



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

CHASTRYANE BARROS DE SOUSA SILVA

ESTUDO DA AMÊNDOA DE BABAÇU COMO MATÉRIA-PRIMA PARA
PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS

FORTALEZA

2018

CHASTRYANE BARROS DE SOUSA SILVA

ESTUDO DA AMÊNDOA DE BABAÇU COMO MATÉRIA-PRIMA PARA PRODUÇÃO
DE BIOCOMBUSTÍVEIS

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Química do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharela em Engenharia Química.

Orientadora: Prof.^a Dra. Maria Alexandra de Sousa Rios.

FORTALEZA

2018

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

- S579e Silva, Chastryane Barros de Sousa.
Estudo da amêndoa de babaçu como matéria-prima para produção de biocombustíveis / Chastryane Barros de Sousa Silva. – 2018.
75 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Química, Fortaleza, 2018.
Orientação: Profa. Dra. Maria Alexsandra de Sousa Rios.
1. Babaçu. 2. Biodiesel. 3. Análise imediata. 4. Briquetes. I. Título.

CDD 660

CHASTRYANE BARROS DE SOUSA SILVA

ESTUDO DA AMÊNDOA DE BABAÇU COMO MATÉRIA-PRIMA PARA PRODUÇÃO
DE BIOCOMBUSTÍVEIS

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Química do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dra. Maria Alexandra de Sousa Rios (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. André Casimiro de Macedo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^ª. Dra. Ada Amélia Sanders Lopes
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Aos meus pais Castro e Silvane, por seu cuidado e dedicação. Emanuel, sua companhia e amor significam tanto que não tenho palavras para dizer o quanto te amo. Aos meus amados filhos Paulo e Cecilia, mamãe os ama muito.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me amar de maneira incondicional e sem limites, e sempre está comigo em cada fase da minha vida.

Aos meus pais, José Castro e Maria Silvana, por todo o amor a mim dedicado, pelo apoio, incentivo e encorajamento. A vocês todo o meu amor, respeito e gratidão.

Aos meus irmãos Guthierre Castro Barros de Sousa, Thiago Barros de Sousa e Maria Luiza Barros de Sousa por sempre me ajudar a seguir.

Ao meu marido Emanuel Alves Silva, por sempre acreditar em mim mesmo quando não o faço.

Aos meus amados filhos Paulo Rafael Barros Silva e Ana Cecilia Barros Silva por serem meu farol e motivo de nunca desistir.

À minha orientadora Profa. Dra. Maria Alexandra de Sousa Rios, pela oportunidade, atenção, apoio e confiança para a realização deste trabalho.

Às professoras participantes da banca examinadora por terem aceitado de bom grado participarem desse momento tão especial.

Aos meus amigos de faculdade que tornaram o caminho percorrido mais fácil e alegre. Em especial ao Ronniery Pereira, a Juliana Oliveira, Lucas Freitas e o Lucas Sidrião.

Aos técnicos e amigos do Laboratório de Referência em Biocombustíveis (LARBIO), Deiby Anne Uchôa, Erick Felipe, Rosali Marques e Raul Paixão pela amizade, apoio e no auxílio na realização da minha pesquisa.

“Viver é enfrentar um problema atrás do outro.
O modo como você o encara é que faz a
diferença.” (Benjamin Franklin)

RESUMO

A crescente demanda por energia e a preocupação com os impactos ambientais significativos gerados pela queima excessiva de combustíveis fósseis que, além de possuírem elevados preços, são poluentes e não renováveis reforçando a necessidade pela busca de fontes renováveis de energia como, por exemplo, os biocombustíveis que são economicamente viáveis e ambientalmente corretos. O Coco Babaçu (*Orbignya sp.*) foi utilizado como fonte de pesquisa para este trabalho com o objetivo de se determinar sua adequação como biomassa para fins energéticos, devido a sua importância socioeconômica e ao destaque que a região nordeste apresenta em seu extrativismo. Foram realizadas a extração do óleo a partir da amêndoa de babaçu e em seguida a produção do biodiesel; a caracterização da amêndoa, do óleo, do biodiesel e da torta residual pós-extração e o estudo da viabilidade para produção de briquetes formados por Torta Residual e outras biomassas. A caracterização da matéria-prima, do produto, subprodutos e briquetes foi realizada segundo metodologias descritas nas normas ABNT NBR, ASTM e no Manual do Instituto Adolfo Lutz. O processo de extração do óleo com solvente realizado na amêndoa *in natura* e degradada apresentaram, respectivamente, uma eficiência de 52,1% e 50,07%; mas quando submetido a um processo secundário de extração por prensa a eficiência alcançou 59,8% e 70,66%. A Carbonização da torta residual pós-extração foi realizada em forno mufla nas temperaturas de 250 °C, 300 °C, 350 °C e 400 °C. Os resultados mais relevantes obtidos para o óleo de babaçu foram: Índice de Acidez de 4,64 mg KOH/g e Índice de Saponificação de 228,73 mg KOH/g. Para o Biodiesel de babaçu foram: densidade de 0,88 g/cm³; Poder Calorífico Superior (PCS) de 38,54 MJ/kg. Para a amêndoa de babaçu *in natura* foi: PCS de 30,03 MJ/kg. O resíduo pós-extração *in natura* apresentou o PCS de 23,06 MJ/kg. Após carbonização os PCS' obtidos foram de: 28,07 MJ/kg; 30,69 MJ/kg; 28,24 MJ/kg e 18,27MJ/kg, respectivamente para as temperaturas de 250 °C, 300 °C, 350 °C e 400 °C. Os resultados obtidos nas análises para a amêndoa de babaçu apontaram que a mesma apresenta um potencial inexplorado como, por exemplo, a possibilidade de ser utilizada como fonte de energia e como agente aglomerante.

Palavras-chave: Babaçu. Biodiesel. Análise Imediata. Briquetes.

ABSTRACT

The growing demand for energy and the concern with the significant environmental impacts caused by excessive burning of fossil fuels, besides having high prices, are polluting and non-renewable reinforcing the need for the search for renewable energy sources such as biofuels that they are economically viable and environmentally friendly. The Babassu (*Orbignya* sp.) Was used as a source of research for this study in order to determine its suitability as biomass for energy purposes due to their socio-economic importance and highlight the northeast region has in its extraction. oil extraction were made from almond babassu oil and then biodiesel production; the characterization of the almond oil, biodiesel and post-extraction residual pie and the feasibility study for the production of briquettes formed by Pie Residual and other biomass. The characterization of the raw material, product, by-products and briquettes was performed according to methods described in the NBR, ASTM and the Adolfo Lutz Institute Manual. The oil solvent extraction process performed in almond fresh and showed degraded, respectively, an efficiency of 52.1% and 50.07%; but when subjected to a secondary process by press extraction efficiency reached 59.8% and 70.66%. The carbonization of the post-extraction residual cake was held in the muffle furnace at temperatures of 250 ° C, 300 ° C, 350 ° C and 400 ° C. The most relevant results for the babassu oil were: acid number of 4.64 mg KOH / g Saponification value 228, 73 mg KOH / g. For biodiesel babassu were: density 0.88 g / cm³; Higher Calorific Power (HCP) of 38.54 MJ / kg. For the almond babassu in natura was: PCS 30.03 MJ / kg. The residue after extraction *in natura* presented HCP 23.06 MJ / kg. After carbonization HCP's were obtained: 28.07 MJ / kg; 30.69 MJ / kg; 28.24 MJ / kg and 18,27MJ / kg, respectively to temperatures of 250 ° C, 300 ° C, 350 ° C and 400 ° C. The results of the analyzes for babassu kernel showed that it presents an untapped potential as, for example, the possibility of being used as a source of energy and as binding agent.

Keywords: Babassu. Biomass. Immediate Analysis. Energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma do processo de obtenção do biodiesel, a partir da transesterificação. .	17
Figura 2 - Mapa de distribuição do Coco Babaçu no Brasil.....	22
Figura 3 - Composição do Coco Babaçu.	24
Figura 4 - Fluxograma de aplicações dos derivados do Coco Babaçu.	34
Figura 5 - Acondicionamento da Amêndoa de Babaçu	34
Figura 6 - Amêndoa de Babaçu após o processo de trituração.....	34
Figura 7 - Equipamento de extração.....	35
Figura 8 - Separação da mistura óleo/hexano utilizando um Rotaevaporador.	35
Figura 9 - Torta Residual de Babaçu.	36
Figura 10 - Etapas do Processo de Produção de Biodiesel.....	37
Figura 11 - Óleo de Babaçu antes e depois de filtragem, respectivamente.	37
Figura 12 - Etapas da análise do Índice de Saponificação.	40
Figura 13 - Etapas de realização do teste do PCS.	43
Figura 14 - Prensa hidráulica a frio e molde utilizado para a produção dos briquetes.....	44
Figura 15 - Briquete da torta residual de babaçu in natura.....	45
Figura 16 - Briquete do Torta Residual de babaçu e a casca de arroz, nas proporções 25%,50%, e 75%, respectivamente.	46
Figura 17 - Briquete do Torta Residual de babaçu e a casca de castanha, nas proporções 25%,50%, e 75%, respectivamente.	46
Figura 18 - Briquete do Torta Residual de babaçu e o bagaço de cana-de-açúcar, nas proporções 25%,50%, e 75%, respectivamente.....	46
Figura 19 - Briquete do Torta Residual de babaçu com a palha de carnaúba, o talo de carnaúba e ambos.....	47
Figura 20 - Amêndoa de Babaçu antes e depois do processo de degradação.....	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Matriz energética brasileira.....	20
Gráfico 2 - Composição percentual da análise imediata no processo de carbonização.	60
Gráfico 3 - PCS para a torta residual de babaçu carbonizada nas temperaturas (250 °C)	61
Gráfico 4 - Comparativo da análise imediata da torta residual de babaçu <i>in natura</i> e carbonizada a 300 °C.	62
Gráfico 5- Comparativo do PCS da torta residual de babaçu <i>in natura</i> e carbonizada a 300 °C...63	
Gráfico 6 - Composição da análise imediata do briquete da torta residual de babaçu <i>in natura</i> . .	64
Gráfico 7 - Comparativo análise imediata das blendas da torta residual de babaçu <i>in natura</i> com bagaço de cana-de-açúcar	65
Gráfico 8 - Comparativo da análise imediata das blendas de torta residual babaçu <i>in natura</i> com casca de arroz.....	66
Gráfico 9 - Comparativo da análise imediata das blendas da torta residual de babaçu <i>in natura</i> com casca de castanha.	67
Gráfico 10 - Comparativo da análise imediata das blendas de torta residual de babaçu <i>in natura</i> com palha e talo de carnaúba.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Normas técnicas utilizadas para a caracterização do Óleo e do Biodiesel de Babaçu	33
Tabela 2 - Normas técnicas utilizadas como referência para a caracterização da Amêndoa e da Torta Residual de Babaçu.	33
Tabela 3 - Resultado da análise imediata e poder calorífico superior da amêndoa de babaçu.	49
Tabela 4 - Resultado da análise imediata e poder calorífico superior da amêndoa de babaçu degradada.	49
Tabela 5 - Resultados da caracterização físico-química e PCS do óleo de babaçu bruto.	52
Tabela 6 - Resultados da caracterização físico-química do biodiesel.	54
Tabela 7 - Resultado da análise imediata e poder calorífico superior da torta residual de babaçu.	56
Tabela 8 - Resultado da análise imediata e poder calorífico superior da torta residual de babaçu degradada.	56
Tabela 9 - Resultado da análise imediata e poder calorífico superior da biomassa carbonizada a 250 °C, 300 °C, 350 °C e 400 °C.	59
Tabela 10 - Resultado do PCS das blendas da torta residual de babaçu in natura com bagaço de cana-de-açúcar.	65
Tabela 11 - Resultado do PCS das blendas de torta residual de babaçu <i>in natura</i> com casca de arroz.	66
Tabela 12 - Resultado do PCS da torta residual <i>in natura</i> e casca de castanha.	67
Tabela 13 - Resultado do PCS das blendas da torta residual de babaçu <i>in natura</i> com palha e talo de carnaúba.	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural Biocombustíveis
AOCS	American Oil Chemists Society
ASTM	American Society for Testing and Materials
BEN	Balanco Energético Nacional
CQE	Composição Química Elementar
D	Densidade Específica
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EN	European Standards
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
F	Fator de Correção
IA	Índice de Acidez
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IS	Índice de Saponificação
k	Constante do Tubo Capilar
LARBIO	Laboratório de Referência em Biocombustíveis Professor Expedito José de Sá Parente
M	Molaridade
M_0	Massa Inicial da Biomassa Úmida
M_1	Massa Seca
M_a	Massa da amostra inicial
M_2	Massa Final do Teste de Voláteis
M_{fc}	Massa do Cadinho mais resíduo no final do Teste de Cinzas
M_{cad}	Massa do Cadinho
M_{cat}	Massa de Catalizador
M_{oleo}	Massa de Óleo
M_{solv}	Massa de Solvente
NBR	Norma Brasileira
OIE	Oferta Interna de Energia
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior
TC	Teor de Cinzas
Tcf	Teor de Carbono Fixo
TU	Teor de Umidade
TV	Teor de Voláteis
ν	Viscosidade Cinemática

