



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL**  
**CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**MARIANA DE SOUZA VIDAL**

**ESTUDO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DE BRIQUETES PRODUZIDOS A  
PARTIR DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS DE CASCA DE CASTANHA DE CAJU E  
BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR**

**FORTALEZA**

**2018**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL**  
**CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**MARIANA DE SOZA VIDAL**

**ESTUDO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DE BRIQUETES PRODUZIDOS A  
PARTIR DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS DE CASCA DE CASTANHA DE CAJU E  
BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Ambiental.

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

**FORTALEZA**

**2018**

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)

---

V692e Vidal, Mariana de Souza.

Estudo do potencial energético de briquetes produzidos a partir de resíduos agrícolas de casca de castanha de caju e bagaço da cana-de-açúcar / Mariana de Souza Vidal. – 2018.  
35 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2018.

Orientação: Profa. Dra. Maria Alexsandra de Sousa Rios.

1. Biomassa. 2. Bagaço de cana. 3. Casca de castanha. 4. Potencial energético. 5. Briquetes. I. Título.  
CDD 628

---

**MARIANA DE SOUZA VIDAL**

**ESTUDO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DE BRIQUETES PRODUZIDOS A  
PARTIR DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS DE CASCA DE CASTANHA DE CAJU E  
BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Banca Examinadora do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

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

**BANCA EXAMINADORA**

---

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

Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Ada Amélia Sanders Lopes

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

---

Dr<sup>ª</sup>. Francisca Imilena Pereira de Oliveira

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a 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 Edvan Vidal e Maria Vidal, que sempre me apoiaram com muito amor desde o início do curso, sempre me oferecendo boas condições de estudo, sendo em todos os momentos da minha vida o meu porto seguro, vocês são meu tudo.

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

Ao meu namorado, Nelson Filho, por está comigo nos mais diversos momentos da minha vida, sempre me ensinando a nunca desistir dos meus sonhos e objetivos, além de toda relação de afeto, o que me motiva ainda mais a seguir em frente, e claro por toda sua paciência comigo durante todo esse processo.

A minha orientadora, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Alexandra S. 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, não medindo esforços para me ajudar durante todo período de orientação, foram anos de aprendizagem ao seu lado que levarei durante toda minha vida profissional.

Aos meus amigos do curso de Engenharia Ambiental, Allan Maia, Carla Pinheiro e Isabelly Paz, que estiveram sempre comigo, desde o primeiro semestre quando entrei perdida até a finalização desse ciclo, sempre estando presentes em todas as conquistas e desesperos da faculdade.

Aos meus colegas do LARBIO, Rosali e Erick, vocês forem fundamentais durante todo esse trabalho, tornavam o ambiente de estudo bem melhor.

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

## RESUMO

De acordo com estudos divulgados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o consumo brasileiro até 2050 irá triplicar, chegando a 1.624 terawatt hora (Twh). Contudo, sua maior fonte geradora de energia, as usinas hidrelétricas, não suprem mais essa demanda, devido a diversos fatores, entre eles a escassez hídrica. Diante desse contexto, para garantir a toda energia que o cenário apresentado pelo estudo da EPE prever necessária aos brasileiros em 2050, além da busca por fontes alternativas de energia, novos investimentos vêm sendo feitos. Entre as alternativas para contornar essa problemática, tem-se a biomassa, fonte de energia limpa e renovável, com maior potencial de crescimento nos últimos anos. Para obtenção desse recurso energético, tem-se o setor agroindustrial, produzindo uma grande quantidade de resíduos. Diariamente, um grande volume de resíduos é gerado pela agroindústria, onde os mesmos, em sua grande maioria, são descartados no meio ambiente, podendo originar sérios danos ambientais, quando na verdade poderiam estar sendo utilizados como fonte de energia. Dentre esses resíduos tem-se o bagaço da cana-de-açúcar e a casca da castanha de caju, os quais foram objetos de estudo do presente trabalho. Para potencializar o uso da biomassa, ela pode ser transformada em combustível sólido, como o briquete, que é feito por meio de técnicas de compactação. Após a compactação, o trabalho em questão buscou analisá-los quanto às suas potencialidades energéticas. Para isso, foram realizadas análises para conferir o poder calorífico superior (PCS) de cada briquete e a análise imediata, onde foi encontrado o teor de voláteis, cinzas e carbono fixo de cada amostra. O PCS da casca de castanha de caju ficou em torno de 18MJ/Kg, valor esse que é competitivo quando comparado com matérias já utilizadas.

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

## ABSTRACT

According to studies released by the Energy Research Company (EPE), Brazilian consumption by 2050 will triple, reaching 1,624 terawatt hour (Twh). However, the largest source of energy, such as hydroelectric power plants, is not as necessary as it is in some factors, including a water shortage. Dought that context, to guarantee all the energy that the scenario presented by the EPE study, is necessary for the 20 20, as well as the search for alternative sources of energy, with the new sources of investment that are being made. Among the alternatives to overcome this problem, has a biomass, source of clean and renewable energy, with greater potential for growth in recent years. For the withdrawal of the energy resource, we have the agro-industrial sector, producing a large amount of waste. On a daily basis, a large volume of waste is generated by the agroindustry, where the vast majority of them are disposed of in the environment, and can originate from environmental damages when they are being used as an energy source. Among the residues of sugarcane bagasse and a cashew nut shell, which were objects of study of the present work. To potentiate the use of biomass, it can be transformed into solid fuel, such as briquette, which is done by means of compaction techniques. After compaction, the work in question sought to analyze its energetic potentialities. To the, they were analyzed for the calorific superior power (PCS) of each briquette and the immediate analysis, where the the content of volatile, and the carbon fixed of each sample. The PCS of the nut shell was spectacular at around 18MJ / kg, a value that is burst when it was with the materials already used.

