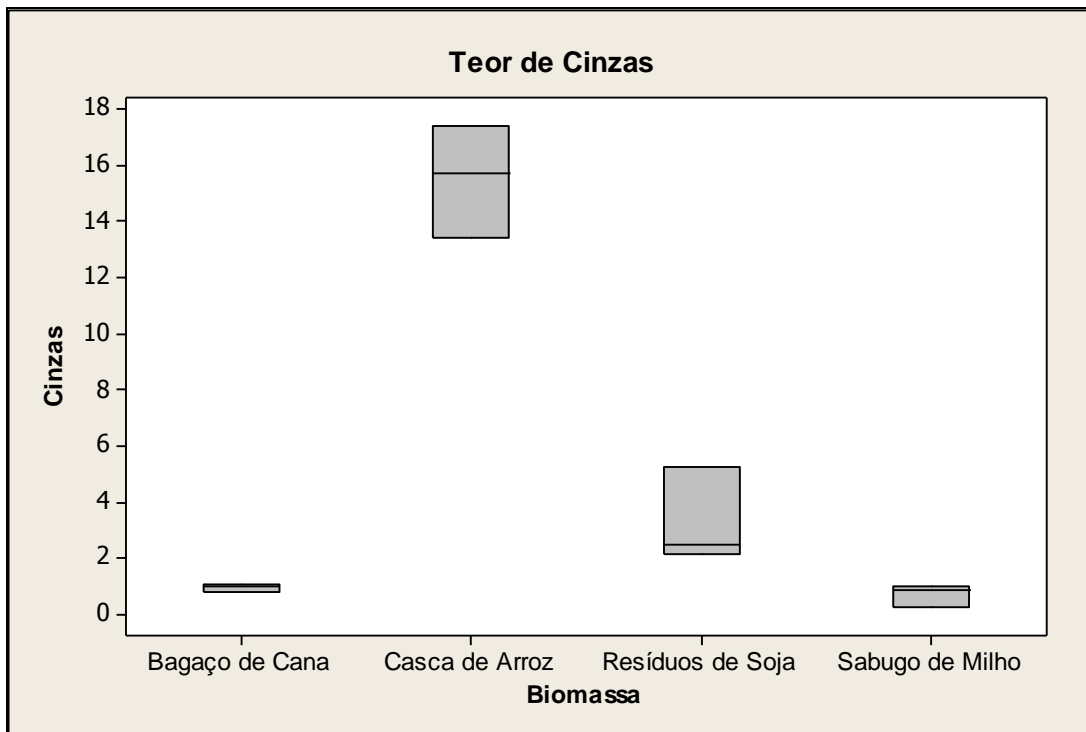


Figura 11: Variação e Média do Teor de Cinzas.

Para Demirbas (2004) o teor de cinzas no bagaço é de 11,30%, neste experimento foi de 0,94%. Esta variação entre os dados deste ensaio para a literatura pode ser explicado ao fato que o bagaço é um material muito heterogêneo contendo várias frações fibrosas de propriedades diferentes (KATYAL, THAMBIMUTHU, VALIX, 2003).

Nesta análise a média do teor de cinzas encontrada na casca de arroz foi 15,51%, próximo ao valor encontrado por Diniz (2005) onde o mesmo resultou em 17,1%. Porém para Demirbas (2004), Morais *et al* (2011) e Souza (2007) este valor foi de 23%.

Os resíduos de soja apresentaram uma média de 3,29%, para Werther *et al* (2000), a quantidade de cinzas foi de 5,1%. Ainda observou-se no estudo que o sabugo de milho contém 0,7 % de cinzas em sua estrutura, próximo ao valor encontrado por Demirbas (2004) 1,1%, para Rocha (2002) a quantidade de cinzas é de 2,8%.

Segundo Hoffmann (2010) um alto teor de cinzas leva a uma diminuição da eficiência devido ao aumento do consumo de oxigênio para derreter as cinzas e pela perda de calor com a saída das cinzas do reator, que não pode ser plenamente recuperado. Relata ainda, que para a gaseificação o menor teor de cinzas inibe o entupimento e incrustações por escórias no equipamento.

Como a umidade, o teor de cinzas também interfere no poder calorífico causando perda de energia, além de prejudicar a transferência de calor. Brand (2008) e Klautau (2008) concordam quando se referem na remoção das cinzas (pois a mesma permanece no local do processo de combustão), devido ao fato que as cinzas são consideradas material abrasivo quais podem vir a causar problemas de corrosão em equipamentos metálicos.

Como percebeu-se na tabela 08 os resíduos, exceto a casca de arroz, não apresentaram em sua estrutura um alto teor de cinzas, pois para Vale *et al* (2011) os valores acima de 7% comprometem o processo de combustão.

5.2.4 Determinação Teor Carbono Fixo

O teor de carbono fixo está relacionado à quantidade de cinzas e volátil, pois o mesmo representa a massa restante após a saída de compostos voláteis, excluindo as cinzas e teores de umidade. Na figura 12 pode ser observado a variação do teor de carbono fixo na biomassa

