



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO ENGENHARIA MECÂNICA**  
**CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**JOÃO MARCOS MARTINS BEZERRA**

**ESTUDO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DE BRIQUETES PRODUZIDOS A  
PARTIR DE RESÍDUOS DA CASCA DE COCO VERDE E BAGAÇO DE CANA**

**FORTALEZA**  
**2016**

**JOÃO MARCOS MARTINS BEZERRA**

**ESTUDO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DE BRIQUETES PRODUZIDOS A  
PARTIR DE RESÍDUOS DA CASCA DE COCO VERDE COM BAGAÇO DE CANA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Mecânica do Departamento de Engenharia  
Mecânica da Universidade Federal do  
Ceará, como requisito parcial para obtenção  
do título de Engenheiro Mecânico.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Alexandra  
de Sousa Rios.

FORTALEZA  
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

B469e Bezerra, João Marcos Martins.

Estudo do potencial energético de briquetes produzidos a partir de resíduos da casca de coco verde e bagaço de cana / João Marcos Martins Bezerra. – 2016.  
40 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Mecânica, Fortaleza, 2016.

Orientação: Prof. Dr. Maria Alexandra de Sousa Rios.

1. Recursos energéticos. 2. Coco. 3. Cana-de-açúcar Derivados. I. Título.

CDD 620.1

---

ESTUDO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DE BRIQUETES PRODUZIDOS A  
PARTIR DE RESÍDUOS DA CASCA DE COCO VERDE COM BAGAÇO DE CANA

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Mecânica do Departamento de Engenharia  
Mecânica da Universidade Federal do  
Ceará, como requisito parcial para obtenção  
do título de Engenheiro Mecânico.

Aprovada em \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Alexandra de Sousa Rios (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Francisco Nivaldo Aguiar Freire  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Fabiola Leite Almeida  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

“No meio da dificuldade encontra-se a oportunidade”. (Albert Einstein)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à Deus, por sempre me dar forças e segurança para superar as dificuldades presentes em todos os momentos da minha vida pessoal e acadêmica.

Aos meus pais, João Bezerra e Gardênia, que sempre me apoiaram com muito amor desde o início do curso e sempre buscavam me oferecer boas condições de estudo.

A minha irmã, Natália Bezerra, que sempre me incentivou a seguir em frente e nunca desistir dos meus sonhos.

A minha orientadora, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Alexandra de Sousa Rios, por ter disponibilizado o seu tempo para orientar-me e ter concedido o LARBIO (Laboratório de Biocombustíveis) para o desenvolvimento deste trabalho, e também por ser sempre tão prestativa e atenciosa comigo na execução deste trabalho.

A minha amiga, Mariana Vidal, por ter compartilhado seus conhecimentos comigo e ter me ensinado os procedimentos e métodos necessários para a realização dos meus experimentos.

Aos meus amigos do curso de Engenharia Mecânica, Vinícius Lins, Artur Castro, Rafael Vasconcelos, Ernane Bruno, Júnior Gomes, que estiveram sempre comigo nesta longa caminhada.

## RESUMO

O Brasil é um grande gerador de resíduos provenientes da casca de coco verde e bagaço de cana. Esses dois tipos de resíduos sólidos ocupam um espaço considerável nos aterros sanitários, e ainda podem causar sérios problemas ambientais, quando negligenciados e deixados de forma incorreta na natureza. Neste contexto, o presente trabalho teve por finalidade estudar o potencial energético dos briquetes produzidos a partir da mistura da casca do coco verde e do bagaço de cana. Os briquetes produzidos com estes resíduos surgem como uma alternativa, para fornecimento de energia, no qual é capaz de substituir com eficiência fontes de energia advindas dos combustíveis fósseis que contribuem, significativamente, para o aumento do efeito estufa no planeta. O estudo em questão investigou os briquetes produzidos a partir das proporções 25/75, 50/50, 75/25 para casca de coco/bagaço de cana, além das amostras de 100% de casca de coco e bagaço de cana. De acordo com os resultados, o briquete feito com 100% de casca de coco apresentou o melhor potencial energético (16,495 MJ/kg), pois para um mesmo teor de umidade de 10,89%, este apresentou o poder calorífico mais elevado.

**Palavras Chave:** Briquetes, Potencial energético, Casca de coco, Bagaço de cana.

## ABSTRACT

Brazil is a large generator of waste from the coconut husk and sugar cane bagasse. These two types of waste occupy a considerable space in landfills, and can also cause serious environmental problems when left neglected and incorrectly in nature. In this context, this paper aims to study the energy potential of the briquettes produced from the mixture of the bark of coconut and sugarcane bagasse. The briquettes produced with these residues appear as an alternative to power supply, which is capable of efficiently replace energy sources stemming from fossil fuels which contribute significantly to the greenhouse effect on earth. The present study investigated the briquettes produced from the proportions 25/75, 50/50, 75/25 for coconut husk / bagasse, besides the samples of 100% coconut shell, and bagasse. According to the results, the briquette made from 100% coconut shell had the best energy potential (16.495 MJ / kg), because for the same 10,89% moisture content, it showed the highest calorific value.

**Keywords:** *Briquettes, energy potential, coconut husk, bagasse from sugarcane.*



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Resíduos de coco.....	22
Figura 2 - Briquetes.....	23
Figura 3 - Triturador TRC 40.....	26
Figura 4 - Prensa.....	28
Figura 5 - Matérias-primas.....	29
Figura 6 - Estufa.....	30
Figura 7 - Mufla.....	31
Figura 8 - Bomba calorimétrica.....	32

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Oferta de energia primária no mundo.....	17
Gráfico 2 - Matriz de oferta de energia elétrica no Brasil em 2013.....	20
Gráfico 3 - Evolução da matriz elétrica brasileira em 2012 e 2013.....	20

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Oferta brasileira de energia nos anos de 2012 e 2013.....	18
Tabela 2 - Comparação da redução de volume da serragem <i>Pinus e Eucalyptus</i> .....	24
Tabela 3 - Análise das amostras de briquetes.....	33
Tabela 4 - Poder calorífico e umidade.....	35
Tabela 5 - Poder calorífico de diversas biomassas.....	35

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanço Energético Nacional
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	International Energy Agency
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
LPF	Laboratório de produtos florestais
MME	Ministério de Minas e Energia
MTep	Milhões de Toneladas Equivalentes de Petróleo
MW	Megawatt
t/ano	Toneladas por ano
Tc	Teor de cinzas
Tu	Teor de umidade
TWh	TeraWatt-hora
bu	Base úmida