**Keywords:** Biomass, Briquettes, Energy potential, Sugarcane bagasse, Bark of chestnut.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Balança digital, Marte ID200. ....	23
Figura 2 - Molde cilíndrico de aço.....	24
Figura 3 – Prensa hidráulica .....	24
Figura 4 – Balança analítica .....	25
Figura 5 – Briquete da casca da castanha.....	25
Figura 6 – Cadinho de porcelana contendo cinzas do briquete .....	26
Figura 7 – Forno mufla .....	26
Figura 8 - Dessecador .....	27
Figura 9 – Cadinho de platina com briquete .....	28
Figura 10 – Bomba calorimétrica .....	28

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 – Oferta da matriz energética mundial .....	17
Gráfico 2 – Matriz energética brasileira.....	17
Gráfico 3 – Análise imediata dos briquetes.....	33

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Características de cada procedimento .....	29
Tabela 2 – Umidade dos briquetes.....	30
Tabela 3 – Poder calorífico dos briquetes .....	31
Tabela 4 – Percentagem do teor de voláteis .....	31
Tabela 5 – Percentagem do teor de cinzas das amostras.....	32
Tabela 6 – Percentagem do teor de carbono fixo das amostras.....	32

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1. Objetivo Geral .....	15
2.2. Objetivos Específicos.....	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.1. Fonte de energia.....	16
3.2. Utilização de energias renováveis na matriz brasileira.....	17
3.3. Biomassa .....	18
3.4. Resíduos a serem estudados .....	19
3.4.1. Casca da castanha de caju.....	19
3.4.2. Bagaço da cana-de-açúcar .....	20
3.5. Briquetes .....	20
4. MATERIAIS E MÉTODOS .....	22
4.1. Localização dos experimentos.....	22
4.2. Preparação das amostras .....	22
4.3. Metodologia para determinação do teor de umidade.....	22
4.4. Produção dos briquetes .....	23
4.5. Metodologia para determinação do teor de cinzas .....	25
4.6. Metodologia para a determinação do teor de voláteis .....	27
4.7. Metodologia para a determinação do poder calorífico superior.....	28
4.8. Metodologia para a determinação do teor de carbono fixo .....	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
6. CONCLUSÃO.....	34
REFERÊNCIAS .....	35

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil, por se tratar de um país em constante crescimento populacional além de está em desenvolvimento industrial e tecnológico, apresenta uma demanda de energia com taxa de crescimento anual. De acordo com estudos divulgados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o consumo brasileiro até 2050 irá triplicar, chegando a 1.624 terawatt hora (Twh).

Contudo, sua maior fonte geradora de energia, as usinas hidrelétricas, não podem mais suprir essa demanda, devido a diversos fatores, entre eles a escassez hídrica. Diante desse contexto, para garantir a toda energia que o cenário apresentado pelo estudo da EPE prevê necessária aos brasileiros em 2050, além da busca por fontes alternativas de energia, investimentos vêm sendo feitos.

Entre as alternativas para contornar essa problemática, tem-se a biomassa, que consiste em matéria orgânica de origem animal ou vegetal; e é capaz de gerar energia pelo processo de combustão. Sendo essa, uma fonte de energia limpa e renovável, com maior potencial de crescimento nos últimos anos. Segundo a pesquisa realizada IEA Bioenergy Task 40, o Brasil é o país que mais utiliza biomassa na produção de energia (BRASÍLIA, 2010).

Dentre os diversos tipos de fontes de biomassa, estão entre as mais usuais as de origem florestal e agrícola. De acordo com estudos, a produção de energia elétrica e dos biocombustíveis em grande quantidade, está relacionada com a biomassa oriunda de fins agrícolas. Na verdade, sendo utilizados os resíduos das culturas agrícolas, se destacando também devido ao quesito de preservação do meio ambiente, como se pede nas nossas legislações ambientais.

Para obtenção deste energético, tem-se o setor agroindustrial, produzindo anualmente milhões de toneladas de resíduos. O Brasil, sendo um país com grande extensão territorial e clima favorável, é portador de uma grande parcela de biomassa. Diariamente, um grande volume de resíduos é gerado pela agroindústria, onde os mesmos, em sua grande maioria, são descartados no meio ambiente podendo causar sérios danos ambientais, quando na verdade poderiam estar sendo utilizados como fonte de energia.

Um exemplo é o bagaço de cana, subproduto da cana-de-açúcar, a qual o Brasil é um dos maiores produtores mundiais. A cana-de-açúcar é considerada uma matéria-prima de grande potencial para o setor de biocombustíveis, devido à produção de etanol e seus subprodutos (Conab, 2017). Segundo Santos (2012), para cada tonelada de cana-de-açúcar processada, são gerados cerca de 140 kg de palha e 140 kg de bagaço em base seca,

totalizando em 280 Kg de resíduos por tonelada de cana processada. Além do bagaço da cana, outros resíduos agroindustriais, como a casca da castanha de caju, também podem ser utilizados como biomassa na geração de energia.

A biomassa, como já foi dita, é uma das principais fontes de energia renovável, para potencializar o seu uso, ela pode ser transformada em combustível sólido, como o briquete, que é feito por meio de técnicas de compactação. A densificação da biomassa, além de facilitar o transporte e como consequência aumentar a sua utilização, pode melhorar os potenciais de queima da matéria em questão, tornando-o mais competitivo no mercado.