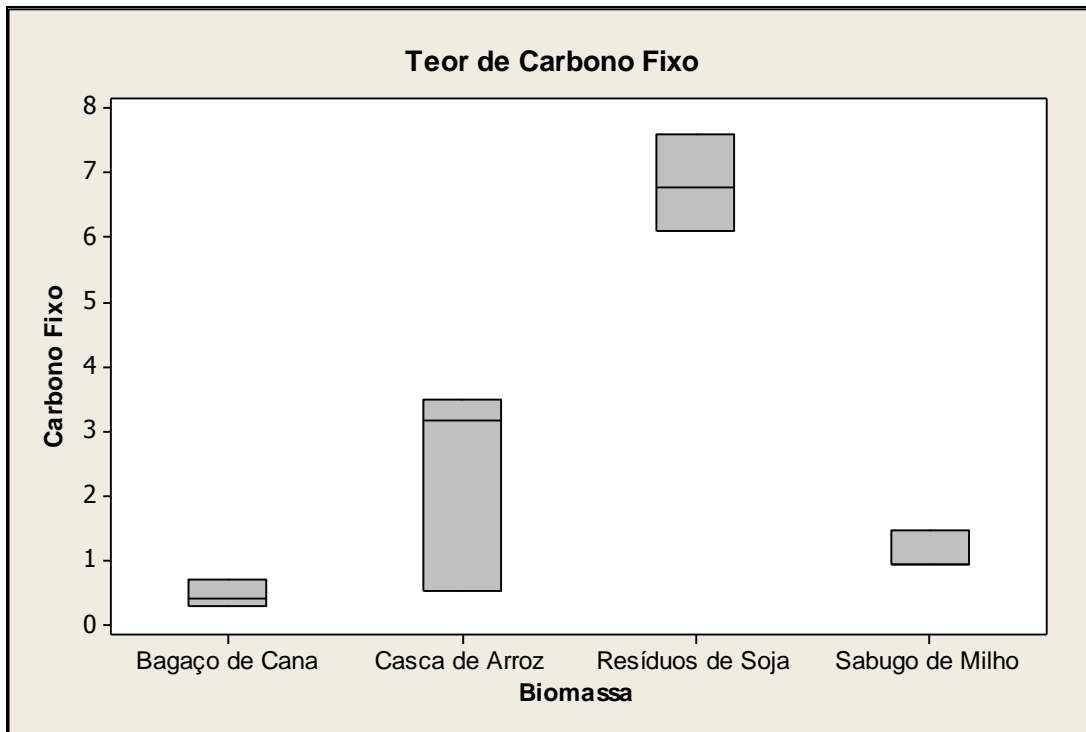


Figura 12: Variação e Média do Teor de Carbono Fixo.

O teor de Carbono Fixo presente no bagaço de cana (em estudo) teve uma média de 0,47% enquanto que na literatura (Paula *et al* (2011)) este valor foi de 17,16%. A Casca de Arroz apresentou um teor de 11,90% no trabalho de Moraes *et al* (2011), neste trabalho variou de 0,54 à 3,48%. A média de Carbono Fixo no resíduo de soja foi de 6,81%, no estudo de Werther *et al* (2000) foi 19%, e para Paula *et al* (2011) este valor foi de 18,06% outrem no sabugo de milho para este mesmo autor, foi encontrado o valor de 18,32% sendo que neste estudo foi de 1,11%.

O percentual de carbono fixo presente estabelece a quantidade de calor gerado, sendo que quanto maior este percentual mais lentamente o combustível irá queimar (STURION; PEREIRA; CHEMIN, 1988).

Os resultados obtidos da análise imediata diferiram de alguns estudos encontrados devido os mesmos não descrevem a metodologia que o mesmo utilizou podendo conter algumas diferenças do método utilizado por este. Outra razão se deve ao fato que os resíduos não são da mesma localização geográfica, do mesmo solo, o que interfere na composição química dos resíduos e conseqüentemente nos resultados

obtidos. A condição meteorológica em que o procedimento é realizado também pode interferir, principalmente na umidade.

5.3 Poder Calorífico Superior PCS

A figura 13 demonstra a variação e também a média do PCS encontrado nos resíduos.

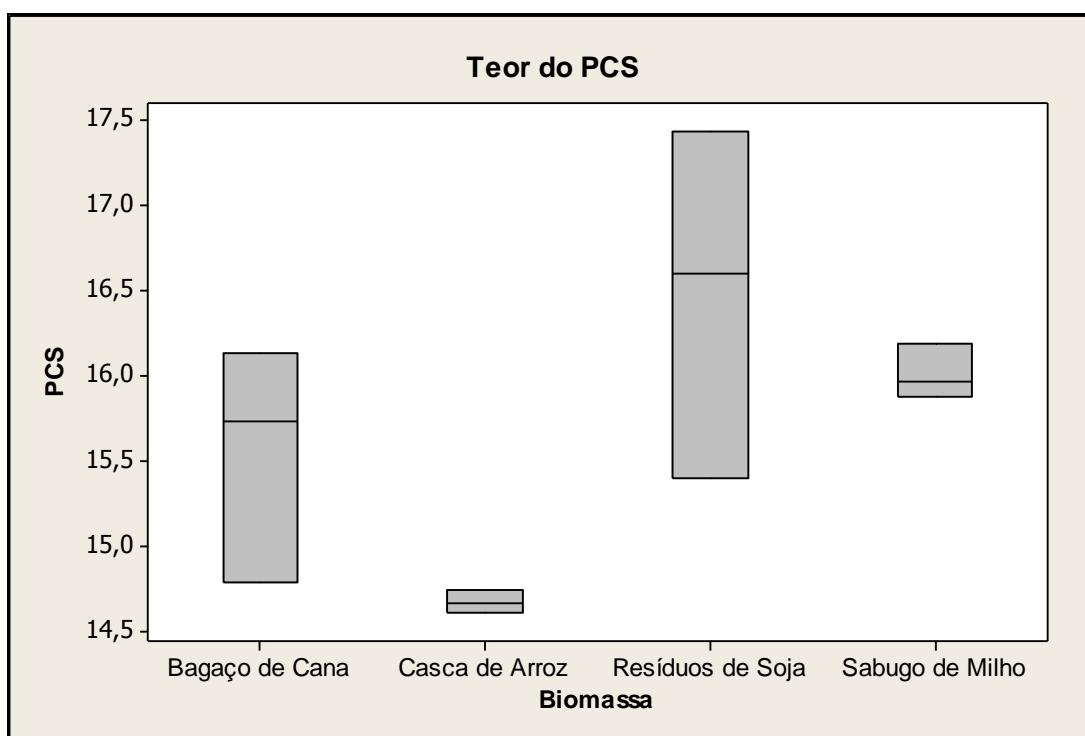


Figura 13: Variação e Média do Poder Calorífico.

O bagaço de cana, segundo Rocha (2002), apresentou um poder calorífico superior (PCS) de $16,29 \text{ MJ.kg}^{-1}$ e para Cortez, Lora e Ayarza (2008) foi de $18,4 \text{ MJ.kg}^{-1}$. Neste estudo, como pode ser observado na figura 16, o PCS variou de $14,78 \text{ MJ.kg}^{-1}$ a $16,13 \text{ MJ.kg}^{-1}$, tendo uma média de $15,55 \text{ MJ.Kg}^{-1}$.

Para Morais *et al* (2011) a casca de arroz apresentou um PCS de $12,92 \text{ MJ.kg}^{-1}$, já para Rocha (2002) este valor foi de $15,29 \text{ MJ.Kg}^{-1}$, neste projeto a casca de arroz

teve uma média de $14,67 \text{ MJ.kg}^{-1}$, estando próximo aos valores encontrados na literatura.