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 Objetivo geral.....	16
2.2 Objetivos específicos.....	16
3. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1 Fontes de energia.....	17
3.2 Participação de energias renováveis na matriz energética brasileira.....	18
3.3 Biomassa.....	18
3.4 Resíduos da casca de coco verde e bagaço da cana.....	21
3.5 Características dos briquetes.....	23
3.6 Processo de briquetagem.....	25
3.6.1 Escolha e preparação do material.....	25
3.6.2 Secagem.....	25
3.6.3 Moagem de resíduos.....	26
3.6.4 Mistura de aglutinante.....	26
3.6.5 Compactação.....	27
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
4.1 Localização dos experimentos.....	29
4.2 Coleta das amostras.....	29
4.3 Caracterização dos materiais.....	29
4.4 Metodologia para determinação do teor de umidade.....	29
4.5 Metodologia para determinação do teor de voláteis.....	30
4.6 Metodologia para determinação do teor de cinzas.....	31
4.7 Metodologia para determinação do teor de carbono fixo.....	32
4.8 Metodologia para determinação do poder calorífico.....	32
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
5.1 Análise das matérias-primas e dos briquetes .....	33
5.1.1 Teor de umidade.....	33
5.1.2 Teor de voláteis.....	33
5.1.3 Teor de cinzas.....	34
5.1.4 Teor de carbono fixo.....	34
5.1.5 Poder calorífico.....	34

6	CONCLUSÃO.....	37
7	REFERÊNCIAS.....	38

## 1 INTRODUÇÃO

Na atualidade, os problemas com as questões energéticas têm sido alvo de preocupação em grande parte do mundo, pois a maior parte da matriz energética mundial utiliza combustíveis fósseis para geração de energia. É neste contexto, que surge uma nova fonte geradora de energia: a biomassa. A utilização da biomassa como fonte geradora de energia surge como uma possível solução para os problemas energéticos e ambientais enfrentados no mundo, já que é uma fonte de energia limpa e renovável, que pode ser formada a partir de resíduos sólidos, antes desperdiçados na natureza em forma de lixo.

No Brasil, uma das principais fontes de energia com maior potencial de desenvolvimento nos próximos anos, no mercado interno e internacional, é a biomassa, que traz vantagens na atenuação da dependência de combustíveis fósseis e na diversificação da matriz energética do país. Apesar de ser encontrada em maior abundância, grande parte destes recursos energéticos encontra-se em regiões pouco desenvolvidas, na qual têm como principal fonte de subsistência a agricultura (ANEEL, 2002).

A matriz energética brasileira ainda é muito dependente dos combustíveis fósseis, fato este que implica diretamente no incremento da poluição e consequente aumento dos problemas ambientais, assim como, o aumento do quantitativo de resíduos industriais e urbanos, também acarreta poluição do ambiente, além de subutilizar uma especial fonte de energia renovável que é a biomassa presente nos referidos resíduos.

Em se tratando da biomassa presente nos resíduos sólidos, a casca de coco e o bagaço da cana representam grande parte do lixo gerado nos grandes centros urbanos do Brasil. Estima-se que, 80% do lixo gerado no litoral dos grandes centros urbanos brasileiros seja composto pela casca de coco. Esse resíduo tem grande potencial para se tornar importante matéria-prima para biocombustível, agregar valor e diversificar a matriz energética nordestina (EMBRAPA, 2014).

Já o bagaço da cana, segundo o IBGE (2011), é o maior resíduo agrícola produzido no Brasil com aproximadamente 280 kg de bagaço por tonelada de cana-de-açúcar moída. Esses tipos de resíduos lignocelulósicos possuem uma relevante capacidade calorífica, como também são fontes energéticas capazes de substituir algumas fontes de combustíveis fósseis, o que pode tornar essa atividade vantajosa (SILVA, 2001).

Uma forma de aproveitamento desses resíduos é a utilização destes como briquetes. Briquetes são blocos densos e compactos que podem ser formados com diversos

tipos de resíduos sólidos. O processo de briquetagem consiste na compactação dos resíduos no qual, esta compactação têm a função de destruir a elasticidade natural do material a ser utilizado (BIOMAX, 2007); esse processo provoca a aglomeração das partículas, formando uma espécie de junção de lignina (SILVEIRA, 2008). Sua formação se dá pela alta pressão ou pela alta temperatura. Sem a destruição da elasticidade natural, os briquetes se tornam não duráveis (BIOMAX, 2007).

Diante desse cenário, o presente trabalho foi desenvolvido visando o estudo e aproveitamento destes dois tipos de resíduos que, de certa forma, quando expostos de maneira incorreta no ambiente trazem inúmeros malefícios a população.

O estudo desenvolvido envolveu análises necessárias a qualificação dos materiais, como uma boa alternativa para aproveitamento destes como fonte geradora de energia. Tais análises foram: Teor de Umidade, Teor de Voláteis, Teor de Cinzas, Carbono Fixo e Poder Calorífico.

Ao final das análises pode-se comprovar a potencialidade da utilização de briquetes como fonte de energia e determinar qual dos briquetes apresentou o melhor resultado para geração de energia.



## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo deste trabalho foi produzir e caracterizar o potencial energético de briquetes formados a partir de resíduos da casca de coco verde e bagaço de cana.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar as matérias-primas;
- Caracterizar os briquetes por meio das análises de Umidade, Poder calorífico, Teor de Voláteis, Carbono Fixo e Teor de Cinzas;
- Determinar qual briquete obteve melhor Poder Calorífico e menor Teor de Cinzas.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

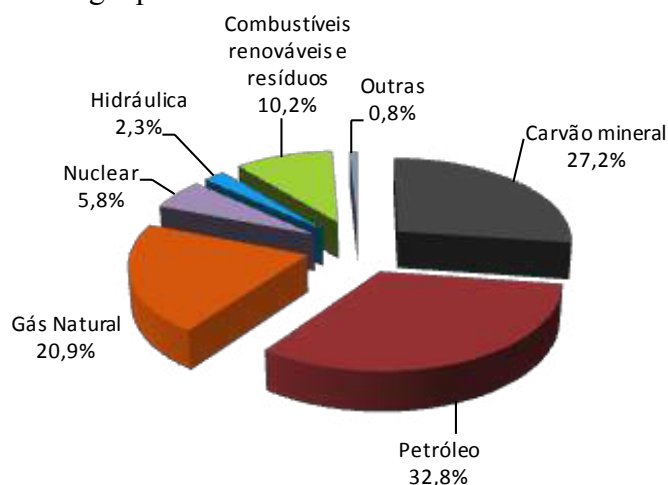
#### 3.1 Fontes de Energia

Proveniente de diferentes fontes, a energia é um dos principais e indispensáveis recursos para a sobrevivência do homem. A matriz energética brasileira e mundial é bem diversificada e possui diferentes fontes geradoras de energia.