Os briquetes podem ser produzidos a partir de qualquer resíduo vegetal, dentre os materiais que já são utilizados pode-se citar a serragem, a palha do milho, o bagaço da cana, cascas e caroços de frutas e podas de árvores. No Brasil são produzidos cerca de 1,2 milhões de toneladas de briquetes por ano. Destes, 930 mil toneladas são de madeira e 272 mil toneladas de resíduos agrícolas (EMBRAPA, 2015). A taxa de crescimento da demanda de briquete é de 4,4% ao ano, o que demonstra seu potencial de crescimento no mercado de energia.

Diante desse cenário, o presente trabalho foi desenvolvido visando à utilização desses dois resíduos agroindustriais e sua utilização para a produção de energia. O estudo envolveu análises para classificar os briquetes produzidos a partir dessas matérias primas, como: Teor de Umidade, Teor de Voláteis, Teor de Cinzas, Carbono Fixo e Poder Calorífico.

Ao final pode-se perceber a eficácia de outros resíduos agrícolas para produção de energia e determinar qual matéria prima tem maior potencialidade.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1.Objetivo Geral**

Realizar a briquetagem de resíduos agrícolas e analisa-los quanto às suas potencialidades energéticas.

### **2.2.Objetivos Específicos**

Realizar a escolha das matérias-primas e o seu preparo para serem estudadas.

Determinar a umidade de cada matéria a ser estudada e colocá-las em uma umidade padrão.

Produzir os briquetes.

Realizar a análise imediata dos briquetes, avaliando seu teor de cinzas, voláteis e carbono fixo.

Determinar o procedimento para calcular o poder calorífico de cada amostra e realizar sua análise.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. Fonte de energia**

A energia é um dos indispensáveis recursos para a sobrevivência humana e está presente em nossas vidas desde a antiguidade, e a cada dia a demanda é maior. De acordo com Key World Energy Statistics (2008), entre os anos de 1973 e 2006, o consumo de petróleo para geração de energia passou de 4.672 milhões de toneladas equivalente de petróleo (tep) para 8.084 milhões de tep.

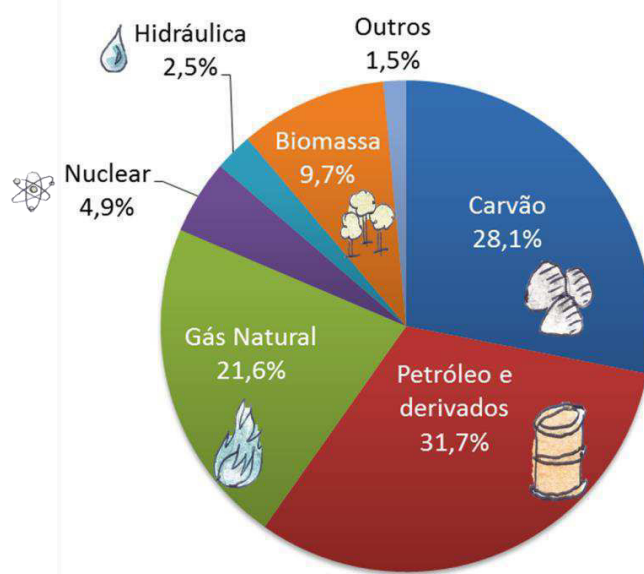
Esse recurso tão importante pode ser proveniente de diferentes fontes geradoras, podendo ser renováveis ou não renováveis. Devido alguns fatores ambientais, pesquisadores estão preocupando-se com as mudanças ocorridas no ecossistema, como a mudança no clima atmosférico. Por isso, existe uma necessidade que exista a utilização de fontes renováveis geradoras de energia.

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.

O mundo possui uma matriz energética composta, principalmente, por recursos não renováveis, de acordo com EPE (2015). 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 da matriz energética mundial

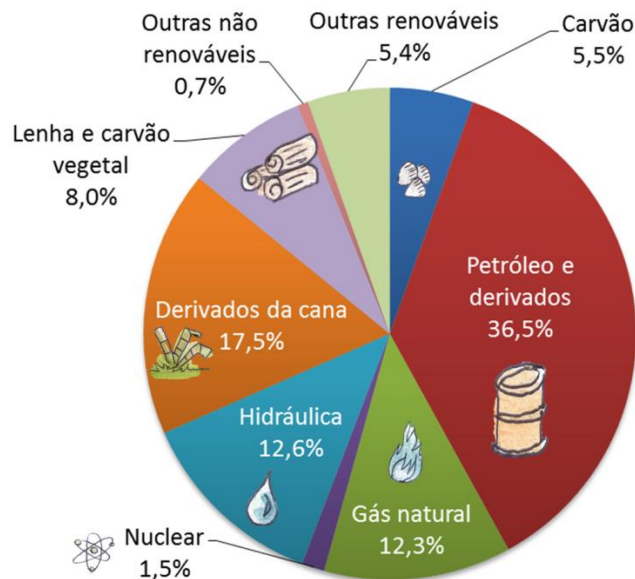


Fonte: Empresa de Pesquisa Energética, 2016.

### 3.2.Utilização de energias renováveis na matriz brasileira

A matriz energética do Brasil é muito diferente da mundial. Por aqui, apesar do consumo de energia de fontes não renováveis ser maior do que o de renováveis usamos mais fontes renováveis que no resto do mundo. Somando a percentagem de lenha e carvão vegetal, energia hidráulica, derivados de cana e outras renováveis, nossas fontes de energias renováveis totalizam 43,5%, representando quase metade da nossa matriz energética, como pode ser visto pelo gráfico dois.

Gráfico 2 – Matriz energética brasileira



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética, 2016.