A média do Resíduo de soja referente ao PCS foi de $16,47 \text{ MJ.kg}^{-1}$, para Paula *et al* (2011) este valor foi de $18,86 \text{ MJ.kg}^{-1}$. Segundo Rocha (2002), o sabugo de milho tem um poder calorífico de $15,65 \text{ MJ.kg}^{-1}$, próximo ao valor encontrado neste estudo, o qual foi $16,00 \text{ MJ.kg}^{-1}$.

Como dito anteriormente o PCS é a quantidade de energia liberada durante a transferência de calor, assim quanto mais energia é liberada, ou seja, maior o PCS, melhor a eficiência do processo.

5.4 Processo de Carvoejamento

A carbonização foi realizada por existir diferença entre a biomassa *in natura* e o carvão vegetal, tal diferença está nas características (teor de umidade, voláteis, cinzas e carbono fixo) dos resíduos. A tabela abaixo, demonstra os valores encontrados para esta Análise.

Tabela 09: Resultados da Análise Imediata Biomassa Carbonizada.

Biomassa	Teor Médio de Umidade(%)	Teor Médio de Material Volátil (%)	Teor Médio de Cinzas (%)	Teor de Carbono Fixo (%)	PCS (%)
Resíduo de Soja	13,80	10,86	0,64	88,44	24,84
Casca de Arroz	15,30	18,76	0,56	80,68	16,74
Bagaço de Cana	6,98	38,64	4,91	56,45	20,93
Sabugo de Milho	5,40	30,74	6,97	62,29	8,93

5.4.1 Análise Imediata do Carvão

5.4.1.1 Determinação Teor de Umidade

O teor de umidade presente nas biomassas em estudo foi descrito no boxplot apresentado na figura 14.

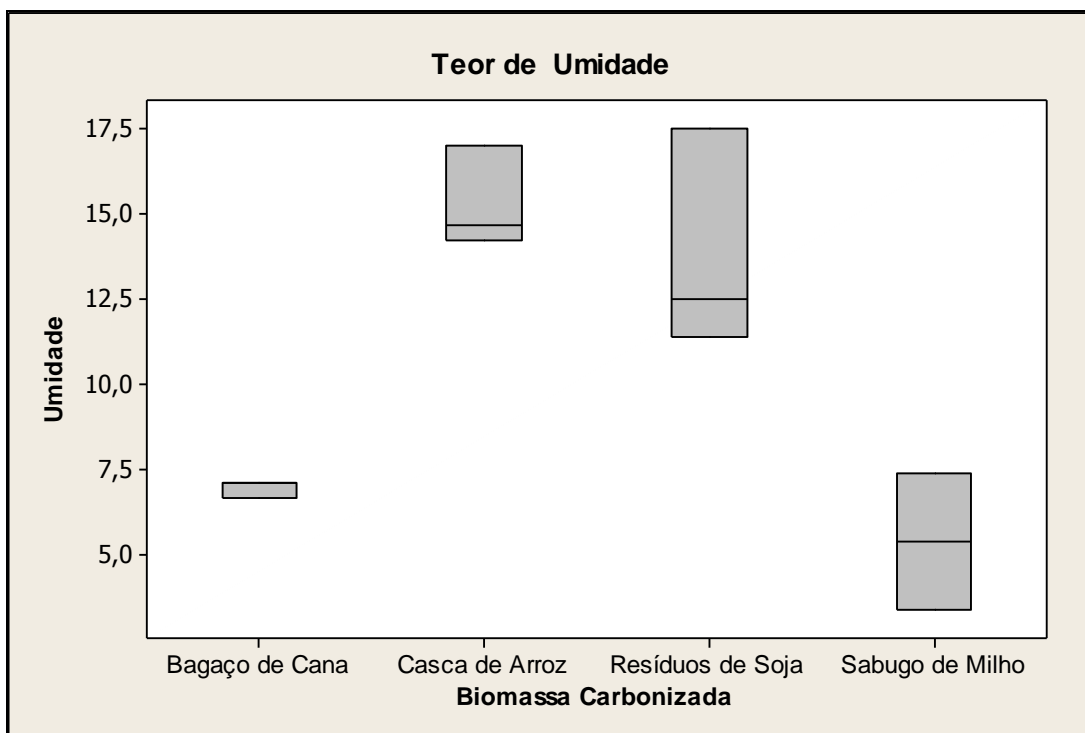


Figura 14: Variação e Média do Teor de Umidade das Biomassas Carbonizadas.

O bagaço de cana, em estudo, apresentou uma média do teor de umidade de 6,98%, no trabalho de Arantes *et al* (2008) esta média foi de 5% e para Katyal, Thambimuthu, Valix (2003) o teor foi representado por 8,20%.

A casca de arroz carbonizada apresentou na literatura, no trabalho de Souza *et al* (2007) um teor de umidade de 4,66%, sendo que neste trabalho este teor variou de 14,22 à 17,03%, apresentando uma média de 15,30%, esta discrepância pode estar

associada a metodologia empregada por ambos ser diferente e devido as cascas de arroz serem provenientes de lugares e climas diferentes.

O resíduo de soja teve uma grande variação no teor de umidade (11,41 à 17,50%) com uma média de 13,80%, não foi encontrado nem um trabalho referente a carbonização do resíduo de soja para comparar os valores encontrados por este. Já o sabugo de milho apresentou uma média de umidade de 5,40%, no estudo de Arantes *et al* (2008) este valor foi de 6%.

O teor de umidade exerce as mesmas influências citadas para a biomassa *in natura* já descrita na discussão e revisão deste trabalho. Um alto teor de umidade prejudica a eficiência do processo de combustão e a densidade energética do carvão, pois a mesma diminui o que eleva os custos de transporte.

5.4.1.2 Teor de Material Volátil

A variação do teor de voláteis presente no carvão pode ser observada na figura 15.