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivos	18
1.1.1 Objetivo Geral	18
1.1.2 Objetivos Específicos	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 Biomassa como Fonte de Energia	20
2.2 Aspectos Gerais do Coco Babaçu	21
2.3 Caracterização e Transformação da Biomassa	25
2.3.1 Umidade por Karl Fischer	25
2.3.2 Massa Especifica a 20 °C	25
2.3.3 Viscosidade Cinemática a 40 °C	26
2.3.4 Índice de Acidez	26
2.3.5 Índice de Saponificação.....	27
2.3.6 Análise Imediata	27
2.3.7 Poder Calorífico.....	29
2.3.8 Processo de Densificação	30
2.3.9 Carbonização da Biomassa.....	31
3 MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1 Processo de Extração	34
3.2 Produção do Biodiesel a partir do Óleo de Babaçu	36
3.3 Caracterização Físico-Química do Óleo e do Biodiesel de Babaçu	37
3.3.1 Umidade por Karl Fischer	37
3.3.2 Massa Especifica a 20 °C	38
3.3.3 Viscosidade Cinemática a 40 °C	38
3.3.4 Índice de Acidez	38
3.3.5 Índice de Saponificação.....	39
3.4 Determinação da Análise Imediata da Amêndoa e do Torta Residual de Babaçu <i>in natura</i>	40
3.4.1 Determinação do Teor de Umidade.....	40
3.4.2 Determinação do Teor de Voláteis	41
3.4.3 Determinação do Teor de Cinzas.....	41
3.4.4 Determinação do Teor de Carbono Fixo	42
3.5 Determinação do Poder Calorífico Superior da Amêndoa, do Óleo, do Biodiesel e da Torta Residual de Babaçu <i>in natura</i>	42
3.6 Processo de Carbonização	43

3.6.1 Análise imediata e PCS da biomassa carbonizada	44
3.7 Produção do Briquete	44
3.7.1 Briquete de Torta Residual de Babaçu	45
3.7.2 Análise imediata e PCS do briquete <i>in natura</i>	45
3.8 Blendas com a Torta Residual de Babaçu	45
3.8.1 Determinação da análise imediata e do PCS dos briquete de blenda.....	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1 Primeira Seção	48
4.1.1 Análise imediata e PCS da amêndoa de babaçu	48
4.1.1.1 <i>Teor de Umidade</i>	49
4.1.1.2 <i>Teor de Voláteis</i>	50
4.1.1.3 <i>Teor de Cinzas</i>	50
4.1.1.4 <i>Teor de Carbono Fixo</i>	51
4.1.2 <i>Poder Calorífico Superior</i>	51
4.2 Segunda Seção	51
4.2.1 Caracterização físico-química do óleo de babaçu	51
4.2.2 Poder Calorífico Superior	53
4.2.3 Caracterização físico-química do biodiesel de babaçu.....	53
4.2.4 Poder Calorífico Superior	56
4.3 Terceira Seção	56
4.3.2 Análise imediata e PCS da torta residual de babaçu <i>in natura</i>	56
4.4 Quarta Seção	59
4.4.1 Análise imediata e PCS da biomassa carbonizada	59
4.5 Quinta Seção	61
4.5.1 Comparação entre a análise imediata e PCS da biomassa <i>in natura</i> e carbonizada a 300 °C	61
4.6 Sexta Seção	63
4.6.1 Briquete da Torta de Babaçu <i>in natura</i>	63
4.6.2 Blendas da torta residual de babaçu e outras biomassas.	64
5 CONCLUSÃO	69
6 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	70
REFERÊNCIAS	71

1 INTRODUÇÃO

No ano de 2016, segundo dados do Balanço Energético Nacional (2017), a matriz energética brasileira apresentou o consumo de 56,5% de fontes energéticas não renováveis das quais 36,5% são fontes derivadas do petróleo, 12,3% de gás natural, 5,5% de carvão mineral, 1,5% de urânio e 0,7% de outras não renováveis. O consumo das fontes energéticas renováveis correspondeu a 43,5% incluindo a participação de 17,88% da biomassa, 12,6% da hidráulica, 8,0% de lenha e carvão vegetal e 5,02% correspondendo a lixo e outras renováveis.

Ressalta-se que a biomassa pode ser destinada ao aproveitamento energético por apresentar energia armazenada sob a forma de energia química e por ser uma fonte primária de energia, não fóssil, de origem animal ou vegetal. Dentro desse panorama, o Brasil dispõe de grande diversidade de fontes de biomassa vegetal, tanto a cultivada quanto a resultante de resíduos de processos agroindustriais, florestais e madeireiros. Com isso, possui grande potencial para empregar e desenvolver técnicas para a conversão desta fonte em biocombustíveis (LENÇO, 2010).

Dentre os vários cultivos de frutas existentes no Brasil, o processo de extrativismo do Coco Babaçu é de grande importância socioeconômica, principalmente, para a região nordeste que detém grandes áreas ocupadas com babaçuais, ou seja, área florestal composta por palmeiras de babaçu. A Amêndoa do Babaçu possui em sua composição aproximadamente 66% de óleo e o coproduto proveniente da extração deste é a torta residual (CARRAZZA, 2012).

O óleo vegetal extraído da fonte anteriormente citada é uma alternativa para produção de combustível, principalmente considerando a questão ambiental, pois, o biodiesel está praticamente livre de enxofre, de compostos aromáticos, emitindo assim menor índice de particulados e o dióxido de carbono, o carbono liberado na combustão completa do biodiesel retorna ao ciclo do carbono, sendo absorvido pela oleaginosa durante seu crescimento.

Dessa maneira o biodiesel pode ser utilizado como combustível em substituição ao óleo diesel e outros derivados do petróleo, além de também ser adicionado ao óleo diesel. Atualmente o percentual de biodiesel adicionado ao óleo diesel, regulamentado pela ANP, é de 10% (ANP, 2017).

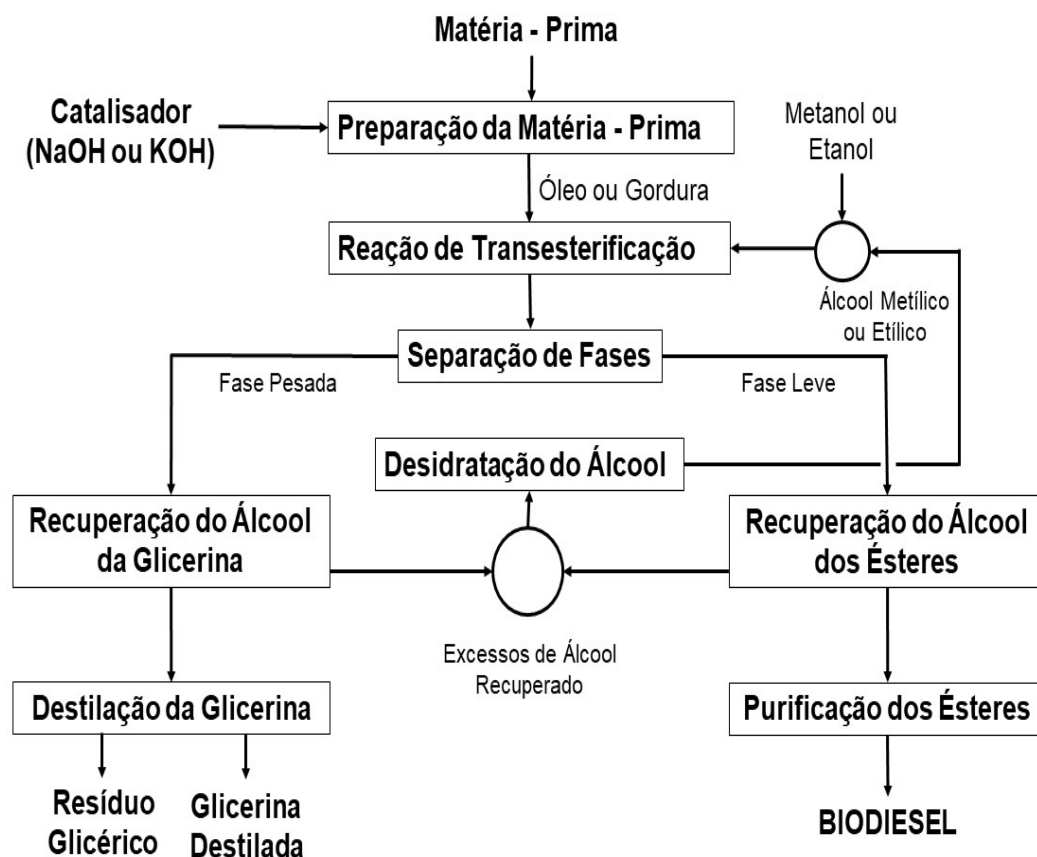
O biodiesel produzido no Brasil, deve atender alguns parâmetros físico-químicos os quais assegurem sua qualidade. As propriedades do biodiesel como a alta densidade e viscosidade são fortemente influenciadas pelas características individuais dos ésteres graxos

que formam esse combustível (KNOTHE, 2005). Enquanto os éteres de ácidos graxos insaturados, como os que compõem o biodiesel de babaçu são menos viscosos. (CANDEIA *et al*, 2008).

Para a produção do biocombustível, utilizou-se o processo de transesterificação, no qual produz o biodiesel e glicerina. A reação de transesterificação, envolve a reação de triacilglicerídeos com álcoois de cadeia curta em presença de um catalisador, dando origem a ésteres de ácidos graxos. Esta é normalmente realizada na presença de álcool metanol como agente de alcoólise, pois, a mesma ocorre com maior eficácia na presença do reagente, implicando em menor temperatura, tempo de reação e uma menor dispersão da glicerina no biodiesel, o que facilita sua separação.

A reação de transesterificação dos óleos ou gorduras, é realizada na presença de catalisadores a fim de diminuir a energia de ativação da reação e aumenta a velocidade de reação. Esses auxiliares podem ter características ácidas, básicas ou enzimáticas. O catalisador empregado nessa pesquisa foi o hidróxido de potássio (KOH) que é mais eficiente e promove um maior rendimento.

Figura 1 - Fluxograma do processo de obtenção do biodiesel, a partir da transesterificação.



Após, ter sido realizado o processo de extração do óleo o coproduto obtido foi a torta residual e observou-se a possibilidade de a mesma ser uma alternativa de biomassa sólida e foi necessário ser realizado sua caracterização de suas propriedades físicas, como: granulometria; massa específica; análise imediata (teor de umidade, voláteis, cinzas e carbono fixo); análise elementar, que consiste na quantificação dos elementos químicos contidos na biomassa, como teor de carbono, teor de hidrogênio, teor de enxofre e teor de oxigênio; análise molecular que compreende estudo do teor de lignina, celulose e hemicelulose; e no poder calorífico superior e inferior que indicam a quantidade de energia, na forma de calor, que uma determinada biomassa é capaz de liberar durante sua combustão.