Essa diferença da matriz energética brasileira para mundial pode ocorrer devido a inúmeros fatores, como o Brasil está situado em uma zona intertropical, apresentando disponibilidade de insolação durante o ano inteiro, e assim uma consequente disponibilidade de energia solar para geração elétrica através da utilização de painéis fotovoltaicos. Além da energia solar, há outras fontes relevantes de energia renovável, sendo elas a energia eólica, uma vez que o Brasil possui significativas cargas de vento durante todo o ano, as hidrelétricas, que são favorecidas pela presença de extensas bacias hidrográficas, que aliadas à sua topografia de planalto, contribuem para um bom aproveitamento hidráulico e também a biomassa.

### **3.3.Biomassa**

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, por meio de processos físicos, químicos e biológicos em combustíveis. Ela também é uma fonte renovável de energia.

De acordo com Goldemberg (2007), a biomassa pode ser dividida em diversas subcategorias, desde as mais tradicionais, como a lenha e os resíduos animais e vegetais, até as mais modernas, como o etanol utilizado por automóveis o biodiesel, o bagaço de cana para geração energética e gás de aterros sanitários que são utilizados para geração de eletricidade.

Segundo Werther (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 de acordo com o mesmo autor, os resíduos de atividades florestais representam 65% do potencial energético da biomassa, enquanto os resíduos de culturas agrícolas são de 33%.

Ao analisar esse cenário, percebe-se que a biomassa é uma fonte energética renovável com maiores chances de crescimento para as próximas décadas, uma vez que ela tem potencial para competir com os derivados do petróleo no mercado internacional. A partir desse tipo de matéria-prima pode-se obter combustível e energia elétrica, como etanol e biodiesel, cujo consumo é crescente e propício a substituir os derivados do petróleo como o óleo diesel e a gasolina (ANEEL, 2006).

Uma das principais vantagens da biomassa é que, embora de eficiência reduzida, seu aproveitamento pode ser feito diretamente, através da combustão direta em fornos e caldeira, por exemplo.

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, 2006).

De acordo com Aneel (2008), embora esse tipo de geração de energia seja muito prático e, às vezes, conveniente, o processo de combustão direta é normalmente muito ineficiente devido ao seu armazenamento e o seu transporte. Contudo, com a compactação da biomassa, como a lenha, a palha, e os outros, irá aumentar a densidade energética desse gerador de energia, além de facilitar o transporte e o armazenamento.

### **3.4. Resíduos a serem estudados**

#### **3.4.1. Casca da castanha de caju**

O caju é uma cultura que ocupa uma área de 710.000 hectares só no Nordeste brasileiro, o que representa cerca de 99,5% da área que cultiva o caju no país. O Brasil foi o quarto maior produtor mundial em 2006. Tomando como base a produção de castanha, também de 2006 a 2012 houve uma produção média de 180.566 toneladas (IBGE, 2012) mostrando que se trata de uma cultura que se mantém ativa.

De acordo com o IBGE (2015), a produção de castanha de caju brasileira deverá somar 229.000 toneladas, e ainda de acordo com o órgão, é estimado que o Ceará seja responsável por grande parte dessa produção, produzindo cerca de 148.000 toneladas de castanha de caju.

Toda essa castanha que é comercializada gera o resíduo de casca que contribui para degradar o meio ambiente, além de aumentar a quantidade de resíduos em aterros e lixões. Contudo, esse resíduo pode ser utilizado de outra maneira nas indústrias, gerando energia para as caldeiras por meio da sua queima.

De acordo com CIMM (2010), no estado do Ceará existem empresas que utilizam a casca da castanha para produzir energia para suas caldeiras, justificando tal ação como vantagem para o meio ambiente, uma vez que diminui a queima de combustíveis fósseis, quanto para a empresa em si, pois se trata de uma matéria-prima com baixo custo.

### **3.4.2. Bagaço da cana-de-açúcar**

O bagaço da cana-de-açúcar é outro resíduo encontrado em grandes quantidades nas cidades brasileiras, o qual pode ser considerado o principal resíduo agrícola brasileiro visto à expansão da produção de álcool no país.

De acordo com a CONAB (2018), a safra de cana-de-açúcar entre 2017/2018 foi de 633,26 milhões de toneladas, o que resulta em uma grande quantidade de bagaço de cana, uma vez que segundo Santos (2012), para cada tonelada de cana-de-açúcar há a produção de 140Kg de bagaço. A região Nordeste detém desse valor cerca de 41 milhões de toneladas, ainda de acordo com a CONAB (2018).

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, com aproveitamento de 50% do bagaço, a cogeração de energia foi de 9 mil MW ou 8% da demanda nacional projetada (UNICA, 2011).

### **3.5. Briquetes**

De acordo com Filippeto (2008), 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.

Os briquetes são fabricados para atender estabelecimentos e indústrias que possuam fornalhas, forno, caldeiras e que utilizam lenha para gerar energia. Eles podem substituir com a vantagem a lenha à medida que reduz os custos, pois eles podem ser feitos de resíduos agrícolas, que normalmente iriam para os aterros sanitários, além de facilitar o transporte e armazenamento. De acordo com Gentil (2008), os briquetes contribuem para o controle do desmatamento e da poluição.

Segundo Silveira (2008), a briquetagem é uma forma bastante eficiente para concentra energia disponível da biomassa, pois 1m<sup>3</sup> de briquetes contém de 2 a 5 vezes mais energia que 1m<sup>3</sup> de resíduos. Este processo provoca a plastificação da lignina, substância que atua como elemento aglomerante das partículas prensadas.

De acordo com BIOMAX (2010), 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.

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1. Localização dos experimentos**

Os experimentos foram todos 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. Preparação das amostras**

Durante o primeiro momento do trabalho, foi realizada a coleta e o armazenamento das matérias-primas em questão, o bagaço da cana e a casca da castanha de caju. Para que as amostras durassem conservadas durante todos os procedimentos, as que eram úmidas passaram por uma secagem prévia, exposição ao sol por cerca de 6 horas, para perderem parte da sua umidade.