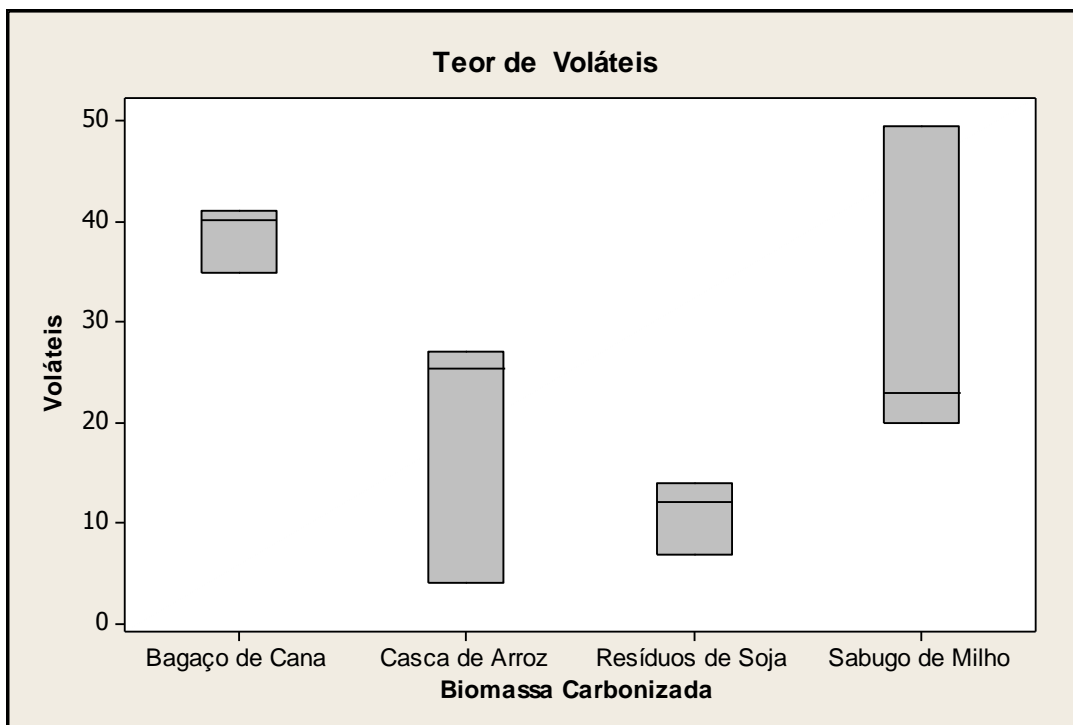


Figura 15: Variação e Média do Teor de Voláteis das Biomassas Carbonizadas.

No bagaço de cana o teor de volátil encontrado foi de 38,63% já no trabalho de Arantes *et al* (2008) este teor foi de 25%.

A quantidade de volátil presente na casca de arroz neste trabalho variou de 3,91 a 26,99%, como pode ser observado na figura 18, com média de 18,76%. Para Souza *et al* (2007) a quantidade de volátil encontrada foi de 8,32 %.

Para o Resíduo de Soja, o teor foi de 10,86%. No sabugo de milho o teor de voláteis encontrado variou de 19,86 a 49,51%, tendo uma média de 30,74%, concordando com Arantes *et al* (2008) qual aponta o teor de 31%.

Quanto menor o teor de volátil presente no carvão, este queimará lentamente durante o processo de produção de energia, garantindo assim um aproveitamento do produto. Outras implicações da quantidade de material volátil foram citadas anteriormente quando se falou deste teor na biomassa *in natura*.

5.4.1.3 Teor de Cinzas

Os resultados obtidos neste procedimento podem ser visualizados na figura 16 abaixo.

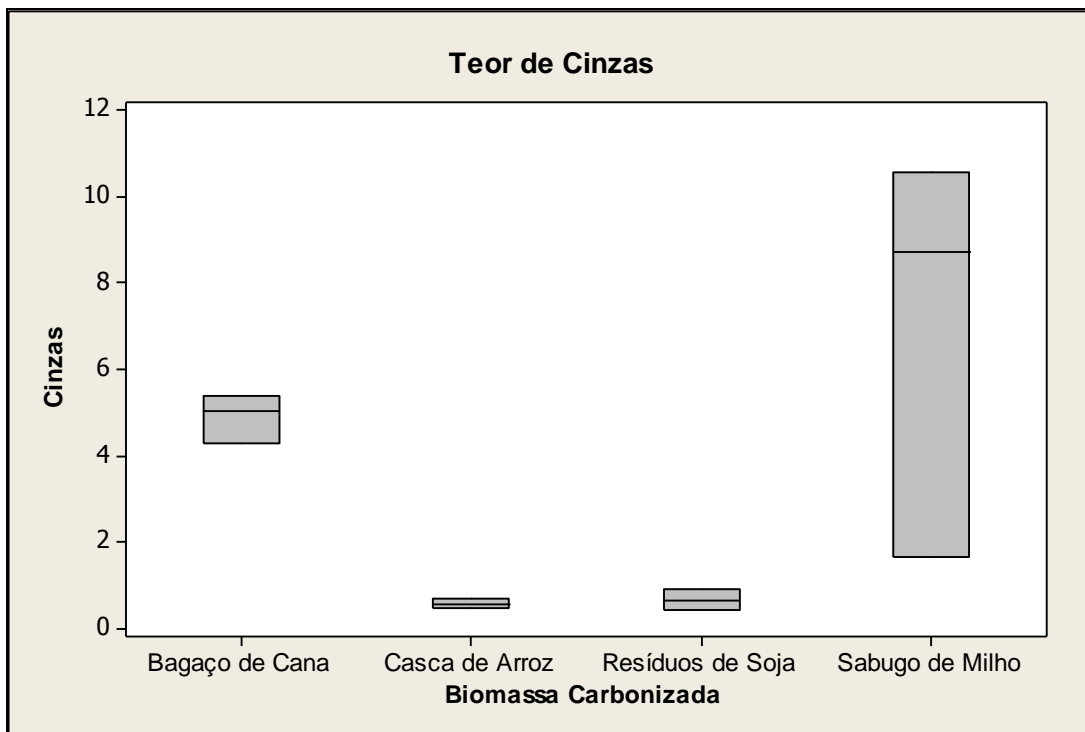


Figura 16: Variação e Média do Teor de Cinzas das Biomassas Carbonizadas.

O teor de cinzas encontrado neste estudo para o bagaço de cana foi de 4,91%, para Katyal, Thambimuthu e Valix (2003) foi 4,20% e no trabalho de Arantes *et al* (2008) este valor foi de 28%. Para Souza *et al* (2007) a casca de arroz apresentou um teor de cinzas de 46,04%, outrem neste trabalho a média deste teor foi de apenas 0,56%, estes dados são discrepantes devido a metodologia empregada ser diferente e a casca de arroz serem provenientes de regiões diferentes o que pode interferir na sua composição química e consequentemente no teor de cinzas e sua composição.

O Resíduo de Soja tem uma média de 0,64% de cinzas, não foi encontrado trabalhos com este resíduo por ainda ser incipiente como gerador de energia e seu uso estar concentrado na alimentação bovina. No sabugo de milho a quantidade é de 6,97 %, já para Arantes *et al* (2008) este valor foi 21%.