Devido alguns fatores ambientais na atualidade, pesquisadores estão se preocupando com as mudanças do clima atmosférico. Por este motivo, existe uma necessidade imediata de implementação de algumas fontes renováveis já existentes no planeta. Esse tipo de fonte de energia limpa e renovável, pode suprir uma grande demanda dos países que a utilizam; e o seu uso é um dos principais fatores de combate ao aquecimento global e mudanças climáticas, que estão aumentando significativamente nos últimos anos.

A oferta de energia primária no mundo compõe-se de 12,5% de fontes renováveis e 86,7% de fontes não renováveis (IEA, 2011). A distribuição relativa dessas fontes é apresentada no Gráfico 1. Nota-se o grande domínio do petróleo, do carvão mineral e do gás natural como principais fontes energéticas utilizadas no mundo.

Gráfico 1 – Oferta de energia primária no mundo.



Fonte: IEA, 2011.

Segundo o World Energy Outlook (2011), elaborado pela Agência Internacional de Energia (IEA), a participação das energias renováveis não hidrelétricas na matriz energética mundial corresponderá a 15% até 2035, um crescimento representativo quando comparado com o ano de 2009, quando a participação era de 3%.

### 3.2 PARTICIPAÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS NA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

O Brasil apresenta um enorme potencial na capacidade de gerar energia através de recursos renováveis, devido a inúmeros fatores, como por exemplo: situar-se em uma zona intertropical, o que significa disponibilidade de insolação ano inteiro, e consequente disponibilidade de energia solar para geração elétrica através da instalação de painéis fotovoltaicos. Outras fontes relevantes são a energia eólica, já que o Brasil possui uma significativa carga de vento durante todo o ano e extensas bacias hidrográficas que aliadas à sua topografia de planalto, favorecem um bom aproveitamento hidráulico.

Na Tabela 1 está apresentada a oferta de energia interna na matriz energética brasileira nos anos de 2012 e 2013. O petróleo é a principal fonte de energia utilizada no país, seguido da biomassa da cana e posteriormente, da energia hidráulica.

Tabela 1 – Oferta brasileira de energia nos anos de 2012 e 2013

Fonte	2013	2012
<b>RENOVÁVEIS</b>	<b>121,5</b>	<b>119,8</b>
Energia hidráulica <sup>1</sup>	37,1	39,2
Biomassa da cana	47,6	43,6
Lenha e carvão vegetal	24,6	25,7
Outras renováveis	12,3	11,4
<b>NÃO RENOVÁVEIS</b>	<b>174,7</b>	<b>163,6</b>
Petróleo	116,5	111,4
Gás natural	37,8	32,6
Carvão mineral	16,5	15,3
Urânio (U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	3,9	4,3

Fonte: BEN, 2014. Em Mtep.

### 3.3 BIOMASSA

A biomassa pode ser definida como qualquer matéria de origem orgânica que pode ser transformada e usada para geração de energia. Segundo Açma (2003), a energia presente na biomassa pode ser transformada (através de processos físicos, químicos e biológicos) em combustíveis. Com origem nos resíduos sólidos urbanos, animais, vegetais,

industriais e florestais, a biomassa residual apresenta-se como potencial fonte alternativa para geração de energia (CORTEZ e LORA, 2008).

Segundo Werther *et al.* (2000), os materiais com potencial de alta energia incluem resíduos agrícolas e florestais como: palha, bagaço de cana, casca de café, casca de arroz; lascas de madeira, serragem, dentre outros. Ainda segundo o mesmo autor, os resíduos de atividades florestais representam 65% do potencial energético da biomassa, enquanto os resíduos de culturas agrícolas são de 33%.

Analisando esta situação, a biomassa é um tipo de fonte energética renovável com maiores chances de crescimento nas próximas décadas, pois poderá substituir eficientemente, os derivados do petróleo no mercado internacional. Com esse tipo de matéria-prima pode-se obter combustível e energia elétrica, como o etanol e biodiesel, cujo consumo é crescente e propício a substituir os derivados do petróleo como o óleo diesel e a gasolina (ANEEL, 2006).

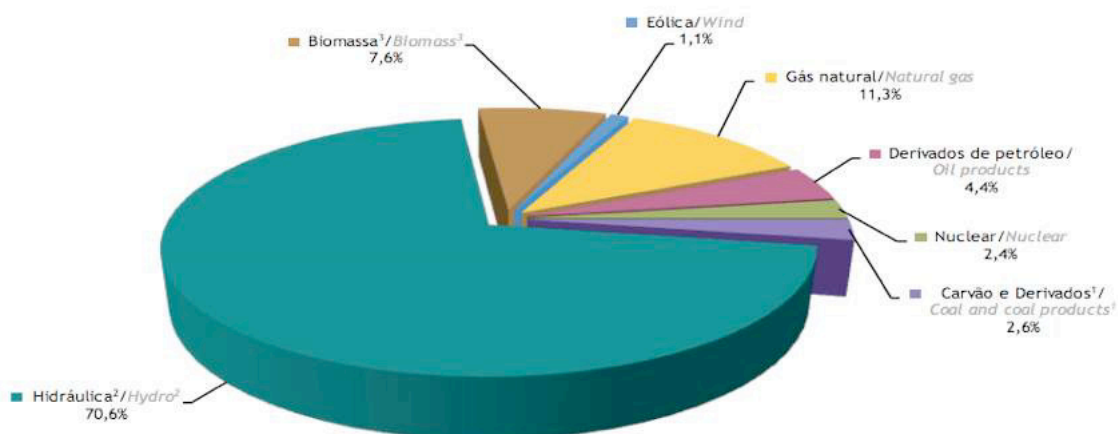
Os recursos mundiais de biomassa são abundantes e existem várias técnicas para produzir energia de maneira econômica e eficiente. Nos próximos anos, segundo (GRIMONI, 2004) haverá muitas vantagens em produzir energia proveniente da biomassa principalmente, quando as fontes de energia renovável se tornarem competitivas em relação aos combustíveis fósseis, caso esperado por volta de 2020.

Segundo McKendry (2002), existem muitos fatores que favoreceram o uso da biomassa nos últimos 10 anos, um deles foi o avanço da tecnologia relativa à conversão da biomassa, apresentando hoje baixo custo e maior eficiência em sua conversão, diferentemente do que acontecia anteriormente. Outro fator importante é o setor agrícola produzir cada vez mais quantidades excedentes de alimentos e conseqüentemente, seus rejeitos. Outro fator trata-se da mudança climática, devido aos níveis elevados de emissões de gases que causam o efeito estufa, o qual tornou-se um grande estímulo às energias renováveis em geral.