O processo de briquetagem de uma biomassa consiste na compactação de determinada quantidade de matéria a fim de reduzir seu volume, ou seja, uma aglomeração de partículas com dimensões inferiores no formato de briquetes. Em seguida, a caracterização da biomassa deve ser realizada com a intenção de conhecer suas propriedades físico-químicas, para que haja um melhor aproveitamento energético desse resíduo.

Dessa forma, o presente trabalho possui intento de contribuir com a pesquisa de um elemento natural nativo da região nordeste, o qual possui forte influência na formação socioeconômica desta. Buscando-se construir subsídios para o melhor aproveitamento desse insumo em duas vertentes principais: a produção de biocombustível e a utilização da torta residual para aproveitamento como fonte de biomassa. Para tanto os principais objetivos da pesquisa centraram-se na avaliação da viabilidade na utilização da amêndoa de babaçu em sua integridade para a produção de biocombustíveis.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar a viabilidade da utilização da amêndoa de babaçu em sua íntegra para a produção de biocombustíveis.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) extrair e caracterizar o Óleo de Babaçu;
- b) produzir e caracterizar o biodiesel de Óleo de Babaçu;

- c) avaliar a viabilidade para produção de Briquetes formados por Torta Residual de Babaçu e mistura da mesma com outras Biomassas (Palha de Carnaúba, Talo de Carnaúba, Casca de Arroz, Casca de Castanha e Bagaço de Cana-de-Açúcar);
- d) carbonizar a Torta Residual de Babaçu nas temperaturas de 250 °C, 300 °C, 350 °C e 400 °C;
- e) caracterizar a Amêndoa, a Torta Residual (*in natura* e carbonizada) e os Briquetes por análise imediata (Teor de Cinzas, Teor de Umidade, Teor de Voláteis e Teor de Carbono Fixo) e o Poder Calorífico Superior (PCS).

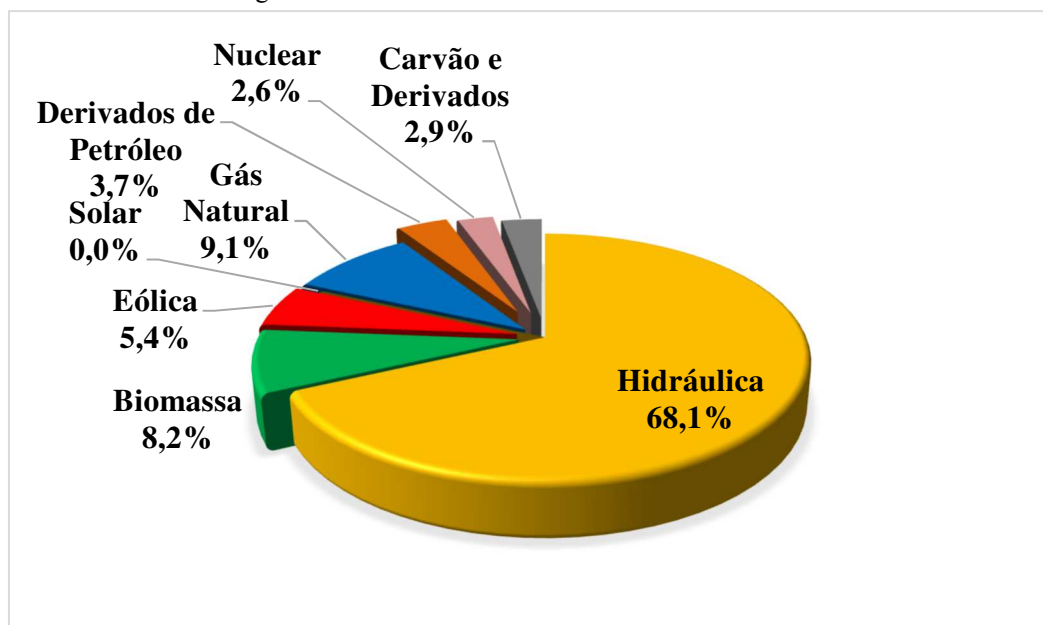
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Biomassa como Fonte de Energia

Biomassa é a matéria orgânica da terra, principalmente, os resíduos de plantas. No campo da energia, o termo biomassa é usado para descrever todas as formas de plantas e derivados que podem ser convertidos em energia utilizável como, madeira, resíduos urbanos e florestais, grãos, talos, óleos vegetais e lodo de tratamento biológico de efluentes. A energia gerada pela biomassa é também conhecida como “energia verde” ou “bioenergia”. (GENOVESE; UDAETA; GALVÃO, 2006).

Em 2016, a participação de energias renováveis na Matriz Energética Brasileira deu-se pelo avanço da participação de renováveis na matriz elétrica, devido à queda da geração térmica a base de combustíveis fósseis e ao incremento das gerações eólica e hidráulica (BEN, 2017). O Gráfico 1, determina a porcentagem em que cada fonte de energia contribuiu para a matriz energética brasileira.

Gráfico 1 - Matriz energética brasileira.



Fonte: Balanço Energético Nacional, 2017.

Segundo Carneiro (2010) a crescente utilização da biomassa como fonte de energia contribui para a segurança no abastecimento energético, a diminuição da dependência energética, a diversidade do abastecimento energético, o aumento do uso de energia sustentável e a diminuição dos impactos ambientais.

Segundo o Portal Energia (2016), a biomassa pode ser dividida em três classes:

- a) a biomassa sólida tem como fonte os produtos e resíduos da agricultura (incluindo substâncias vegetais e animais), os resíduos das florestas e a fração biodegradável dos resíduos industriais e urbanos.
- b) a biomassa líquida existe em uma série de bicombustíveis líquidos com potencial de utilização, todos com origem nas chamadas “culturas energéticas”. São exemplos o biodiesel, obtido a partir de óleos de colza ou girassol; o etanol, produzido com a fermentação de hidratos de carbono (açúcar, amido, celulose); e o metanol, gerado pela síntese do gás natural.
- c) a biomassa gasosa é encontrada nos efluentes agropecuários provenientes da agroindústria e do meio urbano. É encontrada também nos aterros de RSU (resíduos sólidos urbanos). Estes resíduos são resultados da degradação biológica anaeróbia da matéria orgânica, e são constituídos por uma mistura de metano e gás carbônico. Esses materiais são submetidos à combustão para a geração de energia.

A biomassa líquida é constituída por compostos muito oxigenados que podem ser obtidos por pirólise ou fermentação alcoólica.

A biomassa sólida vegetal comumente possui em sua composição lignina, proteínas, amido, gorduras ou carboidratos solúveis que agem como aglutinantes naturais. A matéria-prima após ser submetida ao processo de trituração, no qual ocorre a quebra parcial desses aglutinantes pode adquirir ligações mais fortes ou ser compactada e, conseqüentemente obtém maior resistência a impactos.

Segundo Costa (2015), para ser negociado e empregado como bioenergia, a biomassa vegetal deve apresentar alto poder calorífico, propriedades favoráveis para o processo de combustão como um baixo custo de aquisição, baixo teor de umidade e de cinzas.

Os resíduos provenientes dos setores agrícolas, industriais e do setor florestal podem ser aproveitados entre os materiais que atendem aos padrões de eficiência possibilitara uma agregação de valor a biomassa e a diminuição dos impactos ambientais por meio da redução dos gases de efeito estufa e do volume de resíduos encaminhados aos aterros sanitários, os quais serão utilizados na produção de combustíveis sólidos.

Dessa forma, o Brasil encontra-se em situação de destaque para o estudo e aproveitamento de biomassa vegetal, por apresentar disponibilidade de matéria-prima vegetal abundante, torna-se, portanto, competitivo para o seu progresso socioeconômico, investir em energia simples e fonte energética não fóssil (PIRES, 2013).

2.2 Aspectos Gerais do Coco Babaçu

O babaçu é uma das mais importantes representantes das palmeiras brasileiras, distribuindo-se por mais de 18 milhões de hectares em todo o Brasil. No total de 5 anos,

quando houve o Censo Agropecuário (1970, 75, 80, 85, 96), foram produzidas 700 mil toneladas de amêndoa de babaçu, que geraram como valor de venda e ingresso para as comunidades envolvidas neste período, 840 milhões de reais (CENSO AGROPECUÁRIO, 2006).

Segundo o boletim SNIF 2016, a extração de amêndoa de babaçu atingiu 78 mil toneladas em 2015, gerando uma receita de 107,7 milhões de reais. Desse modo, cada quilo de babaçu foi vendido a um preço médio de 1,38 reais. Um trabalhador, em média, extrai cerca de 130 kg por mês durante a safra de babaçu (6 meses) e ganha com a venda deste produto 179,5 reais/mês. Sendo que, o Brasil possui uma área de cerca de 18 milhões de hectares plantados com babaçu, tendo como destaque a região Nordeste (SIGGEOBABAÇU, 2018).

Figura 2 - Mapa de distribuição do Coco Babaçu no Brasil.



Fonte: <http://www.umpedeque.com.br/arvore.php?id=666>

Segundo Teixeira e Carvalho (2007), informações na literatura apontam sobre a viabilidade econômica para a produção de energia a partir dos recursos da biomassa disponíveis no Brasil apontam o babaçu como uma possível fonte sustentável de biomassa para a geração de biocombustíveis.

Entretanto, o potencial do babaçu continua ainda não sendo explorado e o seu aproveitamento sustentável com o uso de tecnologias variadas na produção de diversos itens, tais como: para uso químico, energético e alimentício, como o aproveitamento econômico para produção de carvão vegetal, óleo combustível, lubrificante, óleo comestível, cosméticos, biocombustíveis, fertilizantes e dentre outros produtos. Podendo haver o desenvolvimento socioeconômico através da geração de riqueza, emprego e renda a partir da área

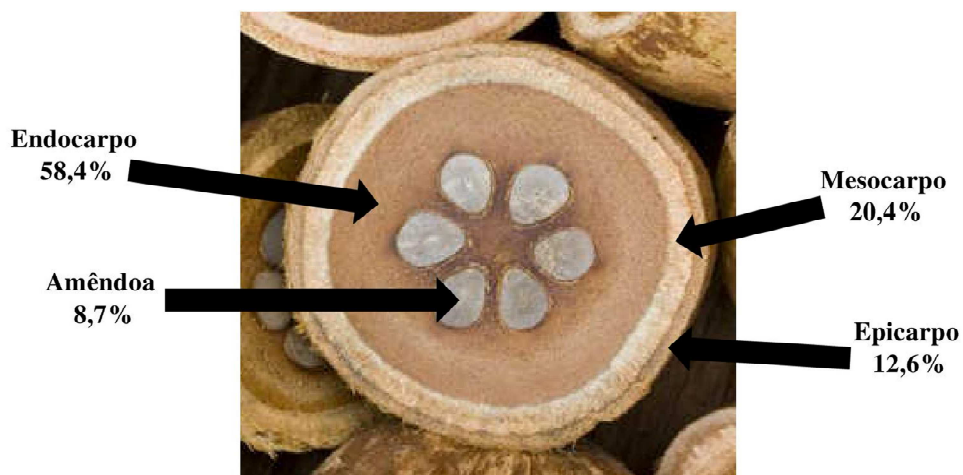
compreendida pelos babaçuais.