A influência da quantidade de cinzas presente na biomassa carbonizada é a mesma exercida na *in natura*, a qual já foi citada.

5.4.1.4 Teor de Carbono Fixo

A variação do valor obtido de carbono fixo foi descrita na figura 17.

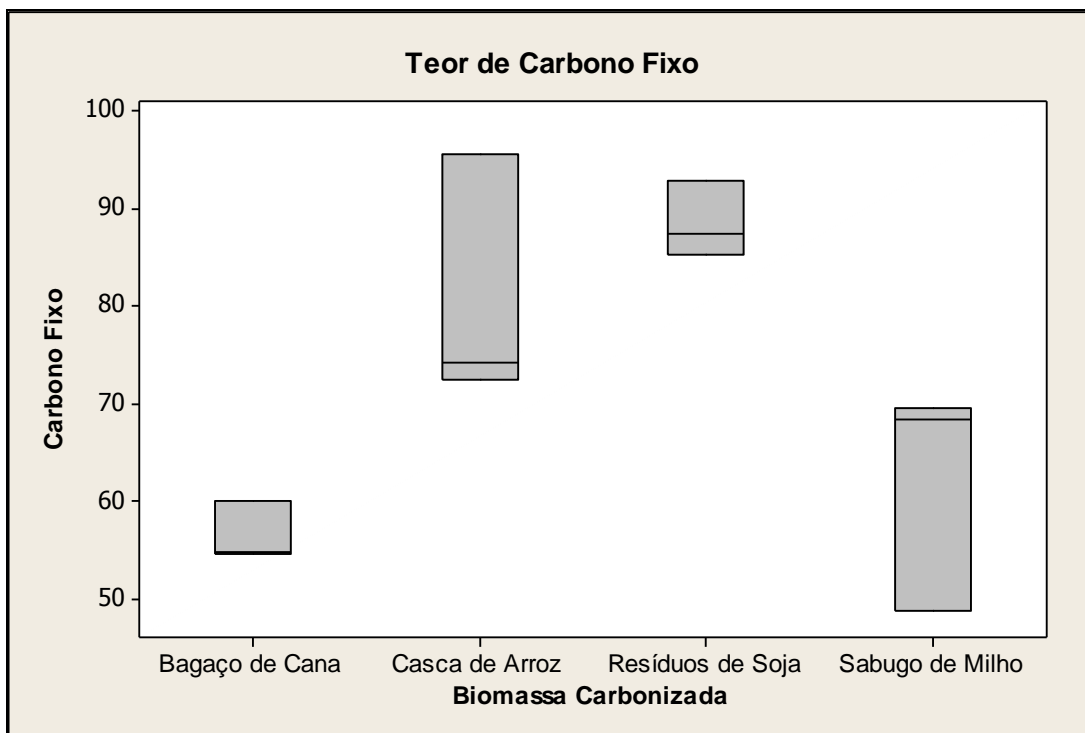


Figura 17: Variação e Média do Teor de Carbono Fixo das Biomassas Carbonizadas.

A quantidade de Carbono Fixo presente no bagaço de cana carbonizada obtida neste trabalho foi de 88,44%. A Casca de Arroz apresentou um teor de 80,68%, para Souza *et al* (2007) este valor foi de 45,65%.

O resíduo de soja apresentou um teor de carbono fixo de 88,44% O sabugo de milho continha em sua estrutura 62,29% de carbono fixo

Como já mencionado, quando o carvão vegetal apresenta um alto teor de carbono fixo, maior é a quantidade de calor gerado, pois ele é o responsável pela geração de gás.

Como dito anteriormente os resultados obtidos neste estudo diferiram de alguns trabalhos encontrados, podendo ser explicado pela metodologia adotada ser diferente,

pela forma de coleta dos resíduos e pelos mesmos serem de localização geográfica diferente.

5.4.2 Poder Calorífico Superior

A figura 18 mostra a média e variação do PCS encontrado nos resíduos carbonizados.

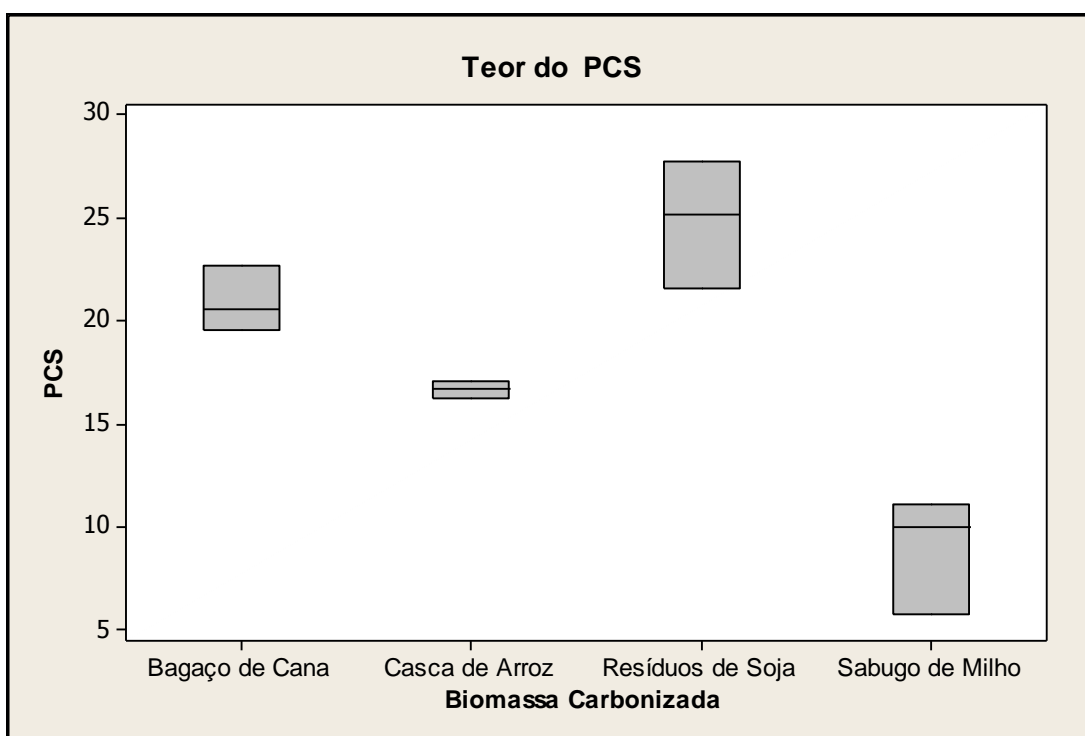


Figura 18: Variação e Média do Poder Calorífico Superior das Biomassas Carbonizadas.