Na capacidade de gerar eletricidade, o uso da biomassa tem sido crescente, principalmente em sistemas de cogeração, unidade de produção na qual se utiliza energia térmica e elétrica de forma combinada, dos setores industriais e de serviços. A geração de energia elétrica no Brasil em centrais de serviço público e autoprodutores atingiu 570,0 TWh em 2013, destes, a biomassa foi responsável por 43,32 TWh, segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2014. Esses resultados mostram que a biomassa está na terceira colocação em geração de energia elétrica no Brasil. Com relação as outras

fontes energéticas, a biomassa foi superada pela hidroeletricidade com participação de 70,6% e pelo gás natural com 11,3%, como mostra o Gráfico 2.

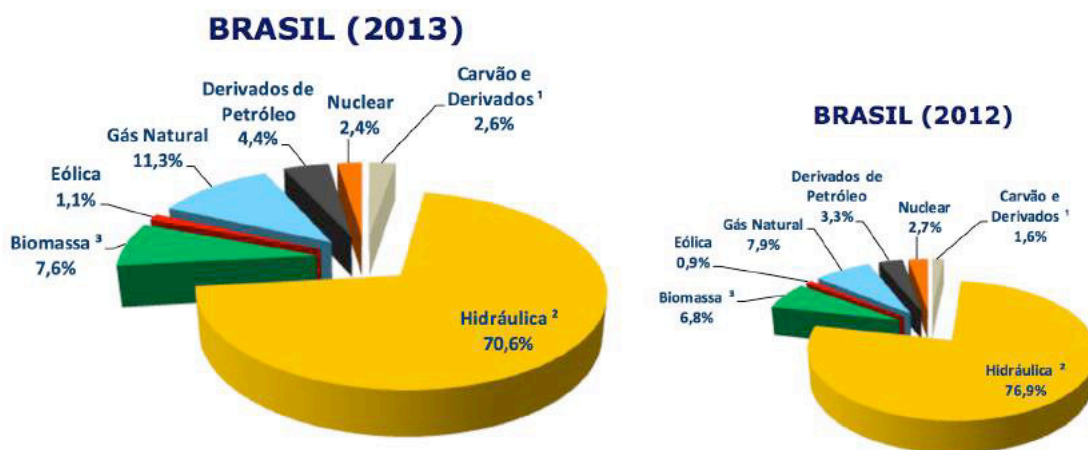
Gráfico 2 - Matriz de oferta de energia elétrica no Brasil em 2013.



Fonte: BEN, 2014.

O Gráfico 3 mostra um relativo crescimento na utilização de fontes de energias renováveis para geração de energia elétrica no Brasil, entre os anos de 2012 e 2013.

Gráfico 3 - Evolução da matriz elétrica brasileira entre 2012 e 2013.



Fonte: Ministério de Minas e Energia, 2014.

A utilização da biomassa na geração de energia é de grande interesse para o país, principalmente, quando direcionado a usos como geração de eletricidade, geração de vapor e combustíveis para transportes. O mais importante independente da tecnologia empregada é a redução do custo da matéria-prima, incluindo os custos de coleta e transporte. Há, também, o baixo custo de aquisição, liberação de resíduos menos agressivos ao meio ambiente, maior utilização da mão de obra e a redução na emissão de poluentes, uma vez que esses compostos apresentam balanço nulo de emissão de CO<sub>2</sub>. No Brasil, a biomassa como fonte de energia possui vantagens significativas, principalmente por diversificar a matriz energética; por contribuir para um desenvolvimento sustentável do país, na qual poderá colaborar para garantir o suprimento de energia em comunidades isoladas e pelas vantagens de proteção ambiental (GENOVESE *et al.*, 2006).

Uma das formas de utilização da biomassa é por meio da queima direta que produz energia térmica e elétrica, sendo, portanto, a biomassa uma fonte primária de energia. Outra forma é através do processamento da biomassa para produção de combustíveis, como a gaseificação ou a transformação por processos mecânicos em partículas menores, como serragem, cavaco ou, ainda, adensados na forma de briquetes (GENOVESE *et al.*, 2006).

### **3.4 RESÍDUOS DA CASCA DE COCO VERDE E BAGAÇO DA CANA**

Um dos maiores problemas encontrados nas grandes praias brasileiras diz respeito ao grande acúmulo de lixo, que é gerado pelo consumo de água de coco verde. É estimado que esse aumento gera cerca de 6,7 milhões de toneladas de casca/ano, o que torna isso um sério problema ambiental nas cidades litorâneas. Segundo (BITENCOURT & PEDROTTI, 2008) as cascas de coco verde chegam a representar 80% do lixo recolhido nesses grandes centros urbanos. Quando depositados de maneira inadequada no ambiente, ver Figura 1, esses resíduos sólidos podem causar a proliferação de vetores transmissores de doenças (SILVEIRA, 2008). Outro resíduo encontrado em grandes quantidades nas cidades brasileiras é o bagaço da cana, que pode ser considerado o principal resíduo agrícola brasileiro visto à expansão da produção de álcool no país. Segundo (SILVEIRA, 2008), cada tonelada de cana moída gera 280 kg de bagaço (30% do total moído). Uma maneira de gerir essas quantidades de resíduos sólidos é transformando-os em subproduto energético conhecido como briquetes.



**Fonte:** Diário do Nordeste, 2013.

O aproveitamento desses resíduos em forma de briquetes é uma alternativa sustentável e representa um papel importante na demanda futura de geração de energia através de fontes renováveis, o que conseqüentemente, poderia reduzir os impactos ambientais, direta ou indiretamente. Além da redução destes impactos, a utilização dos resíduos como fonte energética apresenta vantagens, como a mudança na matriz energética, ampliação na geração de renda, diminuição dos gases de efeito estufa, diminuição dos volumes de resíduos depositados em aterros sanitários e, conseqüentemente, a redução dos custos de produção (QUIRINO, 2003).

Os produtos tradicionais da biomassa florestal utilizados para a geração de calor podem ter seu rendimento energético elevado por meio da densificação da biomassa. Essa densificação permite a obtenção de produtos como os briquetes. A utilização desses materiais tem o objetivo de aumentar a densidade energética dos mesmos gerando, portanto, um produto com mais energia em um volume menor, facilitando o transporte e armazenamento (MIGLIORINI, 1980).

A capacidade de cogeração de energia advinda do bagaço, para produção de açúcar e álcool, é atualmente de 1650 MW o que equivale a 2% da demanda nacional. Infelizmente, esse aproveitamento está longe do ideal, devido ao uso apenas de parte da produção de bagaço e do desperdício de energia com tecnologias intermediárias e obsoletas apresentadas pelas termoelétricas das usinas. Em 2012, segundo a União da Indústria de Cana-de-açúcar (UNICA) com aproveitamento de 50% do bagaço, a cogeração de energia foi de 9 mil MW ou 8% da demanda nacional projetada. A compactação de resíduos da

casca de coco verde e bagaço de cana podem produzir combustíveis sólidos de boa qualidade.