O Coco Babaçu é composto pelo epicarpo, chamado de casca, é fibroso, lignocelulósicos e representa 12,6% do peso seco do fruto; o mesocarpo é uma camada marrom-clara que se localiza depois do epicarpo, de natureza amilácea, e corresponde a 20,4% do peso seco do fruto. O endocarpo, camada mais escura que envolve as amêndoas, é altamente concentrado em lignina, representa 58,4% do fruto. As amêndoas, ocorrem entre 3 a 4 unidades por fruto, podendo chegar a 8, correspondem a 8,7% do peso do fruto seco. A amêndoa é composta por: 66% de óleo; 7,25% de proteína; 18% de carboidratos, 7,8% de materiais minerais e 0,7% de ácido fosfórico. Após a extração do óleo se obtém a torta residual caracterizada como um material fibroso que pode ser utilizado na alimentação animal (CARRAZZA, 2012).

O Óleo de Coco Babaçu apresenta: aparência e textura pastosas em temperaturas inferiores a 24 °C, um odor leve e característico; a coloração varia entre esbranquiçada a amarelada dependendo do método usado para extração e constituído por ácidos graxos saturados e insaturados sendo que o ácido láurico (C12:0) é predominante. Este fato parece facilitar a reação de transesterificação, pois, os ácidos láuricos possuem cadeias carbônicas curtas que permitem uma interação mais efetiva com o agente transesterificante, de modo que se obtém um produto com boas características físico-químicas inclusive quando na transesterificação é utilizado um catalisador é heterogêneo (LIMA et al., 2007).

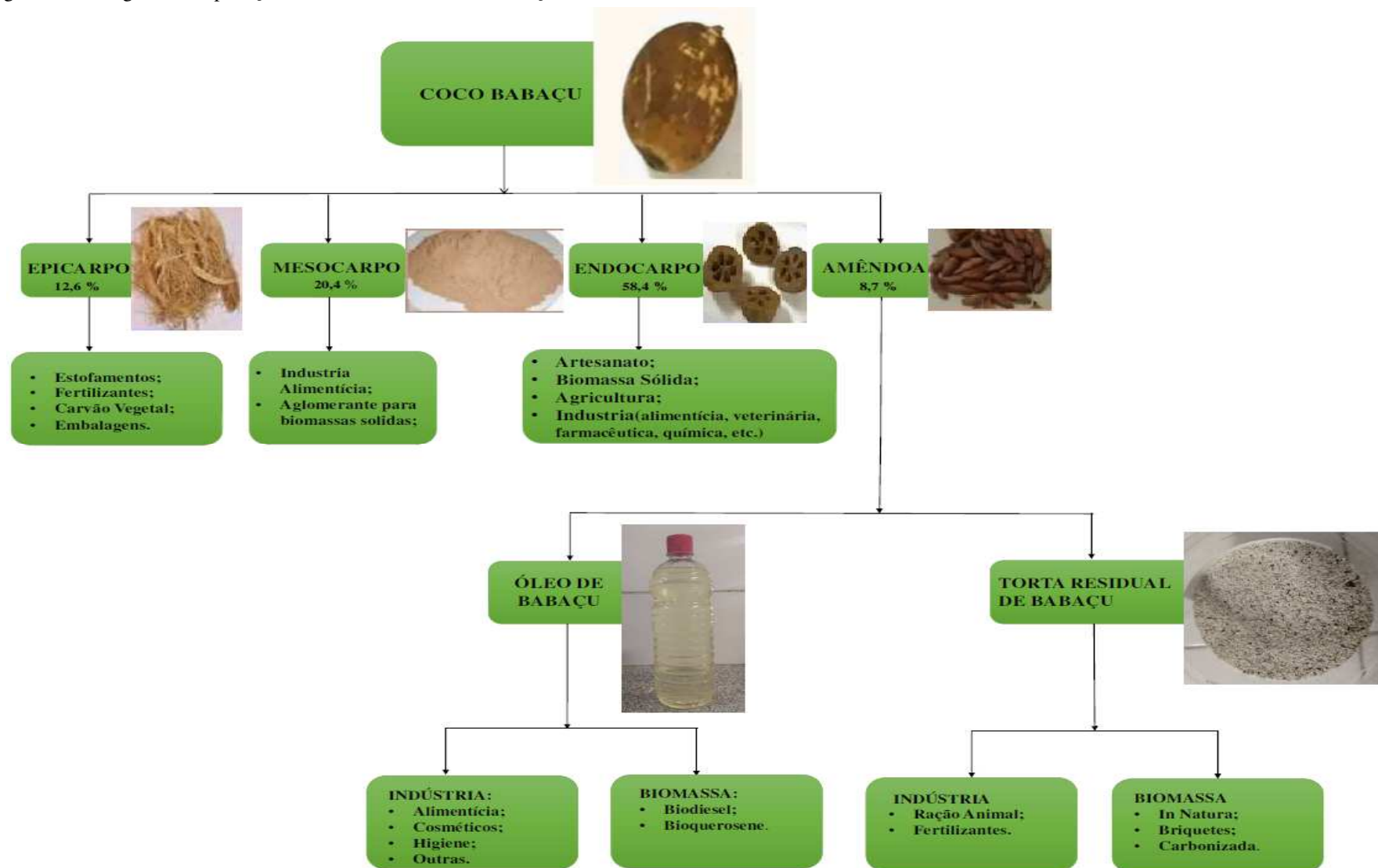
A torta residual de babaçu originado no processo de extração é comumente utilizada como ração animal ou para a produção de fertilizantes visto que o mesmo é rico em fibras e gorduras, mas quando detectada alguma acidez é descartada.

Figura 3 – Composição do Coco Babaçu.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Figura 4 - Fluxograma de aplicações dos derivados do Coco Babaçu.



Fonte: Autoria própria, 2018.

2.3 Caracterização e Transformação da Biomassa

A biomassa pode ser utilizada através da queima direta para produção de energia ou do seu processamento para produção de combustíveis. O processamento pode ocorrer por meio de processos químicos, como a gaseificação, ou processos biotecnológicos, como a fermentação (GENOVESE; UDAETA; GALVÃO, 2006).

A biomassa sólida tem necessidade de passar por alguns estágios fundamentais como: redução do tamanho, densificação, secagem e carbonização, regulando as características e otimizando a eficiência nos processos posteriores. Para transformar um material disperso em outro compacto e homogêneo, uma caracterização da biomassa deve ser feita, ou seja, conhecer suas propriedades, para que haja uma melhor escolha da fração adequada e, conseqüentemente, da tecnologia de conversão. Tais características compreendem as descrições físico-químicas específicas (CORTEZ; LORA; GÓMES, 2008).

2.3.1 Umidade por Karl Fischer

Segundo Marinelli (2008) o teor de umidade presente no biodiesel indica uma oxidação hidrolítica e o surgimento de condições favoráveis de crescimento microbiano que causam corrosão de tanques de estocagem e aumento dos processos de oxidação.

A determinação do teor de umidade, utilizando o reagente Karl Fisher, pode determinar a quantidade de água presente na amostra. Ocorre através de uma reação onde o iodo é reduzido pelo dióxido de enxofre, na presença da água (FERREIRA; PEREIRA; OLIVEIRA, 2015).

2.3.2 Massa Específica a 20 °C

Segundo Fernandes (2015), a massa específica é determinada pela medida da razão entre a massa e o volume de uma substância à temperatura e pressão especificadas, também conhecida com densidade. Essa característica é uma das importantes propriedades a ser estudadas para o biodiesel.

A massa específica de óleos e biodiesel está diretamente ligada com a estrutura molecular. Quanto maior o comprimento da cadeia carbônica do alquiléster, maior será a densidade, no entanto, ocorrerá uma diminuição no número de insaturações presentes na molécula (RIOS, 2015).

2.3.3 Viscosidade Cinemática a 40 °C

A viscosidade cinemática é uma propriedade que expressa a resistência oferecida pela substância ao escoamento sob gravidade (ÇENGEL; CIMBALA, 2011). Portanto, a viscosidade de um líquido surge a partir das forças de atração entre as moléculas, de modo que as mantêm unidas e não deixam movimentar-se entre si com facilidade. Dessa maneira, os viscosímetros capilares de vidro têm sido largamente usados na determinação da viscosidade de vários fluidos, pois, o peso da coluna do próprio fluido é a força que causa o escoamento no interior do capilar (MELO, 2009).

A estrutura do ácido graxo presente no óleo, através do tamanho da cadeia carbônica, grau de insaturação e ramificações da cadeia influenciam propriedades como viscosidade, número de cetano, calor de combustão, ponto de fusão, estabilidade oxidativa e lubrificidade.

Para o biodiesel, a alta viscosidade afeta a pulverização do combustível no momento de sua injeção na câmara de combustão e, em última análise, contribui para a combustão incompleta e a formação de depósitos no motor. Isto também é influenciado pelo álcool empregado na reação, porque a viscosidade dos ésteres etílicos é ligeiramente superior àquela dos ésteres metílicos. Desse modo, há, de fato, uma faixa ideal de viscosidade para o combustível utilizado em motor diesel, de forma a se evitar problemas (NASCIMENTO et al., 2014; FERNANDES et al., 2015; RIOS, 2015).

2.3.4 Índice de Acidez

No estabelecimento dos parâmetros de qualidade para aceitabilidade de óleos vegetais é importante que os valores para o índice de acidez sejam os menores possíveis, uma vez que elevados valores são indicativos de alterações pronunciadas, comprometendo a capacidade de utilização dos mesmos, sejam para fins alimentícios ou carburantes, ou seja, um elevado índice de acidez indica que o óleo ou gordura está sofrendo quebras em sua cadeia de trigliceróis, liberando seus constituintes principais, que são os ácidos graxos. (SANTOS; FRAGA, 2012)

O índice de acidez determina o grau de deterioração e estabilidade. Logo, o monitoramento da acidez dos óleos vegetais e do biodiesel é de grande importância. Portanto, essa análise é utilizada como método auxiliar durante as fases de processamento, estocagem e controle de qualidade dos mesmos, na qual a alteração dos valores neste período pode significar a presença de água. (MELO, 2009).

2.3.5 Índice de Saponificação

O índice de saponificação diz respeito à quantidade total de substâncias dissolvidas nos óleos e gorduras que após saponificação com álcalis são insolúveis em solução aquosa, mas solúveis em solventes comuns de gorduras (KOBORI; JORGE, 2005). O excesso de ácidos graxos livres pode levar a resultados de saponificação, que competem com a reação de transesterificação, quando o processo ocorre em presença de catálise básica.

2.3.6 Análise Imediata

No decorrer desta análise procura-se representar o comportamento do material combustível durante a queima e o relacionamento com os parâmetros cinéticos da combustão. Portanto, seu conhecimento faz necessário para o correto dimensionamento de caldeiras e trocadores de calor (TEIXEIRA, 2002).

A análise concerne num conteúdo percentual, relacionado à massa do material combustível, a ser composta por: teor de umidade, correspondendo à quantidade de água livre presente na biomassa; teor de material volátil, que expressa à capacidade de combustão do material; teor de cinzas, porção remanescente de fração inorgânica (ou inerte) após a calcinação e teor de carbono fixo, material resultante após decomposição dos voláteis (PONTE, 2017).

Segundo Paula (2010) o desejável, para a produção energética, é que o material tenha grande quantidade de lignina e holocelulose e pequena quantidade de cinzas. Na análise imediata, o ideal é um alto teor de carbono fixo e baixa umidade.

2.3.6.1 Teor de Umidade

O teor de umidade indica a quantidade de água existente na biomassa podendo ser expressa tanto na base úmida quanto na base seca e obtida através da diferença entre os pesos da amostra antes e logo o processo de secagem ser realizado.

Segundo Vieira et al. (2013), quando a biomassa apresenta um alto teor de umidade, o mesmo faz com que o processo de combustão seja mais baixo, comparado a quando se utiliza material seco. Assim, quanto maior o valor da umidade presente na biomassa, mais energia é necessária para iniciar o processo de queima, ou seja, mais energia é requerida para vaporizar a água e menos energia então é fornecida para a reação endotérmica (a queima).