Após a retirada da água, as amostras passaram pelo processo de redução granulométrica para então serem compactadas. Essa redução aconteceu com o auxílio de instrumentos cortantes, como tesoura e facas.

De início, para a produção dos briquetes, as amostras passam por uma análise do teor de umidade feita pelo procedimento experimental da norma ABNT NBR 114929 (Carvão Vegetal – Análise Imediata), o qual será explicado no tópico seguinte. Por meio desse procedimento, a amostra é alinhada por volta do valor de  $10 \pm 1\%$  de umidade. Esse teor de água é valor padrão encontrado após sucessivos testes laboratoriais o qual permitiu a visualização de melhor resistência do briquete, o mesmo também está presente na literatura.

### **4.3. Metodologia para determinação do teor de umidade**

O experimento para encontrar o teor de umidade, como já foi mencionado, baseia-se na norma ABNT NBR 14929 (Carvão Vegetal – Análise Imediata). Para isso, pesou cinco gramas de cada matéria-prima em uma balança digital, Marte ID200 (Figura 1) que nos fornece a determinação da umidade em base úmida da amostra em seu próprio visor. A balança possui uma resistência elétrica que aquece a amostra até que sua massa torne-se constante. Os teores de umidade em base seca, por sua vez, são obtidos por manipulação algébrica, como é visto na Equação 1 (LORA; NOGUEIRA, 2003).

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

$Ts$  = Teor de umidade da amostra, em porcentagem (% bs);

$m1$  = massa inicial da amostra, antes da secagem (g);

$m2$  = massa final da amostra, após a secagem(g).

Figura 1 - Balança digital, Marte ID200.



Fonte: Autor.

#### 4.4. Produção dos briquetes

Após a padronização da umidade das amostras, o próximo passo foi realizar a confecção do briquete. O material foi prensado em um molde cilíndrico de aço AISI 304 (Figura 2), com diâmetro interno de 50,0 mm e com uma prensa hidráulica Marconi de 15 ton. (Figura 3). A amostra foi acondicionada no molde e compactada com a pressão de interesse, no caso desse estudo até 7,5 toneladas. Em seguida foi esperado o tempo de 5 minutos após a compactação com a pressão e mais 5 minutos de descanso sem pressão, para que então o briquete ser retirado do molde, de modo a ter uma melhor consistência do mesmo (Paula, 2010).

Para cada amostra, foram produzidos briquetes de 5g cada em triplicata para realizar as diversas análises. A massa dos briquetes foi obtida utilizando uma balança analítica, marca Marte, modelo AY220 (Figura 4).

Figura 2 - Molde cilíndrico de aço.



Fonte: Autor.

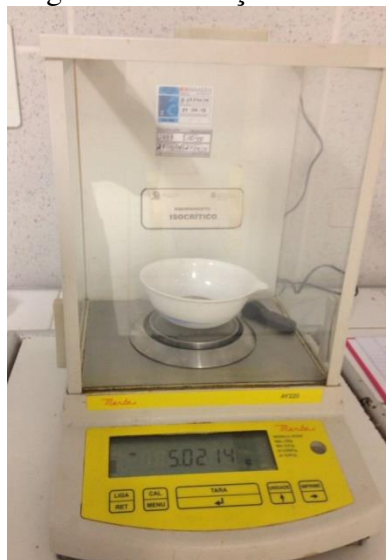
Figura 3 – Prensa hidráulica



Fonte: Autor.



Figura 4 – Balança analítica



Fonte: Autor.

Figura 5 – Briquete da casca da castanha



Fonte: Autor.

#### **4.5. Metodologia para determinação do teor de cinzas**

Após a confecção do briquete, foi realizada a análise do teor de cinzas, conforme está descrito na norma ABNT NBR 8112. Um briquete de cinco gramas foi disposto em um cadinho de porcelana (Figura 6), após esse passar pelo procedimento de limpeza como descrito na norma, e foi levado ao Forno Mufla (Figura 7), a uma temperatura de 525°C

durante 4 horas. Ao sair do forno, o cadinho é levado para o dessecador (Figura8) para que possa resfriar mais rápido, estando no vácuo, e assim ser conferido seu peso. Caso a amostra ainda não esteja completamente esbranquiçada, o cadinho deve retornar para a mufla por mais 2 horas. O teor de cinzas foi calculado por meio da equação dois.

$$Tc = \frac{m_3 - m_4}{m_i} * 100 \quad (2)$$

Tc = Teor de cinzas (%);

$m_3$  = massa final após aquecimento (cadinho + resíduo) (g);

$m_4$  = massa do cadinho vazio (g);

$m_i$  = massa inicial da amostra (g).

Figura 6 – Cadinho de porcelana contendo cinzas do briquete



Fonte: Autor.

Figura 7 – Forno mufla



Fonte: Autor.

Figura 8 - Dessecador



Fonte: Autor.

#### 4.6. Metodologia para a determinação do teor de voláteis

A etapa seguinte é a determinação do teor de voláteis do briquete, que está determinada na ABNT NBR 8112. De acordo com a norma, para a realização do experimento de voláteis, a amostra precisa estar sem umidade, assim, antes de iniciar o procedimento, os briquetes passam pela balança de umidade para que toda a água presente possa evaporar, o método é o mesmo já explicado no tópico 4.3..