Os resíduos briquetados, pela exigência de baixa umidade no processo de briquetagem e pela elevada densidade relativa aparente, são menos higroscópicos e muito mais resistentes ao apodrecimento ou a fermentação que os resíduos na condição natural, facilitando a estocagem e o transporte, pois amplia o raio econômico de seu aproveitamento (QUIRINO, 2012).

### 3.5 CARACTERÍSTICAS DOS BRIQUETES

Uma grande parte dos resíduos lignocelulósicos gerados pela indústria pode ser utilizada para a geração de energia, sendo queimados diretamente ou transformados em pellets ou briquetes, sendo que este último representa uma das fontes tecnológicas de melhor aproveitamento de resíduos (SAIDUR *et al.*, 2011). A Figura 2 mostra alguns briquetes produzidos em proporções de 100% para a casca de coco verde, 100% para o bagaço da cana e proporção de 50% casca de coco verde e 50% bagaço da cana.

Figura 2 – Briquetes



**Fonte:** Autor.

O processo de briquetagem consiste na aplicação de pressão através de uma prensa mecânica em uma massa de matéria-prima, transformando-a em um sólido cilíndrico com elevada densidade e poder calorífico.

Segundo (QUIRINO, 2010), o briquete pode ser utilizado em caldeiras, fogões, fornos industriais, churrasqueiras, padarias, aquecimento de piscinas, pois este produz três



vezes mais energia que a lenha, podendo substituir com vantagem o óleo utilizado em caldeiras industriais, o gás e a energia elétrica.

As pesquisas apontam como vantagem na utilização do briquete o preço, que, em geral, é menor que algumas energias concorrentes. Segundo Vale e Gentil (2008), em comparação com a lenha, seu concorrente direto, o briquete possui outras vantagens, dentre elas: maior densidade energética; maior rapidez na geração de calor; proporciona redução nos custos de transporte; menor custo de manuseio; infraestrutura de armazenamento; maior apelo ambiental por ser produzido a partir de resíduos e a principal característica que é a redução do volume de material (Tabela 2), implicando em um armazenamento de energia maior em um menor espaço para estocagem (FLORES *et al.*, 2009).

Tabela 2 – Comparação da redução de volume da serragem de *Pirus* e *Eucaliptus*

<b>Material</b>	<b>Volume antes da briquetagem</b>	<b>Volume após a briquetagem</b>	<b>Redução de volume</b>
<b>Eucaliptus sp.</b>	125 cm <sup>3</sup>	20,01 cm <sup>3</sup>	83,99 %
<b>Pinus sp.</b>	100 cm <sup>3</sup>	18,95 cm <sup>3</sup>	81,05 %

**Fonte:** Adaptado de (FLORES *et al.*, 2009).

Os briquetes apresentam vantagens como propriedades uniformes, formas e dimensões apropriadas, facilidade de armazenamento e fornecimento regular em relação a lenha. Também ajudam a minimizar problemas ambientais, quando são utilizados resíduos agroindustriais como matéria-prima (BIOMAX, 2007). Outra vantagem é que, com a densificação do resíduo, consegue-se uma elevação do poder calorífico do mesmo, pois haverá uma maior massa de resíduo em um volume menor, gerando uma maior quantidade de calorias no processo de combustão (QUIRINO, 2003).

A utilização da biomassa para produção de briquetes pode resultar em um modelo que proporcione sustentabilidade a um sistema empresarial urbano e rural, garantindo a autonomia energética de uma pequena comunidade, o que funcionaria como um fator de desconcentração de renda e descentralização do poder, já que a capacidade produtiva de uma região está diretamente ligada ao seu potencial energético (ALVES JÚNIOR e SANTOS, 2002).

Para que o briquete possa apresentar uma maior resistência, é feito um tratamento de endurecimento do mesmo. Esse tratamento pode ser realizado à temperatura ambiente, em secadores, em estufa ou até mesmo em fornos. Os briquetes, cujo

endurecimento foi realizado à temperatura ambiente, apresentam baixa resistência mecânica quando submetidos à temperatura elevada. A sua utilização se restringe a processos nos quais se utilizam baixas pressões.

### **3.6. PROCESSO DE BRIQUETAGEM**

A briquetagem é o processo de fabricação de briquete, produto de alto teor calórico, obtido pela compactação de resíduos na qual é destruída a elasticidade natural das fibras dos mesmos. Esta destruição pode ser realizada por dois processos: alta pressão e/ou alta temperatura. Este processo provoca a plastificação da lignina, substância que atua como elemento aglomerante das partículas prensadas. Para esta aglomeração ter sucesso, necessita da presença de certa quantidade de água, compreendida entre 8 a 15% de umidade, e que o tamanho desta partícula esteja entre 5 a 10 mm (BIOMAX, 2010). A briquetagem é uma forma bastante eficiente para concentrar a energia da biomassa, pois 1,0 m<sup>3</sup> de briquetes contém de 2 a 5 vezes mais energia que 1,0 m<sup>3</sup> de resíduos. Isso levando-se em consideração a densidade a granel e o poder calorífico médio desses materiais (QUIRINO, 1991).

#### **3.6.1 ESCOLHA E PREPARAÇÃO DO MATERIAL**

Na etapa de escolha do material, deve ser determinado o tipo de matéria-prima que será utilizada e o tipo de briquete que se pretende fabricar (MORO, 1987). A preparação consiste na determinação das características do material a ser briquetado e do tipo de equipamento que deve ser utilizado, para facilitar a adesão das partículas finas.

#### **3.6.2 SECAGEM**

Esta etapa tem por finalidade retirar a umidade dos resíduos e deixá-los em conformidade para a realização de todo processo (MORO, 1987). Dependendo do tipo de equipamento utilizado para compactação, será necessário um teor de umidade específico. A secagem natural é realizada através da luz solar, enquanto que a secagem artificial ocorre através de secador rotativo.

### 3.6.3 MOAGEM DE RESÍDUOS

Tem como objetivo triturar os resíduos, deixando-os em partículas menores, facilitando, assim, o processo de briquetagem (MORO, 1987). A Figura 3 mostra o triturador, modelo TRC 40, utilizado para fragmentar a casca de coco.