O teor de umidade base seca recomendado é $(10 \pm 2)\%$ para produção de briquetes de resíduos lignocelulósicos (BARROS, 2012). A umidade do combustível é a principal responsável pela redução do seu poder calorífico, pois, a etapa de secagem é onde ocorre o maior consumo de energia, devido à evaporação da água (PROTÁSIO et al., 2011).

2.3.6.2 Teor de Voláteis

Segundo Vieira (2012), o teor de voláteis é a fração da biomassa que evapora na forma de gás devido aumento de temperatura e mensurada através da diferença entre os pesos da amostra antes e logo o processo de aquecimento de uma amostra padronizada previamente seca e submetida a uma temperatura de 900 °C. O aumento do teor de voláteis representa um maior potencial na produção de energia, influenciando inclusive na facilidade na ignição (VIEIRA et al., 2013).

Segundo Protásio (2014), a compreensão do teor de materiais voláteis é essencial para o planejamento das fornalhas e das quantidades de ar necessárias ao bom fluxo dos gases e para o conhecimento da combustão adequada da biomassa nos sistemas de conversão energética a fim de se realizar o seu melhor aproveitamento.

2.3.6.3 Teor de Cinzas

Segundo Vieira *et al.* (2013), as cinzas se originam de um material de origem mineral, não orgânica, inerte e não combustível. São constituídas de compostos de silício (Si), potássio (K), sódio (Na), enxofre (S), cálcio (Ca), fósforo (P), magnésio (Mg) e ferro (Fe). Tais cinzas, quando em alta concentração, podem diminuir o poder calorífico (PC) e causar perda de energia, ou seja, interferindo na transferência de calor e diminuindo sua viabilidade como biomassa sólida. Portanto, o teor de cinzas (ou inertes) fornece informações aproximadas da combustibilidade dos resíduos, pois, corresponde à porcentagem de material inerte presente na biomassa e a determinação dessa propriedade é imprescindível para a caracterização dos resíduos (GONÇALVES; SARTORI; LEÃO, 2009).

O teor de cinzas não altera somente o potencial energético, mas também influencia nos custos do processo. Altos teores de cinzas podem diminuir a vida útil dos equipamentos, provocando corrosões, o que aumenta a demanda de manutenções (HANSTED et al., 2016).

2.3.6.4 Teor de Carbono Fixo

Segundo Vieira et al. (2013), esta análise está relacionada à quantidade de cinzas e volátil, pois, o mesmo representa a massa restante após a saída de compostos voláteis, excluindo as cinzas e teores de umidade.

O teor de carbono é muito importante, pois, o mesmo pode ser totalmente consumido durante a queima ou quando submetido a queima parcial o carbono é convertido em carbono fixo tornando-se o principal responsável pela energia estocada na biomassa carbonizada (CASTRO, 2011). Para biomassa com finalidade energética, o teor de carbono fixo deve estar entre 15% a 25% (TAVARES; SANTOS, 2013).

2.3.7 Poder Calorífico

O poder calorífico é uma medida termodinâmica importante na avaliação de um combustível sólido e representa a quantidade de calor liberada pela combustão completa de uma unidade de massa de um combustível, expressa em kcal/kg ou MJ/kg (ÇENGEL, 2006).

O Poder Calorífico indica a porcentagem de materiais com potencial de geração de calor, podendo ser dividido em poder calorífico superior (PCS) ou poder calorífico inferior (PCI).

Segundo Protásio (2011), o poder calorífico apresenta significativa dependência da constituição química elementar e mineral da biomassa. O PCS representa a máxima quantidade de calor presente no material por unidade de massa e o PCI representa o valor do primeiro descontando a energia necessária para evaporar a água presente (TEIXEIRA, 2002). Ou seja, o PCI considera a energia não recuperada a partir do vapor de água residual, a partir da oxidação do conteúdo de hidrogênio (DIAS *et al.*, 2012).

Segundo Dias et al. (2012), o PCI é o mais utilizado em processos industriais, visto que, na maioria dos ciclos industriais os gases gerados na combustão são liberados a altas temperaturas e a água contida nessas biomassas se encontra na fase gasosa. Além do que essa variável está intrinsecamente relacionada ao teor de umidade presente no combustível. Pois, se existir elevados teores de água na biomassa seu efeito será refletido no baixo poder calorífico, nas perdas de energia, na baixa ignição, na baixa durabilidade e em menor tempo de secagem (GARCIA, 2010).

2.3.8 Processo de Densificação

Segundo Teixeira (2002), a densidade, para poder calcular volumes de armazenagem e carga nos transportadores. A densidade básica da madeira está diretamente relacionada com a produção de energia, ou seja, quanto maior a densidade, maior a quantidade de energia estocada por metro cúbico (CASTRO, 2011). A queima de biomassa como fonte de energia para geração de calor representa um crescente mercado em qualquer parte do mundo. Entretanto, a queima pura e simples de biomassa triturada pode causar sérios problemas operacionais, logísticos, econômicos e ambientais (BARROS, 2012).

As técnicas utilizadas para a densificação da biomassa são a produção de *pellets* e briquetes. O processo densificação da biomassa ocorre através de uma compressão, com ou sem adição de aglomerante, e com ou sem tratamento térmico, de forma a tornar a biomassa mais homogênea e compacta. O aumento da temperatura promove a “plastificação” da lignina, que age como uma substância plastificante desempenhando uma função aglomerante das partículas presentes nos materiais lignocelulósicos.

Segundo Rodrigues (2002) e Protásio *et al.* (2012), o briquete é a biomassa densificada por um processo de compactação que favorece um aumento da eficiência energética que ocorre devido à pressão de compactação que gera um aumento no poder calorífico da biomassa. O briquete é convertido em um combustível com maior poder calorífico, menor teor de materiais voláteis, menor teor de cinzas, maior teor de carbono fixo e baixa umidade. Portanto, a qualidade dos briquetes é influenciada pelas características físicas e químicas da matéria-prima e também pelos parâmetros de produção, principalmente as condições de briquetagem.

O briquete possui boas propriedades caloríficas e por ser produzido a partir de resíduos lignocelulósicos com tecnologia simples e investimentos baixos, apresenta-se como uma fonte de energia com vantagens operacionais, logísticas, econômicas e ambientais (CAIRES, 2010). A densidade energética de briquetes compreende a quantidade de energia por unidade de volume e pode ser utilizada para comparação da eficiência energética destes combustíveis.

Para se realizar o processo de briquetagem deve-se possuir um teor de umidade inferior a 15% e que a biomassa possua baixa granulometria. Esse procedimento apresenta uma grande vantagem no aproveitamento de resíduos lignocelulósicos, carbonizados em geral, no entanto, para que o processo ocorra corretamente, em alguns casos, se faz necessário a utilização de um aglomerante para promover a união das partículas. A seleção do tipo e a

quantidade desse aglomerante é o ponto mais decisivo na manufatura dos briquetes, sendo a etapa mais sensível aos custos do processo.

O aglomerante não deve prejudicar as propriedades energéticas do carvão vegetal, diminuindo o rendimento calorífico, aumentando o teor de voláteis e cinzas, ou mesmo, ser usado em quantidades que seu gasto inviabilize economicamente o briquete (DIONIZIO, 2017).

Uma solução para minimizar os custos do processo seria a utilização de resíduos provenientes de oleaginosas como aglomerantes na produção de briquetes compostos. As vantagens na utilização dos briquetes compostos são a possibilidade de uma otimização do poder calorífico, evitando a dependência com um único tipo de matéria-prima, principalmente nos períodos de escassez dos resíduos de maior poder calorífico e na composição química que pode ser influenciada de acordo com a quantidade de algumas substâncias que possam prejudicar o processo de combustão, a médio ou longo prazo, danificar equipamentos utilizados na geração de energia e/ou trazer prejuízos ambientais (RODRIGUES, 2002).

2.3.9 Carbonização da Biomassa

A carbonização é o mais simples e mais antigo processo de conversão de um combustível em outro com melhor qualidade e conteúdo energético. O processo consiste no aquecimento da biomassa, entre as temperaturas de 300 °C e 500 °C, na presença de um baixo teor de oxigênio, até retirada do material volátil resultando-o assim num produto final com densidade energética duas vezes maior do que a biomassa *in natura*. (GENOVESE; UDAETA; GALVÃO, 2006).

O subproduto do processo de carbonização ocorre a produção do bio-óleo que dispõe de um valor agregado comercial e ambiental. Esse processo pode ser utilizado para o aproveitamento de resíduos vegetais, como subprodutos de processos agroindustriais, entretanto, a biomassa deve ser submetida ao processo de compactação, transformando-os em briquetes, transformando-os em briquetes.

Com a carbonização, os briquetes adquirem menor teor de cinzas e voláteis; maior teor de carbono fixo e poder calorífico, podendo ser usados com maior eficiência na geração de calor e potência (BEZZON *et al.*, 1997).

Segundo DIAS *et al.* (2012), a biomassa após passar pelo processo de carbonização apresenta baixa concentração de ligantes naturais e necessita de uma carga extra de ligantes para produzir bons briquetes. Esses briquetes, quando usados na siderurgia, devem usar

ligantes que além de garantir alta resistência mecânica, devem, também, conferir resistência térmica ao produto final, pois, o mesmo necessita de alto poder calorífico e carbonização mais demorada quanto possível.

Para uso doméstico, a baixa toxidez é a propriedade mais importante, seguida da resistência ao manuseio, facilidade de acendimento, facilidade de transporte e estocagem (QUIRINO, 2002).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos, testes e caracterizações realizadas na amêndoa de babaçu e seus derivados foram realizados no Laboratório de Referência em Biocombustíveis Professor Expedito José de Sá Parente (LARBIO), localizado na Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC). Os métodos analíticos utilizados encontram-se expostos: na Tabela 1 para o óleo de babaçu e o biodiesel; na Tabela 2 para caracterização da amêndoa e da torta residual de babaçu.

Tabela 1 - Normas técnicas utilizadas para a caracterização do Óleo e do Biodiesel de Babaçu.

Parâmetro Analítico	Norma técnica adotada
Umidade Karl Fischer ($\mu\text{g/g}$)	NBR 14929
Massa Específica a 20 °C (g/cm^3)	NBR 14065
Viscosidade Cinemática a 40 °C (mm^2/s)	ASTM D445-14a
Índice de Acidez (mgKOH/g)	AOCS Ca 5a 40*
Índice de Saponificação (mgKOH/g)	AOCS Cd 3-25*
Poder Calorífico Superior (MJ/kg)	ASTMN D5865-12

Fonte: Autoria própria, 2018.

* Normas Analíticas do Manual do Instituto Adolfo Lutz

Tabela 2 - Normas técnicas utilizadas como referência para a caracterização da Amêndoa e da Torta Residual de Babaçu.

Parâmetro Analítico	Norma técnica adotada
Poder Calorífico Superior (MJ/kg)	NBR 8633/1984
Teor de Umidade (%)	NBR 14929/2003
Teor de Voláteis (%)	NBR 8112/1986
Teor de Cinzas (%)	NBR 13999/2003
Teor de Carbono Fixo (%)	NBR 8112/1986

Fonte: Autoria própria, 2018.

A amêndoa de babaçu utilizada nessa pesquisa foi obtida em março de 2017 e foi coletada no estado do Maranhão, posteriormente, foi armazenada em sacos plásticos à temperatura ambiente, no LARBIO (Figura 5).

Figura 5 - Acondicionamento da Amêndoa de Babaçu.



Fonte: Aatoria própria, 2018.

A amêndoa de babaçu foi submetida à trituração no liquidificador doméstico com a finalidade de garantir uma homogeneidade e facilitar a retirada do óleo durante o processo de extração (Figura 6).

Figura 6 - Amêndoa de Babaçu após o processo de trituração.



Fonte: Aatoria própria, 2018.

3.1 Processo de Extração

O Processo de extração do óleo foi realizado em soxhlet utilizando como solvente o hexano e controlando a temperatura do sistema em $(65 \pm 3) ^\circ\text{C}$ por aproximadamente 4h (Figura 7). O peso médio de amêndoa utilizado foi de 35g por cartucho.