Os briquetes estando sem umidade, é então iniciada a etapa de voláteis. Cerca de um grama da amostra é pesado em um cadinho de platina (Figura 9), e é levado para o Forno Mufla a 900°C. Durante 3 minutos o cadinho, tampado contendo a amostra do briquete, fica disposto sobre a tampa do forno, depois ele é colocado para o interior onde fica mais 7 minutos. Logo após, o cadinho é levado para o dessecador para que haja o resfriamento da amostra e então ela possa ser pesada. O teor de voláteis da amostra é estabelecido pela equação 3.

$$Tv = \frac{m_5 - m_6}{m_5} * 100 \quad (3)$$

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

$m_5$  = massa da amostra sem umidade (g);

$m_6$  = massa da amostra após aquecimento em Forno Mufla (g).

Figura 9 – Cadinho de platina com briquete depois de retirada dos voláteis



Fonte: Autor.

#### 4.7. Metodologia para a determinação do poder calorífico superior

De acordo com a norma ABNT NBR 8633 foi determinado o poder calorífico superior das amostras em questão. Elas foram introduzidas em uma bomba calorimétrica (Figura 10). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

Figura 10 – Bomba calorimétrica



Fonte: Autor.

#### 4.8. Metodologia para a determinação do teor de carbono fixo

Por fim, o teor de carbono fixo da amostra segue a norma ABNT NBR 8112. Utiliza apenas equações matemáticas para encontrar o valor, como está na equação quatro.

$$Cf = 100\% - Tc - Tv \quad (4)$$

Cf = teor de Carbono Fixo, em porcentagem (%);

Tc = Teor de Cinzas, em porcentagem (%);

Tv = Teor de Voláteis, em porcentagem (%).

Tabela 1 - Características de cada procedimento

<b>Análises</b>	<b>Normas</b>	<b>Massa de amostra (g)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Equipamentos</b>
Umidade	ABNT NBR 14929	5,00	105	Estufa/ Balança analítica
Poder Calorífico Superior	ABNT NBR 8633	1,00	-	Bomba Calorimétrica
Teor de Voláteis	ABNT NBR 8112	1,00	900	Mufla
Teor de Cinzas	ABNT NBR 8112	5,00	525	Mufla
Carbono Fixo	ABNT NBR 8112	-	-	-

Fonte: Autor.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises foram estabelecidos de acordo com as metodologias aplicadas e já discutidas anteriormente para as amostras de bagaço da cana-de-açúcar e casca da castanha de caju na forma de briquetes. A princípio, foi realizada a análise da umidade de todas as amostras para produção de briquetes em base úmida (b.u.) e base seca (b.s.) seguindo a norma ABNT NBR 14929. Como foi citado, as amostras devem ter cerca de  $10\% \pm 1\%$  de água para fazer um briquete de boa qualidade. Quando verificado que amostra não estava nessa margem, ela era levada para a estufa por determinado tempo para que o teor de água pudesse ser menor.

Tabela 2 – Umidade dos briquetes

<b>Briquete</b>	<b>Umidade b.u. (%)</b>	<b>Umidade b.s. (%)</b>
Bagaço da cana	9,27	10,01
Casca da Castanha	9,92	11,02

Fonte: Autor

Após o alinhamento das amostras em relação à umidade, foi possível produzir os briquetes com as mesmas. Sabe-se que com o briquete é possível ter uma maior quantidade de matéria em um mesmo volume, conseqüentemente maior energia e maior sua competitividade no mercado.

Seguindo os processos com as amostras compactadas, foi realizado o processo para encontrar o Poder Calorífico Superior (PCS) de cada briquete e a análise imediata, a qual consiste na análise do teor de cinzas, análise do ter de voláteis e o percentual de carbono fixo, para cada um, análise essa que funciona como parâmetro de qualidade do briquete. Todos os experimentos foram executados em triplicata, permitindo calcular a média e o desvio padrão desses valores.

O PCS representa o calor liberado durante a queima, à quantidade máxima de energia que pode ser obtida com a combustão do material. Ele é um parâmetro que mede a eficiência energética e serve como um indicador para analisar a potencialidade de utilização. Analisando os briquetes desse estudo, percebe-se o de casca de castanha de caju apresenta valor parecido com o de bagaço de cana-de-açúcar, ficando em torno de  $18,0663 \pm 0,2502$  MJ/Kg, e esse último já é utilizado comercialmente, principalmente para queimar em caldeira.

Esse valor encontrado está de acordo com Silva e Morais (2008), onde os mesmos

encontraram para o briquete de bagaço de cana-de-açúcar estando com a umidade por volta de  $10\% \pm 1\%$ , o PCS no valor de 3.985 Kcal/Kg, o equivalente a 16,684 MJ/Kg.

Tabela 3 – Poder calorífico dos briquetes

<b>Briquete</b>	<b>Poder Calorífico Superior (MJ/Kg)</b>
Bagaço da cana	$18,0663 \pm 0,2502$
Casca da Castanha	$18,2651 \pm 0,6164$

Fonte: Autor

Outro teste que faz parte da análise imediata é o teor de voláteis. Segundo Garcia (2010), o teor de voláteis indica o comportamento na decomposição térmica, mostra o poder de ignição do combustível durante a queima.

Os materiais voláteis queimam e saem rapidamente na forma gasosa durante a queima. De acordo com Vieira (2012), a biomassa com alto teor de voláteis apresenta maior facilidade de incendiar e queimar. Nesse trabalho, os valores encontrados para as diferentes amostras estão na tabela a seguir.

Tabela 4 – Percentagem do teor de voláteis

<b>Briquete</b>	<b>Teor de Voláteis (%)</b>
Bagaço da cana	$77,79 \pm 0,0151$
Casca da castanha	$75,31 \pm 0,0177$

Fonte: Autor

O resíduo restante da queima é referente ao teor de cinzas, o qual pode interferir no teor de carbono fixo, este por sua vez indica a taxa de queima. Segundo Vieira (2012), 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, forçar a parada da produção de energia para a retirada das cinzas que são produzidas durante a queima dos briquetes.