O bagaço de cana apresentou um PCS de 20,93 MJ.kg⁻¹. Para a casca de arroz este valor foi de 16,74%, no trabalho de Souza *et al* (2007) o PCS encontrado foi de 15,33 MJ.kg⁻¹. O resíduo de soja mostrou um PCS de 24,84 MJ.kg⁻¹, já o sabugo de milho tem um PCS de 8,93 MJ.kg⁻¹.

O bagaço de cana tem uma média que varia próxima a do resíduo de soja e casca de arroz, entretanto o sabugo de milho ficou diferente dos três tratamentos, ou

seja, apresentou um PCS baixo como pode ser observado na tabela 17. O coeficiente de variação entre as biomassas foi de 50%.

5.5 Comparações entre Análise Imediata *In natura* e Carbonizada

Como dito anteriormente o carvão vegetal apresenta características diferente da biomassa *in natura*, as mesmas foram comparadas para demonstrar suas principais diferenças.

5.5.1 Teor de Umidade

Os resultados obtidos no Teor de Umidade da Biomassa tanto *in natura* quanto carbonizada foram comparadas, como pode ser visualizado na tabela abaixo 18.

Tabela 18: Média do Teor de Umidade da Biomassa *in natura* e Carbonizada.

	Resíduo de Soja	Casca de arroz	Bagaço de Cana	Sabugo de Milho
In natura	12,23	11,31	46,16	16,93
Carbonizada	13,80	15,30	6,98	5,40

Como pode ser visualizado na tabela 18 o resíduo de soja e casca de arroz *in natura* apresentaram um teor de umidade menor em relação quando carbonizados, um dos motivos pode ser a capacidade de absorção do carvão, assim o mesmo pode ter absorvido a umidade presente no ar, pois o experimento foi realizado em dias de tempo chuvoso, com alta umidade, diferentemente dos ensaios realizados com o bagaço e sabugo. O teor de umidade é de suma importância tanto para biomassa *in natura* quanto carbonizada, pois a mesma exerce influência sobre outras características dos resíduos, como exemplo o PC e a liberação de energia.

5.5.2 Teor de Material Volátil

O carvão vegetal em relação a Biomassa *in natura*, apresentou um Teor de Volátil menor, como pode ser observado na tabela 19, devido ao fato que quando os resíduos foram carbonizados o material volátil que os mesmos continham foram volatilizados. Diante disso a biomassa *in natura* pode ser gaseificada a temperaturas menores que o carvão vegetal. Quanto menor o material volátil o carvão queimarás mais lentamente durante o processo de produção de energia, ou seja, melhor será seu aproveitamento.

Tabela 19: Média do Teor de Material Volátil da Biomassa *in natura* e Carbonizada

	Resíduo de Soja	Casca de arroz	Bagaço de Cana	Sabugo de Milho
In natura	89,90	82,09	98,59	98,19
Carbonizada	10,86	18,76	38,64	30,74

5.5.3 Teor de Cinzas

Como dito anteriormente o teor de cinzas diminui o PCS e prejudica a eficiência do processo de geração de energia, portanto quanto menor este teor melhor será o rendimento. A tabela 20 mostra a comparação do teor de cinzas tanto na biomassa *in natura* quanto carbonizada.

Tabela 20: Média do Teor de Cinzas da Biomassa *in natura* e Carbonizada

	Resíduo de Soja	Casca de arroz	Bagaço de Cana	Sabugo de Milho
In natura	3,29	15,51	0,94	0,7
Carbonizada	0,64	0,56	4,91	6,97

Observou-se na tabela 20 que o resíduo de soja e a casca de arroz carbonizada apresentam um teor de cinzas baixo em relação à *in natura* e as demais biomassas, entretanto, o teor não influenciará no rendimento do processo de conversão em nenhum dos resíduos.

Segundo Vale *et al* (2011) teores de cinza acima de 7% são considerados elevados, tanto nas condições *in natura* e carvão.

5.5.4 Teor de Carbono Fixo

Nesta análise houve uma grande diferença entre os valores encontrados na biomassa *in natura* e carbonizada, como mostra a tabela 21.

Tabela 21: Média do Teor de Carbono Fixo da Biomassa *in natura* e Carbonizada

	Resíduo de Soja	Casca de arroz	Bagaço de Cana	Sabugo de Milho
In natura	6,81	2,39	0,47	1,11
Carbonizada	88,44	80,68	56,45	62,29

Percebeu-se pela tabela que os resíduos *in natura* apresentaram um teor de carbono fixo menor em relação aos resíduos já carbonizados, devido ao processo de carvoejamento, qual resulta em um combustível com grande quantidade (principalmente) de carbono (C) em sua estrutura, isto ao fato que a biomassa é altamente oxigenada, apresentando de 30-60% de C. Nestas condições, o resíduo carbonizado fornecerá maior quantidade de calor.

5.5.5 Poder Calorífico Superior

Como já citado, o PCS é a quantidade de calor que o material libera durante a queima, assim o mesmo é importante para que o processo de geração de energia seja eficiente. Na tabela 22 o PCS dos resíduos *in natura* e carbonizado são comparados para demonstrar a diferenças que existe entre os processos.

Tabela 22: Média do PCS da Biomassa *in natura* e Carbonizada

	Resíduo de Soja	Casca de arroz	Bagaço de Cana	Sabugo de Milho
In natura	16,00	14,67	16,47	15,55
Carbonizada	24,84	16,74	20,93	8,93

Como pode ser visualizado na tabela 22, com exceção do sabugo de milho, os resíduos carbonizados apresentaram um PCS maior que aos resíduos *in natura*, pois os mesmos apresentam um alto teor de C em sua estrutura o que influencia o PCS. Dentre as biomassas o resíduo de soja (carbonizado) foi o que demonstrou maior PCS, sendo que *in natura* foi o resíduo bagaço de cana.

6. CONCLUSÃO

Pela análise dos resultados obtidos com o experimento, evidenciou-se o potencial da utilização dos resíduos agrícolas, cada qual com sua característica para diferentes aplicações e tecnologias de conversão.