Figura 7 - Equipamento de extração.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Ao fim do processo os produtos obtidos foram uma mistura óleo/hexano e a torta residual de babaçu. A mistura óleo/hexano foi separada utilizando um rotaevaporador (Figura 8). O hexano recuperado foi utilizado novamente no processo de extração, com a finalidade de minimizar os custos com solvente e os impactos gerados pelo descarte do mesmo.

Figura 8 - Separação da mistura óleo/hexano utilizando um Rotaevaporador.



Fonte: Autoria própria, 2018.

O óleo foi armazenado em frasco escuro, de modo a retardar a degradação oxidativa, para sua posterior caracterização e produção de biodiesel. A torta residual de babaçu, originado como subproduto da extração do óleo da amêndoa, foi armazenado com intuito de

se avaliar a possibilidade de sua utilização como fonte de biomassa sólida na forma *in natura* ou de briquete (Figura 9).

Figura 9 - Torta Residual de Babaçu.



Fonte: Aatoria própria, 2018.

3.2 Produção do Biodiesel a partir do Óleo de Babaçu

No processo de produção do biodiesel utilizou-se rota metélica. Para a transesterificação do óleo de babaçu, foi utilizado hidróxido de potássio (KOH) como catalisador e álcool metílico (metanol) como solvente (Figura 10). Para calcular a massa de catalisador necessário utilizou-se a Equação 1. Utilizou-se a Equação 2, para o cálculo da massa de álcool metílico.

$$M_{cat} = M_{\acute{o}leo} \cdot \left(\frac{\%KOH}{100} + \frac{IA}{1000} \right) \cdot \left(\frac{1}{Pureza\ do\ KOH} \right) \quad (1)$$

$$M_{solv.} = 0,2 * M_{\acute{o}leo} \quad (2)$$

Sendo: % KOH foi utilizado 0,6; IA é o índice de acidez da mistura, em mg KOH/g; Pureza do KOH é obtido nas informações presentes no frasco do catalisador; M_{solv} é massa de solvente, em gramas; $M_{\acute{o}leo}$ é a massa de óleo, em gramas.

O óleo de babaçu foi colocado no reator e submetido a uma temperatura entre 55 e 60 °C, alcançada essa temperatura, foram adicionados o hidróxido de potássio e o álcool metílico. A reação foi submetida a agitação de aproximadamente 450 rpm pelo período de 1 horas. Após isso, realizou-se a etapa de decantação no próprio reator e a glicerina resultante

do processo foi removida após 60 minutos e foram realizados os processos de lavagem, desumidificação e secagem do biodiesel. Foram executadas seis lavagens com água destilada, à temperatura ambiente, sendo cada lavagem feita com 10%, relativo a massa de óleo utilizada.

Posteriormente, o biodiesel foi submetido a etapa de desumidificação utilizando sulfato de sódio anidro e submetido ao processo de filtração a vácuo.

Figura 10 - Etapas do Processo de Produção de Biodiesel.

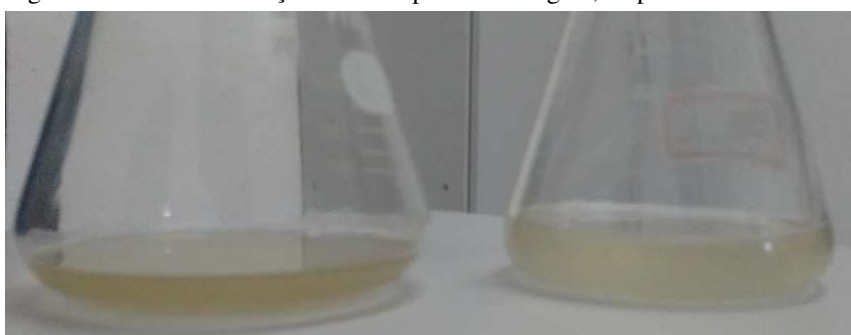


Fonte: Autoria própria, 2018.

3.3 Caracterização Físico-Química do Óleo e do Biodiesel de Babaçu

Antes de iniciar os testes, foi necessário que o óleo de babaçu bruto passasse por uma filtração a vácuo devido à existência de material suspenso (Figura 11). Esse material é composto de micropartículas de resíduo da amêndoa remanescente do processo de extração.

Figura 11 - Óleo de Babaçu antes e depois de filtração, respectivamente.



Fonte: Autoria própria, 2018.

3.3.1 Umidade por Karl Fischer

A análise o teor de umidade da biomassa foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR 14929. Foi realizada em um Karl Fischer modelo 756 KF Coulometer marca Metrohm.

3.3.2 Massa Específica a 20 °C

A análise da massa específica a 20 °C da biomassa foi realizada de acordo com a norma ABNT NBR 14065 e NBR 14448, respectivamente para o óleo e o biodiesel de babaçu. Para a análise foi utilizado um densímetro digital modelo DMA 4500 da marca Anton Paar.

3.3.3 Viscosidade Cinemática a 40 °C

A análise da viscosidade cinemática da biomassa foi realizada de acordo com a norma ASTM D445-14^a e ASTM D4052, respectivamente para o óleo e o biodiesel de babaçu.

Para a análise foi utilizado um Viscosímetro manual modelo Visco Bath da Petrotest a temperatura de 40 °C, com capilar Cannon Fenske de S200 com constante a 40 °C de 0,132 para o óleo e com capilar Cannon Fenske de S100 com constante a 40 °C de 0,01598 (Figura 13).

Colocou-se o viscosímetro em um banho termostático, à temperatura de 40 °C e deixando-o em repouso por 20 minutos, para que se atinja o equilíbrio térmico. Após 20 minutos, succionou-se a amostra com ajuda de uma pêra até que a mesma atingisse o menisco superior. Posteriormente, removeu-se a pêra e cronometrou-se o tempo de escoamento que o líquido atingisse o menisco inferior. As análises foram realizadas em triplicata.

A viscosidade cinemática foi calculada de acordo com a Equação 3 (ASTM D445-14^a, 2014).

$$v = k * t \quad (3)$$

Sendo: v a Viscosidade Cinemática em mm^2/s ; k a constante do tubo capilar e t o tempo em segundos.

3.3.4 Índice de Acidez

Para a realização do índice de acidez (IA) foi realizado de acordo com as normas AOCS Ca 5a 40 e EN 14104, respectivamente para o óleo e o biodiesel de babaçu.

Para tal determinação preparou-se previamente uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 0,1M; padronizada com biftalato de potássio e obteve-se um fator de correção de 0,9346. Em seguida pesou-se aproximadamente dois gramas do óleo em um erlenmeyer de 250 ml e a este foi adicionado duas gotas de solução alcoólica de fenolftaleína 1% como

agente indicador. Preparou-se uma solução de éter-álcool (2:1) com álcool etílico e éter etílico a 99,0%, da marca Vetec. Ao erlenmeyer contendo o óleo, foram adicionados 25 ml da solução éter-álcool, previamente neutralizada com a solução de NaOH, e então realizou-se a titulação, tendo a solução de NaOH como agente titulante.

Segundo Instituto Adolfo Lutz (2008) o índice de acidez é expresso como a massa de miligramas de hidróxido de potássio necessário para neutralizar um grama de amostra (mg KOH/g). Para o biodiesel o monitoramento da acidez é de grande importância durante a estocagem, na qual a alteração dos valores neste período pode significar a presença de água.

O cálculo do índice de acidez foi realizado de acordo com a Equação 4(AOCS Ca 5a 40,2008).

$$IA = \frac{5,61 * V * F}{M_{\text{óleo}}} \quad (4)$$

Sendo: IA é o índice de acidez, em mg KOH/g; V é o volume consumido na titulação, em mililitro; F é o fator de correção da solução de NaOH (0,9346); $M_{\text{óleo}}$ é a massa da amostra de óleo de babaçu em gramas.

3.3.5 Índice de Saponificação

Para a realização do índice de saponificação (IS) seguiu-se foi realizado de acordo com a norma AOCS Cd 3-25.

Para tal determinação preparou-se previamente uma solução de ácido clorídrico (HCL) 0,5 M, padronizada com solução de NaOH 0,5 M e obteve-se um fator de correção de 1,0522. Preparou-se uma solução de hidróxido de potássio (KOH) a 4% m/v. Em seguida pesou-se uma massa entre (4-5) gramas do óleo em um erlenmeyer de 250 ml e a este foi adicionado 50 ml de solução alcoólica de KOH e 1ml de solução de fenolftaleína, o teste foi realizado em triplicata. Preparou-se um branco do mesmo modo.

Aqueceram-se as amostras e o branco sobre uma chapa com o balão ligado a um condensador e esperou-se por 3h. Após esse tempo titulou-se as amostras e o branco, ainda quentes, com o HCl 0,5M previamente preparado e padronizado, como mostra a Figura 12.

Segundo Instituto Adolfo Lutz (2008) o índice de saponificação é expresso como a massa de miligramas de hidróxido de potássio necessário para neutralizar um grama de amostra (mg KOH/g).

O cálculo do índice de saponificação foi realizado de acordo com a Equação 5 (AOCS Cd 3-25)

$$IS = \frac{28,05 * F * (V_B - V_A)}{M_{\text{óleo}}} \quad (5)$$

Sendo: IS é o índice de Saponificação, em mg KOH/g; V_A é o volume consumido na titulação da amostra, em mililitro; V_B é o volume consumido na titulação do branco, em mililitro; F é o fator de correção da solução de NaOH (0,9346); $M_{\text{óleo}}$ é a massa da amostra de óleo de babaçu em gramas.

Figura 12 - Etapas da análise do Índice de Saponificação.



Fonte: Autoria própria 2018.

3.4 Determinação da Análise Imediata da Amêndoa e do Torta Residual de Babaçu *in natura*

A Análise Imediata da amêndoa e da torta residual de babaçu *in natura* foi realizada de acordo com a norma ABNT NBR 14929, com adaptações. mediante esta análise, determinou-se o Teor de Umidade, Teor de Voláteis, Teor de Cinzas e, por diferença, o Teor de Carbono Fixo. Todos os procedimentos foram realizados em quadruplicatas com o intuito de garantir maior confiabilidade aos testes. O Teor de Umidade da Amêndoa e da Torta residual foram determinados em estufa, da marca De Leo. O Teor de Voláteis e Cinzas foram realizados em forno mufla, da marca Quimis, modelo 0318M24.

3.4.1 Determinação do Teor de Umidade

As amostras da biomassa, contidas em cadinhos de porcelana, foram pesadas e secas em uma estufa a $(105 \pm 10) ^\circ\text{C}$ com o posterior resfriamento em dessecador com sílica em gel.

Utilizou-se na análise, amostras de 0,50 g em cada cadinho. Após a secagem e resfriamento, as amostras foram pesadas em uma balança analítica. O procedimento foi repetido até a massa permanecer constante. O teor de umidade foi então obtido através da diferença de peso inicial da amostra e final após a secagem do material.

O Teor de Umidade da amêndoa e da torta residual de babaçu, em base seca, foi calculado de acordo com a Equação 6 (ABNT NBR 14929, 2003).

$$TU = \frac{M_0 - M_1}{M_0} \times 100 \quad (6)$$

Sendo: TU é o teor de umidade, em %; M_0 é a massa inicial da biomassa úmida e M_1 a massa seca, após secagem em estufa, ambas em gramas.

3.4.2 Determinação do Teor de Voláteis

O cadinho de platina tampado foi colocado no interior da mufla a (900 ± 10) °C durante 1 minuto. Em seguida, o cadinho foi resfriado em dessecador com sílica gel durante 10 minutos. A biomassa seca foi colocada no cadinho de platina com tampa e posicionada na porta do forno mufla, previamente aquecida a (900 ± 10) °C, ficando nessa posição durante 3 minutos. Passado esse período, o cadinho foi colocado no interior da mufla a (900 ± 10) °C durante 7 minutos com a porta fechada. Em seguida, o cadinho foi resfriado em dessecador com sílica gel durante 20 minutos. Posteriormente, a amostra foi pesada em balança. Para esta análise foi utilizada aproximadamente 1,0 g da amostra isenta de umidade. O procedimento foi realizado em quadruplicata. O teor de voláteis foi calculado através da diferença entre a massa inicial e final da amostra.