Para as amostras estudadas é possível analisar a percentagem de cinzas na tabela que se segue. Percebe-se que quando comparada, mais uma vez, com o bagaço de cana, é possível visualizar que as duas outras amostras produzem uma quantidade menor de cinzas durante sua combustão, o que caracteriza um ponto positivo para sua utilização.

Tabela 5 – Percentagem do teor de cinzas das amostras

<b>Briquete</b>	<b>Teor de Cinzas (%)</b>
Bagaço da cana	3,57 ± 0,0062
Casca da castanha	1,58 ± 0,0001

Fonte: Autor

Para finalizar as análises, foi encontrado por meio de equações matemáticas, como foi explicado anteriormente, o teor de carbono fixo para cada briquete. Esses valores podem ser vistos na tabela a seguir.

Tabela 6 – Percentagem do teor de carbono fixo das amostras

<b>Briquete</b>	<b>Teor de Carbono Fixo (%)</b>
Bagaço da cana	18,44 ± 0,0089
Casca da Castanha	23,11 ± 0,0179

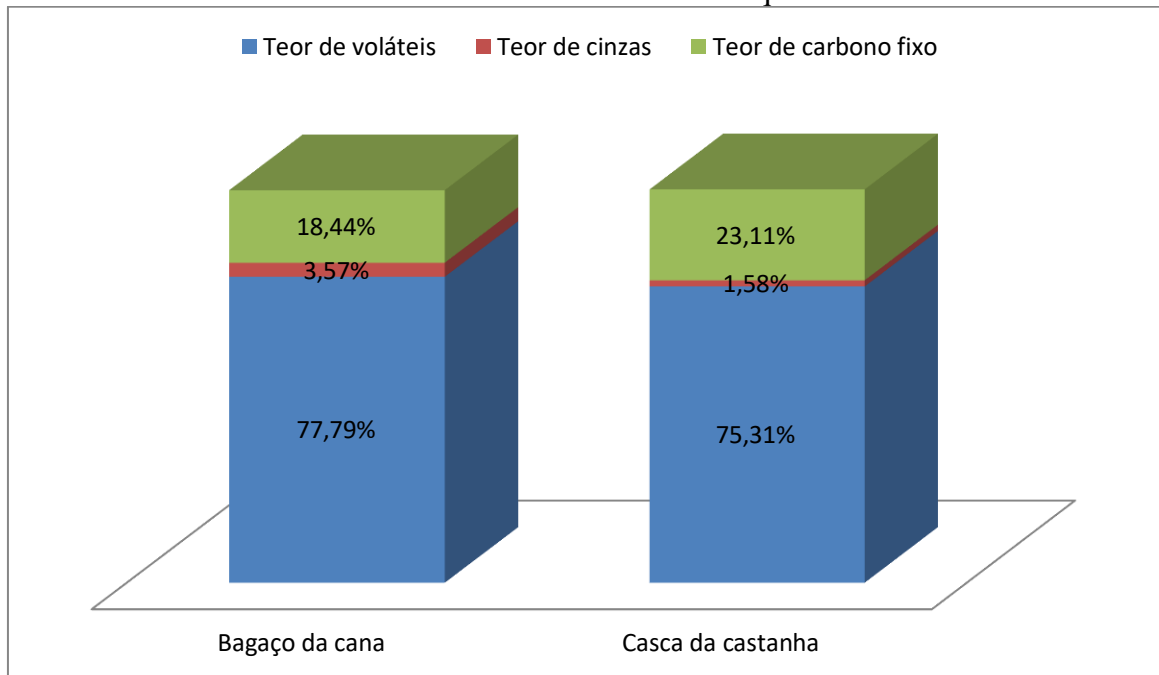
Fonte: Autor

De acordo com Oliveira (2003) e Oliveira (2010), o teor de carbono fixo da amostra, junto com as substâncias voláteis e cinzas, estão associados ao teor de lignina da madeira e às condições de carbonização, como temperatura final e taxa de aquecimento, pois maiores temperaturas e taxas de aquecimento reduzem o rendimento em carvão vegetal e favorecem a geração de gases devido à maior degradação térmica dos componentes da madeira.

De maneira a tornar essa análise mais visual, o gráfico 1 apresenta a análise imediata dos briquetes, a composição de cada um.



Gráfico 3 – Análise imediata dos briquetes



Fonte: Autor

## 6. CONCLUSÃO

A partir do trabalho realizado, a princípio, foi possível determinar os valores de umidade das amostras em questão e então, após essa etapa, foi notado que as amostras estudadas já estavam na umidade, que de acordo com a literatura é a indicada para a produção de briquetes, que gira em torno de 10%. Sendo assim, essas matérias primas não precisam de uma secagem mais eficiente para ficar no seu estado ideal.

Após o nivelamento do teor de água nas amostras, foi possível produzir os briquetes de bagaço de cana-de-açúcar e de casca da castanha de caju, estando os dois com a qualidade desejada, consistentes. Então, as análises foram realizadas e a partir delas foi possível perceber que o briquete de casca de castanha apresentou valores de PCS e os valores da análise imediata similares aos resultados encontrados para o briquete de bagaço de cana, quando esse último já é utilizado comercialmente.

O PCS dos briquetes estudados giraram os dois em cerca de 18 MJ/KG, já para a análise imediata, o teor de cinzas, que é um fator importante para a competitividade do briquete, a percentagem equivalente à casca de castanha foi um pouco mais alta, enquanto o bagaço de cana ficou com 18% de cinzas produzidas, a outra biomassa gerou cerca de 23%.

A partir dessas análises, com o presente trabalho foi possível perceber que outras matérias-primas podem ser utilizadas para a produção de energia, como é o caso da casca de castanha de caju.