Pela facilidade de operação e pela quantidade de energia gerada a biomassa *in natura* é adequada desde que observada suas características (teor de umidade, teor de volátil, teor de cinzas e carbono fixo) associado a tecnologia de conversão. Dentre as biomassas em estudo as propriedades do Resíduo de Soja são melhores para geração de energia, apresentando baixa umidade e cinzas e um alto teor de voláteis e PCS, porém o teor de Carbono Fixo (uma das principais propriedades que devem ser analisadas) é baixo. A casca de arroz apresenta um alto teor de cinzas qual prejudica o PCS e a eficiência do processo, recomenda-se a retirada da mesma, já o bagaço de cana apresenta um alto teor de umidade, onde influenciou o PCS sendo recomendado a secagem do mesmo antes do uso para gerar energia.

O uso do carvão vegetal necessita de um investimento maior que o uso da biomassa *in natura* devido ao processo de carvoejamento, conseqüentemente o manuseio também pode ser dificultado. Em se tratando de Carbono Fixo o Resíduo de Soja e a Casca de Arroz apresentaram maior teor, gerando maior quantidade de calor, porém com umidade relativamente alta, sendo necessária a sua secagem antes do início do processo. O resíduo de soja e o bagaço de cana foram os resíduos que demonstraram maior valor do PCS, ou seja, geram maior quantidade de calor.

Entre a biomassa *in natura* e carbonizada, o carvão vegetal é mais adequado ao processo de produção de energia, devido a maior quantidade de calor gerado. Além desta vantagem, durante o processo de carbonização são gerados outros produtos com valor comercial e ambiental como o bioóleo qual substitui o diesel.

Além desta análise, também é necessária a análise elementar para conhecer os elementos químicos presente na estrutura da biomassa, pois os mesmos podem interferir na análise imediata e na quantidade de calor gerado. A composição química pode variar nos resíduos por causa de como os mesmos foram produzidos e do solo que foram cultivados.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBASI, T. Biomass energy and the environmental impacts associated with its production and utilization. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. India: Elsevier, v. 14, p. 919-937, 2010.

AÇMA, H. H. Combustion characteristics of different biomass materials. **Energy Conversion e Management**. Istambul: pergamon, v. 44, p. 155-162, 2003.

Agência Nacional de Energia Elétrica. **Biomassa**. Disponível em: [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa\(2\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa(2).pdf). Acesso em: 18 de março de 2011.

ARANTES, M. D. C; MENDES, L. M.; RABELO, G. F.; SILVA, J. R. M.; MORI, F. A.; BARBOSA, A. M. Gaseificação de Materiais Lignocelulósicos Para Geração de Energia Elétrica. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 18, n. 4, p. 525-533, out.-dez., 2008.

Balanço de Energia Nacional- BEN. **Oferta Interna de Energia**. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2010.pdf . Acesso em: 10 de maio de 2011.

BRAND, M. A. **Fontes de Biomassa para a Geração de Energia**. Disponível em: <http://www.solumad.com.br/artigos/201011171818441.pdf> . Acessado em: 15 de junho de 2011.

BRÁS, A. M.; MIRANDA, F.; HIPÓLITO, L.; DIAS, L. S. **Biomassa e Produção de Energia**. Disponível em: <http://portal.ipvc.pt/images/ipvc/esa/pdf/biomassa.pdf>. Acesso em: 12 de abril de 2011.

CALEGARI, L. FOELKEL, C. E. B.; HASELEIN, C. R.; ANDRADE, J. L. S.; SILVEIRA P.; SANTINI, E. J. Características de Algumas Biomassas Usadas na Geração de Energia no Sul do Brasil. **Biomassa e Energia**. V.2, n.1, p. 37-46, 2005.

Centro Nacional de Referência em Biomassa^a. **Estimativa do Potencial de Geração de Energia a partir do uso de Resíduos Agrícolas**. Disponível em: <http://cenbio.iee.usp.br/atlasbiomassa/residuosagricolas.htm>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2011.

Centro Nacional de Referência em Biomassa^b. Características de Resíduos Agrícolas (Banco de Biomassa). Disponível em: <http://cenbio.iee.usp.br/saibamais/bancobiomassa/residuos/agroindustriais.htm>

CORTEZ, L. A. B. (Org). Biomassa no Brasil e no Mundo. In:_____. **Biomassa Para Energia**. Campinas-SP: Editora Unicamp, 2008.

CORTEZ, Luis Augusto (Org). Caracterização da Biomassa. In:_____. **Biomassa Para Energia**. Campinas-SP: Editora Unicamp, 2008.

DINIZ, J. **Conversão Térmica de Casca de Arroz à baixa temperatura: Produção de Bioóleo e Resíduo Sílico Carbonoso Adsorvente**. 2005. Tese Doutorado (doutorado em química) PPGQ, UFSM, Santa Maria: 2005.

DEMIRBAS, A. Combustion characteristics of different biomass fuels. **Progress in energy and combustion science**. Turquia: Elsevier, v. 30, p. 219-230, 2004.

DODIĆ, S. N. Situation and perspectives of waste biomass application as energy source in Serbia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Serbia: Elsevier, v. 14, p. 3171-3177, 2010.

DUBOC, E.; COSTA, C.J.; VELOSO, R.F.; OLIVEIRA, L. S.; PALUDO, A. **Panorama Atual da Produção de Carvão Vegetal no Brasil e no Cerrado**. 1ª Ed. Planaltina-DF: Embrapa Cerrados, 2007.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Soja**. Disponível em: http://www.cnpso.embrapa.br/index.php?op_page=22&cod_pai=16. Acesso em: 13 de março de 2011.

GOLDEMBERG, J; NIGRO, F.E.B; COELHO, S.T; **Bioenergia no Estado de São Paulo: Situação Atual, Perspectivas, Barreiras e Propostas**. São Paulo : Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2008.

HOFFMAN, B. S. **O ciclo Combinado com Gaseificação Integrada e a Captura de CO₂: Uma Solução para mitigar as emissões de CO₂ em Termelétricas a carvão em larga escala no curto prazo?**. 2010. Dissertação (mestrado em Planejamento Energético) PPGPE, UFRJ, Rio de Janeiro: 2010.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola**. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1750&id_pagina=1. Acesso em: 12 de abril de 2011.

JENKINS, B. M; BAXTER, L.L.; MILES JR, T.R.; MILES, T. R. Combustion Properties of Biomass. **Fuel Processing Technology**. Elsevier. V. 54, p. 17-46, 1998.

KATYAL, S.; THAMBIMUTHU, K.; VALIX, M. Carbonisation of bagasse in a fixed bed reactor: influence of process variables on char yield and characteristics. **Renewable Energy**. Canada: Pergamon, v. 28, p. 713-725, 2003.