O teor de materiais voláteis foi determinado pela Equação 7 (NBR 8112, 1986).

$$TV = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad (7)$$

Sendo: TV é o teor de voláteis, em%; M_1 é a massa final do teor de umidade e M_2 é a massa final após a mufla, ambas estão em gramas.

3.4.3 Determinação do Teor de Cinzas

Para a determinação do teor de cinzas foi utilizado 5,0 g da amostra. Os cadinhos utilizados para o teste, foram previamente secos em forno mufla a (525 ± 10) °C por uma

hora. As amostras de biomassa foram então adicionadas em quatro cadinhos de porcelana, previamente tarados e levadas ao forno mufla. Após atingir $(525 \pm 10) ^\circ\text{C}$, as amostras ficaram no interior da mufla por um período de 5 horas. Em seguida, os cadinhos foram esfriados em dessecador com sílica gel aproximadamente por 45 minutos.

O teor de cinzas foi determinado pela Equação 8 (ABNT NBR 13999/2003).

$$TC = \frac{M_{fc} - M_{cad}}{M_a} \quad (8)$$

Sendo: TC é o teor de cinzas, em%; M_{fc} massa é a massa do cadinho mais o resíduo final das cinzas, em gramas; M_{cad} é a massa do cadinho, em gramas; e M_a é a massa da amostra inicial, em gramas.

3.4.4 Determinação do Teor de Carbono Fixo

Esse teor refere-se à quantidade de carbono retido na biomassa após a mesma passar por um processo de aquecimento que ocasione a perda total das substâncias voláteis, mas que não ocorra a queima total da amostra.

Segundo a NBR 8112, o teor de carbono fixo é calculado através subtração de 100% e da soma dos teores de voláteis, cinzas e umidade do material, de acordo com a Equação 9.

$$T_{cf} = 100 - (TU + TV + TC) \quad (9)$$

Sendo: T_{cf} teor é o teor de carbono fixo, em%; TU é o teor de umidade, em%; TV é o teor de voláteis, em%; TC é o teor de cinzas.

3.5 Determinação do Poder Calorífico Superior da Amêndoa, do Óleo, do Biodiesel e da Torta Residual de Babaçu *in natura*

A análise do poder calorífico superior da biomassa foi realizada de acordo com a norma ABNT NBR 8633/1984 e ASTM D5865-12, as mesmas foram aplicadas respectivamente para as biomassas sólidas e líquidas

Para a realização desses testes, a massa de biomassa utilizada foi 0,5g para cada análise. Foi utilizada uma bomba calorimétrica modelo C-200 da marca IKA (Figura 13).

O objetivo da análise é quantificar a energia liberada durante a combustão completa da biomassa, na forma de calor, que foi absorvida pela água presente no sistema. O equipamento realizara a leitura através da variação de temperatura que a água apresenta durante o processo.

Figura 33 - Etapas de realização do teste do PCS.



Fonte: Autoria própria 2018.

3.6 Processo de Carbonização

Segundo Rezende (2006), o processo de carbonização ocorre em quatro etapas:

- a) fase I: Secagem (ocorre até 110 °C) quando acontece apenas a liberação da umidade;
- b) fase II: Torrefação (ocorre entre 110 e 250 °C), na temperatura de 180 °C inicia-se a liberação de água de constituição pela decomposição da celulose e hemicelulose e pouco peso é perdido até 250 °C;
- c) fase III: Carbonização (ocorre entre 250 e 350 °C) com a intensificação da decomposição da celulose e hemicelulose. Ocorre expressiva perda de peso, formando-se gás, óleo e água. Ao atingir a temperatura de 350 °C a carbonização está praticamente pronta;
- d) fase IV: Fixação para temperaturas maiores que 350 °C, ocorre a redução gradual na liberação dos voláteis, o aumento da perda de peso e a redução do poder calorífico.

Este procedimento foi realizado em forno mufla e consistiu na queima da torta residual de babaçu em diferentes temperaturas (250 °C, 300 °C 350 °C e 400 °C \pm 5 °C). O cadinho foi colocado no interior da mufla, ainda à temperatura ambiente, de forma que ficasse em uma localização centralizada tanto com relação à porta, quanto com relação ao fundo e as laterais do equipamento, de forma a garantir que toda a amostra fosse carbonizada de maneira uniforme.

Ao atingir a temperatura programada, esperou-se por um período de 10 minutos para assegurar que a amostra carbonizasse na temperatura desejada pelo tempo que foi previamente estabelecido. Em seguida, desligou-se a mufla e os cadinhos só foram retirados quando a temperatura atingiu uma média inferior a 40 °C, temperatura que assegura a abertura do forno e a retirada da biomassa carbonizada sem riscos de incêndio. Após esse processo, os

cadinhos foram pesados e sua nova massa foi avaliada através da análise imediata e o poder calorífico superior da biomassa carbonizada.

3.6.1 Análise imediata e PCS da biomassa carbonizada

A análise imediata da biomassa carbonizada (teor de umidade, teor de voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo) seguiu o mesmo princípio do PCS e da análise imediata realizada para a biomassa *in natura*.

3.7 Produção do Briquete

O Processo de briquetagem foi realizado através da prensagem de uma determinada massa, previamente pesada, em uma prensa hidráulica a frio, a Figura 14, da marca Marconi, modelo MPH15. Na Figura 14 estão apresentadas as dimensões do molde briquetador são 5,0 cm de diâmetro e 14 cm de altura. A pressão empregada na produção dos briquetes foi de 7,5 toneladas.

É importante destacar que o briquete foi mantido há pressão constante por 5 minutos durante o processo de prensagem, com o objetivo de promover a agregação do material. Após esse período, aliviou-se a pressão por igual intervalo de tempo e retirou-se o briquete do molde.

Figura 14 - Prensa hidráulica a frio e molde utilizado para a produção dos briquetes.



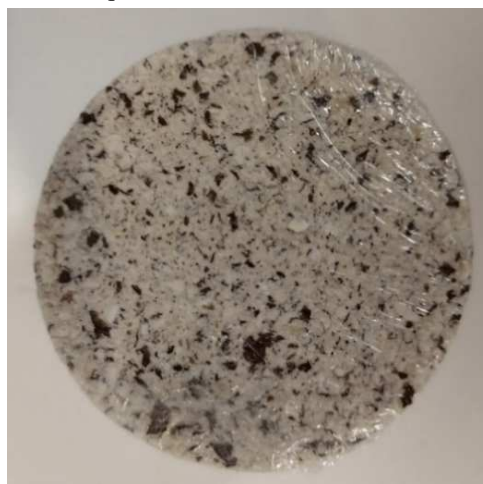
Fonte: Autoria própria 2018.

3.7.1 Briquete de Torta Residual de Babaçu

Inicialmente, foi utilizada a biomassa *in natura*, visto que possuía um valor adequado de umidade, em torno de 4,2%.

Com o auxílio de uma balança de precisão, pesou-se aproximadamente 10,50 g de Torta Residual de babaçu. Em seguida foi realizado o processo de briquetagem (Figura 15), no qual se observou que durante a prensagem da torta residual de babaçu houve saída de óleo no molde.

Figura 45 - Briquete da torta residual de babaçu *in natura*.



Fonte: Autoria própria 2018.

3.7.2 Análise imediata e PCS do briquete *in natura*

A análise imediata dos briquetes *in natura* seguiu o mesmo princípio da análise imediata realizada para a biomassa *in natura*.

3.8 Blendas com a Torta Residual de Babaçu

Inicialmente, realizou-se uma mistura entre a Torta Residual de babaçu e as biomassas foram casca de arroz, casca de castanha, bagaço de cana-de-açúcar, palha de carnaúba e talo de carnaúba nas proporções (25%,50%, e 75%) e posteriormente a blenda passou pelo processo de briquetagem.

As Biomassas utilizadas para as blendas com Torta Residual de babaçu foram casca de arroz (Figura 16), casca de castanha (Figura 17), bagaço de cana-de-açúcar (Figura 18), palha

de carnaúba e talo de carnaúba (Figura 19).

Seguiu-se a mesma metodologia da produção de briquetes *in natura*. Com o auxílio de uma balança de precisão, pesou-se aproximadamente 10g da blenda produzida. Em seguida, realizou-se a prensagem do material. Durante a execução foi submetida a 5 toneladas. Durante a prensagem, no intervalo de tempo de 5 minutos, a pressão permaneceu constante.

Após esse período, aliviou-se a pressão por igual intervalo de tempo e retirou-se o briquete do molde. Também foi realizado um teste com o mesmo valor de pressão, no entanto, mantendo esse parâmetro constante. E, por fim, repetiu-se o procedimento anterior utilizando-se 7,5 toneladas.

Figura 16 - Briquete do Torta Residual de babaçu e a casca de arroz, nas proporções 25%,50%, e 75%, respectivamente.



Fonte: Autoria própria 2018.

Figura 17 - Briquete do Torta Residual de babaçu e a casca de castanha, nas proporções 25%,50%, e 75%, respectivamente.



Fonte: Autoria própria 2018.

Figura 18 - Briquete do Torta Residual de babaçu e o bagaço de cana-de-açúcar, nas proporções 25%,50%, e 75%, respectivamente.



Fonte: Autoria própria 2018.

Figura 19 - Brique de do Torta Residual de babaçu com a palha de carnaúba, o talo de carnaúba e ambos.



Fonte: Autoria própria 2018.

3.8.1 Determinação da análise imediata e do PCS dos briquete de blenda

A análise imediata das blendas, seguiu o mesmo procedimento realizada para a biomassa *in natura* que foi a determinação do PCS utilizando a bomba calorimétrica e a realização da análise imediata, sendo a mesma composta pelo teor de cinzas, teor de voláteis, teor de umidade e o teor de carbono fixo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a melhor compreensão, os resultados foram divididos em seis seções: a primeira irá apresentar os resultados da análise imediata e PCS da amêndoa de babaçu; a segunda parte deriva-se da caracterização físico-química e PCS do óleo e do biodiesel de babaçu; a terceira é relativa a análise imediata e PCS da torta residual de babaçu *in natura*; a quarta refere-se à análise imediata e PCS da biomassa carbonizada a 250 °C, 300 °C, 350 °C e 400 °C; a quinta apresenta a comparação da biomassa *in natura* e carbonizada à temperatura de 300 °C e na sexta estão apresentados os dados de análise imediata, PCS dos briquetes e blendas.

4.1 Primeira Seção

4.1.1 Análise imediata e PCS da amêndoa de babaçu

Durante o período de realização do estudo parte das amêndoas armazenadas foram expostas à luz e umidade, ocasionando assim um processo de degradação, como mostrado na Figura 20. Na qual houve a alteração das características físicas do material. Dentre elas estão a cor, odor e textura da amêndoa. Para melhor acondicionamento a amêndoa degradada foi triturada e armazenada em recipiente fechado.

As amêndoas *in natura* e a degradada, que sofreu processo de decomposição, foram analisadas para se identificar as diferenças provocadas pela degradação. Os resultados foram comparados com os dados reportados por Teixeira (2012) para o bagaço de cana-de-açúcar.

As amêndoas *in natura* e a degradada foram submetidas ao processo de extração de óleo. Observou-se que a eficiência de extração obtida para a amêndoa *in natura* durante o processo foi de 52,1% e quando submetido a um processo secundário de extração por prensa a eficiência alcançou 59,8%. Entretanto, a eficiência de extração obtida para o processo envolvendo a amêndoa degradada foi de 50,07% e quando submetido a um processo secundário de extração por prensa a eficiência alcançou 70,66%.