Figura 3 – Triturador TRC 40



Fonte: Autor

### 3.6.4 MISTURA COM AGLUTINANTE

O aglutinante é responsável pela aderência dos resíduos. Durante esta etapa deve-se levar em conta a escolha do tipo e qualidade do aglutinante, pois estas estão diretamente relacionadas ao custo relativo do processo. Vale ressaltar que esta etapa nem sempre acontece, pois, alguns resíduos em condições de alta pressão e alta temperatura são capazes de se aglutinar, devido a plastificação da lignina (MORO, 1987). A mistura com aglutinantes é uma das etapas mais importantes do processo de briquetagem. Alguns exemplos de aglutinantes utilizados no processo de briquetagem são o silicato de sódio, o melaço de cana e soluções de amido de milho. O percentual de aglutinante a ser adicionado depende do tipo de matéria prima utilizada. É de fundamental importância que o aglutinante seja distribuído uniformemente por toda a superfície do material a ser briquetado (VALTER, 2004).

### 3.6.5 COMPACTAÇÃO

A compactação é feita por meio da prensagem do material, sendo o processo que proporciona resistência aos briquetes. Essa prensagem é realizada pela ação de prensas que aplicam altas pressões e temperaturas aos resíduos. Esta etapa define a forma final do briquete dependendo da prensa utilizada (MORO, 1987).

Segundo Quirino (2012), existem cinco tipos de equipamentos ou princípios básicos de compactação de resíduos lignocelulósicos, são eles:

- 1- Prensa extrusora de pistão mecânico – possui um pistão que e ligado excentricamente a um volante, que força o material a ser compactado através de um tronco de cone;
- 2- Prensa extrusora de rosca sem fim – processo muito usado para resíduos no exterior. Apresenta excelentes resultados. É um equipamento de fácil manutenção e de investimento favorável, se comparado aos outros equipamentos produzidos e vendidos no exterior;
- 3- Prensa hidráulica - este equipamento utiliza um pistão acionado hidraulicamente. O material a ser compactado é alimentado lateralmente por uma rosca sem fim. Uma peça frontal ao êmbolo abre e expulsa o briquete, quando se atinge a pressão adequada. Este não é um processo extrusivo e a pressão aplicada é menor que em outros métodos, assim, o briquete produzido possui menor densidade;
- 4- Peletizadora - consiste em um equipamento que opera pelo processo de extrusão. Possui o mesmo princípio dos equipamentos de produção de ração animal, no qual há necessidade de injeção de vapor para aquecer e corrigir a umidade;
- 5- Enfardadeira - este equipamento comprime e amassa do resíduo, elevando a densidade. Não existe pré-secagem do material, o que permite secagem posterior.

A Figura 4 mostra uma prensa hidráulica de pistão mecânico acionado manualmente, que foi usada para compactação dos briquetes deste trabalho.

Figura 4 - Prensa



**Fonte:** Autor

O processo de compactação promove a redução do volume do resíduo e consequentemente a elevação da densidade, fazendo com que haja maior quantidade de energia por unidade de volume.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 LOCALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Referência em Biocombustíveis Prof. Expedito José de Sá Parente (LARBIO), localizado no Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará - NUTEC, Campus do Pici, Fortaleza - CE.

### 4.2 COLETA DAS AMOSTRAS

As amostras de coco verde foram coletadas na orla marítima de Fortaleza, localizada na Praia do Futuro, Fortaleza – CE. As amostras de bagaço da cana foram coletadas no município de Redenção - CE

### 4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Para este trabalho foram utilizadas amostras de casca de coco verde triturada, como mostra a Figura 5(a) e amostras de bagaço de cana como mostra a Figura 5(b).

Figura 5 – Matéria-prima: (a) Casca de coco verde; (b) Bagaço de cana



**Fonte:** Autor.

As amostras foram levadas ao LARBIO, onde foram caracterizadas através das análises de determinação do teor de umidade, poder calorífico, teor de cinzas, carbono fixo e teor de voláteis. Todos os experimentos foram realizados em duplicata.

### 4.4 METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE

Para determinação do teor de umidade seguiu-se a metodologia descrita na norma ABNT NBR 14929 (Carvão Vegetal - Análise Imediata). Obteve-se o peso úmido de cada resíduo através de uma balança analítica de precisão ( $\pm 0,0001$  g). As amostras

foram introduzidas em estufa a  $100 \pm 10$  °C (Figura 6), até que a massa ficasse constante, obtendo-se a massa seca. Os teores de umidade foram obtidos pela diferença entre os pesos da amostra, antes e após secagem, através da Equação 1.

$$Tu = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100 \quad (1)$$

Na qual:

$Tu$  = Teor de umidade da amostra, em porcentagem (% bu);

$m_1$  = massa inicial da amostra, antes da secagem (g);

$m_2$  = massa final da amostra, após a secagem(g).

Figura 6 – Estufa para secagem.



**Fonte:** Autor.

#### 4.5 METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE VOLÁTEIS

A amostra seca foi acondicionada em um cadinho de platina ao Forno Mufla, marca Quimis, modelo Q.318.24, a qual foi aquecida até atingir 900 °C, durante 3 (três) minutos, com a tampa aberta e posteriormente, durante 7 (sete) minutos com a tampa fechada, conforme descrito nas normas *ABNT NBR 8112* (Carvão Vegetal - Análise Imediata) e *ASTM D3175* (Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke). Posteriormente, a amostra foi inserida em um dessecador para resfriamento, retirado o vácuo e por fim, foi realizada sua pesagem. Os teores de voláteis foram obtidos pela diferença entre os pesos das amostras, antes e após o aquecimento em Forno Mufla (Figura 7), através da Equação 2.

$$T_v = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100 \quad (2)$$

Na qual:

$T_v$  = Teor de voláteis, em porcentagem (%);

$m_1$  = massa da amostra sem umidade (g);

$m_2$  = massa da amostra após aquecimento em Forno Mufla (g).

FIGURA 7 - Forno mufla



**Fonte:** Autor.

#### 4.6 METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CINZAS

Após as análises de umidade e voláteis a amostra foi novamente aquecida em Forno Mufla, conforme descrito nas normas ABNT NBR 13999 e *ASTM D3174* (Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke), uma amostra de 5 g foi acondicionada a uma temperatura de 525 °C, durante 4 horas. Após este procedimento, a amostra foi transferida para em um dessecador. O teor de cinzas foi determinado utilizando a Equação 3.

$$T_c = \frac{m_3 - m_4}{m_3} * 100 \quad (3)$$

Na qual:

$T_c$  = Teor de cinzas (%);

$m_3$  = massa da amostra in natura e voláteis (g);

$m_4$  = massa da amostra após aquecimento em Forno Mufla (g).



#### 4.7 METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CARBONO FIXO

A determinação do teor de carbono fixo foi feita seguindo a norma ASTM D3172 Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke; o teor foi encontrado pela diferença através da Equação 04:

$$T_{cf} = 100 - (T_u + T_v + T_c) \quad (4)$$

$T_{cf}$  = Teor de carbono fixo (%);

$T_u$  = Teor de umidade (% b.u);

$T_v$  = Teor de voláteis (%);

$T_c$  = Teor de cinzas (%);

#### 4.8 METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO

A determinação do poder calorífico foi realizada de acordo com a norma DIN EN 14918:2014 Solid biofuels – Determination of calorific value. As amostras foram inseridas em uma bomba calorimétrica da marca IKA (Figura 8), modelo C200, para a determinação do poder calorífico. As análises foram realizadas em duplicata.