KLAUTAU, J. V. P. **Análise Experimental de uma Fornalha a lenha de Fluxo Cocorrente Para Secagem de Grãos**. 2008. Dissertação (mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) PPGERHA, UFPR. Curitiba: 2008.

LIMA, G. B. G. **Utilização de Biomassa na Secagem de Produtos Agrícolas via Gaseificação com Combustão Adjacente dos Gases Produzidos**. 2004. Monografia

(trabalho de conclusão de curso de Engenharia Mecânica). Universidade Estadual de Campinas, São Paulo: 2004.

LORA, E. E. S.; AYARZA, J. A. C. Gaseificação. CORTEZ, Luis Augusto Barbosa (Org). In:_____. **Biomassa Para Energia**. Campinas-SP: Editora Unicamp, 2008. p. 241-327.

MARTINI, P. R. R. **Conversão Piro-lítica de Bagaço Residual da Indústria de Suco de Laranja e Caracterização Química dos Produtos**. 2009. Dissertação (mestrado em química) PPGQ, UFSM, Santa Maria: 2009.

MATOS, A. T. **Tratamento de resíduos agroindustriais**. Curso sobre tratamento de Resíduos Agroindustriais, Fundação Estadual do Meio Ambiente. Viçosa:2005.

MAYER, F. D.; HOFFMANN, R.; RUPPENTHAL, J. E. **Gestão Energética, Econômica e Ambiental do Resíduo Casca de Arroz em Pequenas e Médias Agroindústrias de Arroz**. XIII SIMPEP - Bauru, SP, 06 a 08 de novembro de 2006.

MCKENDRY, P. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. **Bioresource Technology**, Volume 83, Número 1, maio 2002, p. 37-46, 2002.

MORAIS, M. R.; SEYE, O.; FREITAS, K. T.; RODRIGUES, M.; SANTOS, E. C.S.; SOUZA, R. C. R. **Obtenção de briquetes de carvão vegetal de cascas de arroz utilizando baixa pressão de compactação**. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n6v2/089.pdf>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2011.

NOGUEIRA, M. F. M.; RENDEIRO, G. (2008). Caracterização Energética da Biomassa Vegetal. BARRETO, Eduardo José Fagundes (Coord). **Combustão e Gaseificação da Biomassa Sólida: Soluções Energéticas para a Amazônia**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008. p. 52-63.

NOGUEIRA, M. F. M. **Biomassa Energética**: Caracterização da Biomassa. Palestra Proferida na I Escola de Combustão, Florianópolis – SC 2007.

NONHEBEL, S. Energy from agricultural residues and consequences for land requirements for food production. **Agricultural Systems**. Holanda: Elsevier, v. 94, p. 586–592, 2007.

OLIVEIRA, J. G. **Perspectivas para a Cogeração com bagaço de Cana de Açúcar: potencial do mercado de carbono para o setor sucro-alcooleiro paulista**. 2007. Dissertação (mestrado em engenharia de produção) PPEP, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade São Paulo. São Carlos 2007.

PAULA, L. E. R.; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A.; BIANCHI, M. L. **Characterization of Residues from Plant Biomass for use in Energy Generation**. Cerne, Lavras, v. 17, n. 2, p. 237-246, abr./jun. 2011.

PUKASIEWICZ, S. R. M.; OLIVEIRA, I. L.; PILATTI L. A. **Estudo de caso: gerenciamento de resíduos sólidos industriais em uma indústria processadora de soja**. XI SIMPEP Bauru, SP, Brasil, 08 a 10 de novembro de 2004.

PRETO, E. V.; MORTOZA, G. L. **Geração de Energia Elétrica Utilizando Biomassa**. 2010. Monografia (trabalho de conclusão do curso de Engenharia Elétrica). Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. 2010.

QUIRINO, W. F. **Utilização Energética de Resíduos Vegetais**. Disponível em: <http://www.mundoflorestal.com.br/arquivos/aproveitamento.pdf>. Acesso em: 12 de maio de 2011.

ROCHA, J. D.; PÉREZ, J.M. M.; CORTEZ, L.A.B. **Aspectos Teóricos e Práticos do Processo de Pirólise de Biomassa**. Curso “Energia na Indústria de Açúcar e Alcool” UNIFEI, Itajubá, 12-16 de julho de 2004.

ROCHA, J. D. **Gaseificação da Biomassa: Histórico e Conceitos Básicos.** In: Tecnologia e Estado da Arte da Gaseificação de Biomassa, Universidade do Amazonas, Manaus, 8 e 9 de abril de 2002.

SAITER, O. **Utilização de resíduos agrícolas e florestais como fonte de energia para a secagem de grãos de *Coffea canephora* var. Conilon.** 2008. Monografia (trabalho de conclusão do curso de Engenharia Florestal) Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro:2008.

SILVA M. B.; MORAIS, A. S. **Avaliação Energética do Bagaço de Cana em Diferentes Níveis de Umidade e Graus de Compactação.** XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 13 a 16 de outubro de 2008.

SILVEIRA, M. S. **Aproveitamento das cascas de coco verde para Produção de briquete em Salvador – Ba.** 2008. Dissertação (mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia. Salvador: 2008.

SOUZA, R.C.R; SANTOS, E. C. S.; MORAIS, M. R.; SEYE, O. **Carbonização da Casca de Arroz (*Oriza sativa*) para Uso Energético.** XXXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. 30/7 a 2/8. Bonito - MS 2007

SOUZA, S. N. M; SORDI, A.; OLIVA, C. A. **Potencial de energia Primária de Resíduos Vegetais no Paraná.** 4º Encontro de Energia no Meio Rural. 2002.

STURION, J.A; PEREIRA, J. C. D; CHEMIM, M.S; **Qualidade da Madeira de *Eucalyptus viminalis* Para Fins Energéticos Em Função Do Espaçamento e Idade de Corte.** Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n. 16, p.55-59, dez. 1988.

VALE, A.T; MENDES, R.M.; AMORIM, M.R.S.; DANTAS, V.F.S. Potencial Energético da Biomassa e Carvão Vegetal do Epicarpo e da Torta de Pinhão Manso (*Jatropha curcas*). **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 2, p. 267-273, abr./jun. 2011.

WERTHER J.; SAENGER, M.; HARTGE, E. U.; OGADA, T.; SIAGI, Z. Combustion of agricultural residues. **Progress in energy and combustion science**. Alemanha: Pergamon, v.26, p. 1-27, 2000.