## REFERÊNCIAS

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

ALVES, PEREIRA, LEITE. Aproveitamento Dos Resíduos De Biomassa Proveniente Da Cana-De-Açúcar Como Energético Na Região Do Triângulo Crajubar, Sul Do Ceará. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL*, 1, 2004, Florianópolis Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/ictr/2004/ARQUIVOS%20PDF/01/01-023.pdf>>. Acesso em: 14 jun. 2018.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Biomassa. Home Page. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicações/atlas/pdf/05-biomassa.pdf>> Acesso em: 09 de julho de 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 8112: Carvão vegetal – Análise imediata. Rio de Janeiro: ABNT, 1986. 15 p.

\_\_\_\_\_. 8633: Determinação do poder calorífico da madeira e do carvão vegetal. Rio de Janeiro: ABNT, 1986. 13 p.

\_\_\_\_\_. 14929: Madeira - Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 3 p.

BRASIL. BNDES. Banco Nacional De Desenvolvimento. O Papel das Fontes Renováveis de Energia no Desenvolvimento do Setor Energético e Barreiras a sua Penetração no Mercado. Homepage. Disponível em: <[https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2436/1/BS%2021%20O%20papel%20das%20fontes%20renováveis\\_P.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2436/1/BS%2021%20O%20papel%20das%20fontes%20renováveis_P.pdf)> Acesso em: 22 de julho de 2018.

\_\_\_\_\_. Comunicação Institucional do Abastecimento da Petrobras. BIOCOMBUSTÍVEIS, 50 perguntas e respostas sobre este novo mercado. Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/matprima1\\_000g7pcetcc02wx5ok0wtedt32e6jis7.pdf](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/matprima1_000g7pcetcc02wx5ok0wtedt32e6jis7.pdf)>. Acesso em: 30 jun. 2018.

\_\_\_\_\_. EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Aspectos econômicos da cultura do cajueiro. 2016. Disponível em: <[https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p\\_p\\_id=conteudoportlet\\_WAR\\_sistemasdeproducaolf6\\_1galceportlet&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-2&p\\_p\\_col\\_count=1&p\\_r\\_p\\_-76293187\\_sistemaProducaoId=7705&p\\_r\\_p\\_-996514994\\_topicoId=10308](https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=7705&p_r_p_-996514994_topicoId=10308)>. Acesso em: 15 jun. 2018.

\_\_\_\_\_. EMBRAPA. Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. Agroenergia. Produção de energia com resíduos agropecuários. Brasília: INFOTECA-E, 2015. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/producao-de-energia-com-residuos-da-agropecuaria>>. Acesso em: 26 jun. 2018.

\_\_\_\_\_. EPE. Empresa de Pesquisa e Energia. Matriz Energética e Elétrica. 2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 14 jul. 2018.

BRASÍLIA. ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Atlas de energia elétrica do Brasil. 3. ed. 2008. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 19 jun. 2018.

FILIPPETO, Briquetagem de resíduos vegetais: viabilidade técnico-econômica e potencial de mercado. Dissertação (Mestrado em Planejamento em Sistemas Energéticos) Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

GARCIA, D. P. Caracterização Química, física e térmica de pellets de madeira produzidos no Brasil. GUARATINGUETÁ: UNESP, 2010. 103f. Dissertação (Mestrado em Materiais Compósitos Lignocelulósicos).

GENTIL, L.V.B. Tecnologia e economia do briquete de madeira (Tese de Doutorado em Engenharia Florestal), Brasília, UnB, 2008.

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 SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ENERGIA NO MEIO RURAL, 2006, Campinas. Disponível em: <<http://paginas.agr.unicamp.br/energia/agre2006/pdf/54.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. Energias renováveis: um futuro sustentável . Revista USP, Brasil, n. 72, p. 6-15, feb. 2007. ISSN 2316-9036. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/13564>>. Acesso em: 10 July 2018. doi:<http://dx.doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i72p6-15>.

INEE. Instituto Nacional De Eficiência Energética. Energia da Biomassa. Homepage. Disponível em: < [http://www.inee.org.br/biomassa\\_sobre.asp?Cat=biomassa](http://www.inee.org.br/biomassa_sobre.asp?Cat=biomassa)> Acesso em: 12 de jun. de 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão - MP. Produção agrícola municipal - lavoura permanente - 2012. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=230210&idtema=122&search=ceara|baturite|producao-agricola-municipal-lavoura-permanente-2012>>. Acesso em: 25 jun. 2018.

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

Oliveira AC, Carneiro ACO, Vital BR, Almeida W, Pereira BLC, Cardoso MT. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. Scientia Forestalis 2010; 38(87): 431-439.

Oliveira E. Características anatômicas, químicas e térmicas da madeira de três espécies de maior ocorrência no semiárido nordestino [tese]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2003.

RODRIGUES, DANTAS, SILVA, da *et al.* Uso de briquetes compostos para produção de energia no estado do Pará.. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002,

SILVA. Avaliação Energética Do Bagaço De Cana Em Diferentes Níveis De Umidade e Graus De Compactação. 2008. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008\\_tn\\_stp\\_077\\_543\\_11289.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_tn_stp_077_543_11289.pdf)>. Acesso em: 15 jun. 2018.

SILVEIRA, M. S. Aproveitamento da casca de coco verde para produção de briquetes em Salvador-BA. Dissertação mestrado. UFBA. 2008.

TOLMASQUIM, Mauricio T.; GUERREIRO, Amilcar; GORINI, Ricardo. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. *Novos estud. - CEBRAP*, São Paulo, n. 79, p. 47-69, Nov. 2007. Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-33002007000300003&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-33002007000300003&lng=en&nrm=iso)>. access on 25 July 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-33002007000300003>.

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.