FIGURA 8 - Bomba calorimétrica.



Fonte: Autor.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises imediatas foram obtidos por meio das determinações dos teores de umidade, materiais voláteis, carbono fixo e cinzas. Os resultados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Análise das amostras de briquetes.

AMOSTRAS	UMIDADE (%)	MATERIAIS VOLÁTEIS (%)	CINZAS (%)	CARBONO FIXO (%)
BRIQUETE (100% COCO)	10,89	77,84	3,2	8,07
BRIQUETE (100% CANA)	11,35	75,76	6,8	6,09
BRIQUETE (50% COCO E 50% CANA)	11,12	79,56	4,8	4,52
BRIQUETE (75% COCO E 25% CANA)	10,99	78,96	3,7	6,35
BRIQUETE (25% COCO E 75% CANA)	11,23	79,09	6,6	3,08

**Fonte:** Autor.

### 5.1 ANÁLISE DAS MATÉRIAS-PRIMAS E DOS BRIQUETES

#### 5.1.1 TEOR DE UMIDADE

Os teores de umidade em base úmida foram calculados para cada matéria-prima. Os valores encontrados foram de 88,22% para a casca de coco verde in natura e de 65,07% para o bagaço da cana. Sabe-se que o teor de umidade influencia negativamente no valor do poder calorífico, sendo, portanto, importante que o briquete não tenha uma umidade elevada. As matérias-primas foram secas em estufa até atingirem uma umidade de 10,89% para a casca do coco e 11,35% para o bagaço da cana.

#### 5.1.2 TEOR DE VOLÁTEIS

Os teores de voláteis foram encontrados para cada matéria-prima e para os briquetes. Os teores de voláteis para casca de coco foi de 80,73% e 81,36% para o bagaço da cana. Os materiais voláteis queimam e saem rapidamente na forma gasosa. Segundo Vieira (2012), a biomassa com alto teor de voláteis apresenta maior facilidade de incendiar e queimar.

### 5.1.3 TEOR DE CINZAS

O teor de cinzas para as matérias-primas foi de 0,55% para a casca de coco e de 2,66% para o bagaço da cana. Segundo Vieira *et al.* (2013), um alto teor de cinzas leva a uma diminuição da eficiência devido ao aumento do consumo de oxigênio para derreter as cinzas. Como a umidade, o teor de cinzas também interfere no poder calorífico causando perda de energia, além de prejudicar a transferência de calor (KLAUTAU, 2008). Valores elevados de cinzas além de influenciarem negativamente no poder calorífico, podem muitas vezes, em determinados processos de combustão, obrigar a parada da produção de energia para a retirada das cinzas.

### 5.1.4 TEOR DE CARBONO FIXO

Os teores de carbono fixo encontrados foram de 8,07% para o briquete de feito com 100% da casca de coco; 6,09% para o briquete feito com 100% de bagaço da cana; 4,52% para o briquete feito com 50% de bagaço de cana e 50% de casca de coco; 6,35% para o briquete feito com 75% de casca de coco e 25% de bagaço de cana e 3,08% para o briquete feito com 75% de bagaço de cana e 25% de casca de coco. O carbono fixo pode ser definido como a quantidade de carbono presente no carvão vegetal após a retirada da umidade, cinzas e voláteis. O carbono fixo queima lentamente na fase sólida. Combustíveis com alto índice de carbono fixo apresentam queima mais lenta, resultando assim, em um maior tempo de residência nos equipamentos de queima, em comparação com outros combustíveis com menor teor de voláteis (VALE *et al.*, 2011). Segundo (ANDRADE *apud* SATER, 2011), o rendimento em carbono fixo de um material é o parâmetro que melhor expressa a qualidade da matéria prima lignocelulósica para a produção de carvão vegetal.

### 5.1.5 PODER CALORÍFICO (PC)

Os valores de PC foram encontrados para cada matéria-prima e para os briquetes. Os poderes caloríficos para a casca de coco e bagaço da cana sem umidade foram de 16,567 MJ/kg e 18,675MJ/kg, respectivamente. Com uma umidade de 11,35% e 10,89% o poder calorífico para o bagaço de cana e casca de coco foram de 14,554 MJ/kg e 10,157 MJ/kg, respectivamente. In natura, o bagaço da cana apresentou poder calorífico de 7,675 MJ/kg, enquanto que a casca de coco verde não iniciou combustão. Os poderes caloríficos para os briquetes foram de 16,495 MJ/kg para o briquete feito com 100% da casca de coco; 15,868 MJ/kg para o briquete feito com 100% de bagaço da cana; 16,236 MJ/kg para o briquete feito com 50% de bagaço de cana e 50% de casca de coco; 15,201

MJ/kg para o briquete feito com 75% de casca de coco e 25% de bagaço de cana e 16,295 MJ/kg para o briquete feito com 75% de bagaço de cana e 25% de casca de coco.

Segundo Quirino (2011), o poder calorífico é a quantidade de calor liberada por um material em sua combustão completa, dado normalmente em MJ/kg para os combustíveis sólidos, MJ/L para combustíveis líquidos e em MJ/m<sup>3</sup> para os combustíveis gasosos. O poder calorífico é um parâmetro que mede a eficiência energética e serve como importante indicador, para se conhecer a capacidade calorífica de uma determinada espécie (OLIVEIRA, 1982). Os valores de PC encontrados mostraram-se bastante promissores quando comparados aos valores de outros tipos de biomassa citados na literatura, como por exemplo: arroz com 16,108 MJ/kg bagaço de cana com 17,317 MJ/kg (JENKINS, 1990) e palha do milho com 15,606 MJ/kg (QUIRINO *et al.* 2005). Os valores de umidade e poder calorífico obtidos no dia da coleta podem ser verificados na Tabela 4.

Tabela 4 - Poder calorífico e umidade

AMOSTRAS	UMIDADE (%)	PODER CALORÍFICO (MJ/kg)
BRIQUETE (100% COCO)	10,89	16,495
BRIQUETE (100% CANA)	11,35	15,868
BRIQUETE (50% COCO E 50% CANA)	11,12	16,236
BRIQUETE (75% COCO E 25% CANA)	10,99	15,201
BRIQUETE (25% COCO E 75% CANA)	11,23	16,295

**Fonte:** Autor.

Na Tabela 5 é apresentado o Poder Calorífico de algumas biomassas.

Tabela 5 – Poder calorífico de diversas biomassas.

BIOMASSA	PODER CALORIFICO (MJ/kg)
Bagaço de Cana	8,903
Lenha	12,958
Casca de Arroz	16,775
Eucalipto	18,420
Sabugo de Milho	18,972
Cascas de Castanhas	20,470
Carvão	30,900

**Fonte:** Autor, adaptado de (Eletrobrás, 2005; Lopes, 2002; Mata 1981 apud Filho, 2009).

Com base nos resultados de poder calorífico apresentados na Tabela 4, e fazendo uma comparação com os resultados do poder calorífico da Tabela 5, verificou-se que os briquetes feitos com os resíduos da casca de coco verde e bagaço da cana possuem um significativo potencial energético quando comparados às outras fontes de biomassa já existentes.

## 6 CONCLUSÃO

A amostra do briquete feito com 100% da casca de coco apresentou o menor teor de cinzas (3,2%), o que a torna interessante para utilização como fonte energética em caldeirarias ou fornos industriais.

Os teores de voláteis foram de 77,84% para o briquete de feito com 100% da casca de coco; 75,76% para o briquete feito com 100% de bagaço da cana; 79,56% para o briquete feito com 50% de bagaço de cana e 50% de casca de coco; 78,96% para o briquete feito com 75% de casca de coco e 25% de bagaço de cana e 79,09% para o briquete feito com 75% de bagaço de cana e 25% de casca de coco, o que indica que as cinco amostras teriam a mesma facilidade para iniciar o processo de combustão.

O briquete feito com 100% da casca de coco apresentou um potencial energético melhor quando comparado aos demais briquetes, pois para um valor de umidade de 10,89% foi obtido um poder calorífico mais elevado.

As matérias-primas investigadas possuem significativo potencial energético e aplicabilidade como combustíveis sólidos quando comparadas às outras já existentes no mercado.

## REFERÊNCIAS

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

ALVES JUNIOR, F. T.; SANTOS, G. A.;– **Potencial de geração de biomassa para a briquetagem e o perfil do mercado consumidor deste insumo na região do Cariri-CE**. In: II Congresso Ibero-Americano de Pesquisa e Desenvolvimento de Produtos Florestais & Seminário em Tecnologia de Madeiras e Produtos Florestais não madeiráveis, FUPEF, Curitiba. p. 3. 2002.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Biomassa**. Home Page. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicações/atlas/pdf/05-biomassa\(2\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicações/atlas/pdf/05-biomassa(2).pdf)> Acesso em: 09 de junho de 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) **Análise química imediata do carvão vegetal**, NBR 8112. 1986.

BEZZON, G.; **Síntese de novos combustíveis sólidos a partir de resíduos agro florestais e possíveis contribuições no cenário energético brasileiro**. (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas-SP. 1994. p.115. *Biomassa & Energia*, Viçosa, v. 1, n. 3, 2004. p. 311-320.

BIOMAX Indústria de máquinas LTDA – Disponível em: <<http://www.biomaxind.com.br/site/br/briquetagem.html>>. Acesso em: 2 de julho de 2016.

BITENCOURT, D. V.; PEDROTTI, A. Usos da casca de coco: Estudo das viabilidades de implantação de usina de beneficiamento de fibra de coco em Sergipe. *Revista da Fapese*, v. 4, n. 2, p. 113-122, 2008.

DIN EN 14918 Solid biofuels – **Determination of calorific value**. Deutsches Institut für Normung. 2014.

FLORES, W. P. et al.; **Redução do volume de biomassa no processo de briquetagem.** Revista da Madeira. Curitiba. n.121, 2009. p. 32-34.

GENOVESE, A. L.; UDAETA, M. E. M.; GALVÃO, L. C. R. Aspectos energéticos da biomassa como recurso no Brasil e no mundo, In: CONGRESSO INTERNACIONAL, 2006

GRIMONI, J.A.B, GALVÃO, L.C.R, UDAETA, M.E.M , "Iniciação a Conceitos de Sistemas Energéticos para o Desenvolvimento Limpo", Edusp, São Paulo 2004

KLAUTAU, V. P.; **Análise experimental de uma fornalha a lenha de fluxo de corrente para a secagem de grãos.** 2008. Dissertação ( Mestrado em engenharia de recursos hídricos e ambiental) PPGERHA, UFPR. Curitiba: 2008. p. 28.

LORA, E. E. S.; ANDRADE, R. V.; **Geração de energia e gaseificação de biomassa.**

MCKENDRY, P. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. Bioresource Technology, Amsterdam, v. 83, p. 37-46, 2002.

MIGLIORINI, A. J; **Densificação de biomassa florestal.** Série Técnica IPEF, Piracicaba, v.1, n.2, 1980. p.1-9.

MORO, J. P.; **Briquetagem de finos de carvão vegetal.** In: Anais da 2ª jornada de engenharia dos países de língua Portuguesa. Rio de Janeiro. 1987. V.1. p. 1-14.

Norma ASTM D3172 **Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke,** ASTM Internacional, West Conshohocken, PA, 2013.

Norma ASTM D3173 **Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke,** ASTM Internacional, West Conshohocken, PA, 2013.

Norma ASTM D3174 **Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke,** ASTM Internacional, West Conshohocken, PA, 2013.



Norma ASTM D3175 **Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke**, ASTM Internacional, West Conshohocken, PA, 2013.

QUIRINO, W.F.; **Utilização energética de resíduos vegetais**. Brasília: LPF/IBAMA, 2003, p.14.

QUIRINO, Waldir Ferreira. Características De Briquetes De Carvão Vegetal a Seu Comportamento na Combustão. 1991.80f. Dissertação. Escola Superior Luiz de Queiroz- Universidade de São Paulo. Piracicaba

SAIDUR, R.; ABDELAZIZ, E. A.; DEMIRBAS, A.; HOSSAIN, M. S.; MEKHILEF, S. A. **Review on biomass as a fuel for boilers. Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.15, , 2011. p.2262-2289.

SILVA, V. L. M.M.; GOMES, W. C.; ALSINA, O. L. S. Utilização do bagaço de cana de açúcar como biomassa adsorvente na adsorção de poluentes orgânicos. Campina Grande - PB., 2007, 6p. Revista UEPB, 2007.

SILVEIRA, M. S. Aproveitamento das cascas de coco verde para produção de briquete em Salvador – BA. Dissertação de mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo – Universidade Federal da Bahia, 2008.

VALE, A.T.; GENTIL, L.V. **Produção e uso energético de biomassa e resíduos agro florestais**. Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro III. Rio Branco: Suprema, 2008. p.195-241.

VIEIRA A. C.; **Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas** 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, PR, 2012. p. 56.

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.