Figura 20 - Amêndoa de Babaçu antes e depois do processo de degradação.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Esta análise forneceu resultados referentes ao Teor de Umidade, Teor de Voláteis, Teor de Cinzas, Teor de Carbono Fixo e o Poder Calorífico Superior da amêndoa de babaçu. Na Tabela 3 encontram-se os resultados obtidos a partir da média das quatro repetições.

Tabela 3 - Resultado da análise imediata e poder calorífico superior da amêndoa de babaçu

	Teor de Umidade (%)	Teor de Voláteis (%)	Teor de Cinzas (%)	Teor de Carbono Fixo (%)	PCS (MJ/kg)
Média	4,2 ± 0,15	93,54 ± 0,1	1,89 ± 0,18	0,37 ± 0,03	30,03 ± 0,01

Fonte: Autoria própria, 2018.

Para fins de comparação a amêndoa de babaçu degradada foi submetida a análise imediata e ao PCS. Na Tabela 4 encontram-se os resultados obtidos a partir da média das quadruplicata.

Tabela 4 - Resultado da análise imediata e poder calorífico superior da amêndoa de babaçu degradada.

	Teor de Umidade (%)	Teor de Voláteis (%)	Teor de Cinzas (%)	Teor de Carbono Fixo (%)	PCS (MJ/kg)
Média	2,67 ± 0,13	88,01 ± 0,2	3,36 ± 0,05	5,95 ± 0,1	30,81 ± 0,2

Fonte: Autoria própria, 2018.

4.1.1.1 Teor de Umidade

O teor de umidade na amêndoa de babaçu em ambas as condições, mostrou que durante o processo de decomposição a biomassa apresentou aumento na concentração de óleo

e dificuldade de absorção de água ocasionado provavelmente pela baixa no coeficiente de difusividade da água no material.

Para Dionizio (2017), o teor de umidade exerce influência no tempo de armazenagem da biomassa, visto que, a presença da mesma pode promover a proliferação de organismos decompositores da matéria orgânica, comprometendo a utilização da biomassa para fins energéticos.

4.1.1.2 Teor de Voláteis

Segundo Teixeira (2002), o teor de voláteis médio presente na amêndoa de babaçu é de 93,78%, sendo que o valor médio encontrado foi de 93,54%, ou seja, próximo ao valor mencionado em literatura. No entanto, a amêndoa que sofreu degradação provavelmente apresentou um valor médio inferior ao esperado que foi de 88,01%, isto é decorrente do fato de que durante o processo de degradação alguns voláteis presentes no material se desprendem e são consumidos pelos micro-organismos.

Segundo Santos (2012), os componentes voláteis emitidos no início da combustão são compostos principalmente por hidrogênio, hidrocarbonetos, monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO₂). A facilidade na queima é devida a presença de uma maior porcentagem de componentes voláteis na biomassa, sendo assim é uma característica indicativa de que a matéria quando submetida a processos termodinâmicos irá ser consumida rapidamente (VIEIRA et al., 2012; COSTA, 2015).

4.1.1.3 Teor de Cinzas

O teor de cinzas encontrado na amêndoa de babaçu foi de 1,89% aproximando-se do valor presente no trabalho de Teixeira (2002), o qual reporta que o teor de cinzas encontrada foi de 1,69%. Entretanto, o teor de cinzas presente na amêndoa degradada foi de 3,36%, isto é decorrente do fato do organismo decompositor não degradar os nutrientes na matéria promovendo assim um aumento na porcentagem de cinzas.

O controle das cinzas durante a realização de qualquer processo termodinâmico é de extrema importância, pois, um elevado teor de cinzas ocasiona a uma diminuição da eficiência, devido ao aumento do consumo de oxigênio, diminuição no poder calorífico devido às perdas energéticas ocasionadas pela alteração nos processos de transferência de calor, o entupimento e incrustações por escórias nos equipamentos (HOFFMAN, 2010).

4.1.1.4 Teor de Carbono Fixo

Segundo Teixeira (2002), o teor de carbono fixo presente na amêndoa de babaçu é de 4,53%. Esse resultado diferiu do encontrado para a amêndoa no presente trabalho, possivelmente pode ser explicado que a amêndoa de babaçu tem origem em regiões diferentes, conseqüentemente de solos distintos, o que interfere na composição química e conseqüentemente nos resultados obtidos referentes a biomassa analisada, salvo alguns trabalhos que possuem análises sobre a casca do coco babaçu.

Contudo, o teor de carbono fixo existente na amêndoa degradada se deve ao fato de que durante a decomposição da matéria o micro-organismo consumiu compostos inertes e voláteis ocasionando um aumento no teor de carbono fixo.

4.1.2 Poder Calorífico Superior

A amêndoa de babaçu apresentou um poder calorífico superior (PCS) de 30,03 MJ/kg e mesmo quando submetida ao processo de decomposição a amêndoa apresentou um resultado elevado e equivalente ao anterior. Neste estudo não foi possível realizar comparações com valores encontrados na literatura.

Como mencionado anteriormente, o PCS é definido como a quantidade de energia liberada durante a combustão completa na forma de calor, desse modo quanto mais energia é liberada, melhor a eficiência do processo.

4.2 Segunda Seção

4.2.1 Caracterização físico-química do óleo de babaçu

As análises realizadas forneceram os resultados referentes a Umidade Karl Fischer, a Massa Específica a 20 °C, ao Índice de Acidez, ao Índice de Saponificação, ao Índice de Refração, a Viscosidade Cinemática a 40 °C, ao Ponto de Fulgor e ao Poder Calorífico Superior do óleo de babaçu. Na Tabela 5 encontram-se os resultados obtidos a partir da média das quatro repetições.

Tabela 5 - Resultados da caracterização físico-química e PCS do óleo de babaçu bruto.

	Massa Específica a 20 °C (g/cm ³)	Índice de Acidez (mg KOH/g)	Índice de Saponificação (mg KOH/g)	Viscosidade Cinemática a 40 °C (mm ² /s)	PCS (MJ/kg)
Óleo Bruto de Babaçu	0,9194	4,641	229,632	30,492	36,949
Literatura	0,914 ^[1]	3,75 ± 0,05 ^[1]	249,0 ^[2]	24,68 ^[2]	37,66 ^[2]

Fonte: Autoria própria, 2018.

4.2.1.1 Massa Específica a 20 °C

A massa específica encontrada para o óleo analisado foi de 0.914g/cm³ e apresentou valor próximo aos dados reportados por Luz (2011), o qual diz que a densidade do óleo de babaçu bruto é 0,914 g/cm³. Nas pesquisas realizadas por Araújo (2008), o resultado obtido foi de 0,916 g/cm³, sugerindo que a proximidade entre os dados comparados se deve a possível similaridade entre as espécies.

4.2.1.2 Índice de Acidez

A amostra possui um índice de acidez de 4,641 mg KOH/g, valor esse considerado elevado e divergente dos valores encontrados por Luz (2011) e Carraza (2012), que obtiveram (3,75 ± 0,05) mg KOH/g e 2,51 mg KOH/g, respectivamente.

Segundo Oliveira *et. al.* (2013), devido o resultado da acidez do óleo está fora dos padrões de conformidade demonstra que os métodos utilizados para a colheita dos frutos, amadurecimento e armazenamento foram impróprios e incorretos. Pois, a acidez presente em óleos e gorduras brutas é decorrente da hidrólise enzimática que ocorre na semente ou no fruto em condições de alta umidade e temperatura. Ocasionalmente, uma hidrólise e oxidação dos lipídeos em ácidos graxos que se estiver em excesso e for utilizado hidróxidos como catalisador, levariam a reações de saponificação competindo com a reação de transesterificação para a produção do biodiesel (LIMA *et al.*, 2007).

^[1] LUZ, D. A. *et al.* Studies of physico-chemical crude babassu oil (*Orbignya phalerata* Mart.) and a by product of the dedumming step of the refining process. *Cadernos de Pesquisa*, v. 18, n. 3, 2011

^[2] ARAÚJO, G. de S. Produção de biodiesel a partir de óleo de coco (*Cocos nucifera* L.). In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION. 2. SÃO PAULO. 2009. Anais... São Paulo, 2009.

4.2.1.3 Índice de Saponificação

O índice de saponificação determinado a partir da amostra de óleo bruto foi de 229,632 mg KOH/g, sendo este um valor inferior aos resultados relatados por Araújo (2008) e Carrazza (2012), os quais obtiveram 249 mg KOH/g e 288 mg KOH/g, respectivamente.

Segundo Melo (2009), a discrepância observada pode ser explicada pelo fato do óleo de babaçu ser composto por ácidos graxos de menor massa molecular média, ou seja, indicando a predominância de triacilgliceróis esterificados com ácidos graxos monocarboxílicos (LUZ et al., 2011).

4.2.1.4 Viscosidade Cinemática a 40 °C

O valor resultante da análise de viscosidade se mostrou elevada, se comparada ao valor fornecido por Araújo (2008), no qual a viscosidade foi 24,68 mm²/s enquanto que a encontrada foi de 30,492 mm²/s.

Segundo Rodrigues *et al.* (2006), a viscosidade de um líquido surge a partir das forças de atração entre as moléculas, de modo que as mantêm unidas e não deixam movimentar-se entre si com facilidade. A viscosidade aumenta com o comprimento da cadeia e com o grau de saturação.

4.2.2 Poder Calorífico Superior

O poder calorífico superior obtido foi de 36,949 e se encontrou em conformidade com o valor fornecido por Araújo (2008), o qual obteve um PCS de 37,66 MJ/kg.

Segundo Araújo (2008), a utilização de óleo vegetal é uma das alternativas na substituição ao óleo diesel, pois, estes óleos poluem menos e têm poder calorífico bastante elevado.

4.2.3 Caracterização físico-química do biodiesel de babaçu

O óleo bruto necessitou passar por um processo de refino para que estivessem em boa qualidade para posteriormente ser submetido ao processo de transesterificação.

As análises realizadas forneceram os resultados referentes Umidade Karl Fischer, Massa Específica a 20 °C, Índice de Acidez, Viscosidade Cinemática a 40 °C e o Poder Calorífico

Superior do Biodiesel. Na Tabela 6 encontram-se os resultados obtidos a partir da média das quatro repetições.

Tabela 6 - Resultados da caracterização físico-química do biodiesel.

	Umidade ($\mu\text{g/g}$)	Massa Específica a 20 $^{\circ}\text{C}$ (g/cm^3)	Índice de Acidez (mg KOH/g)	Viscosidade Cinemática a 40 $^{\circ}\text{C}$ (mm^2/s)	PCS (MJ/kg)
Biodiesel	374,55	0,877	0,2778	3,564	38,973
Literatura	200 ^[3]	0,88 ^[2]	<0,5 ^[3]	3,0 – 6,0 ^[3]	38,898 ^[2]

Fonte: Autoria própria, 2018.

4.2.3.1 Umidade

O resultado obtido foi de 374,55 $\mu\text{g/g}$, sendo que este valor se encontra em não conformidade com o parâmetro da Resolução 45/2014 da ANP, que determina que a umidade deve ser menor ou igual a 200 $\mu\text{g/g}$.

Segundo Pinheiro *et al.* (2009), como o biodiesel apresenta certo grau de higroscopicidade, o teor de água deverá ser monitorado durante o período de armazenamento podendo ocorrer a formação de peróxidos e ácidos carboxílicos de cadeia curta proveniente da hidrólise do biodiesel resultando em ácidos graxos livres, além da presença de água, devido a processos de degradação oxidativa e absorção de umidade.

O excesso de umidade pode ser responsável pela proliferação de micro-organismos, corrosão em tanques de estocagem com deposição de sedimentos. A umidade no biodiesel age promovendo o aumento da acidez e subsequente formação de sabão (FERNANDES *et al.*, 2015).

4.2.3.2 Massa Específica a 20 $^{\circ}\text{C}$

A massa específica encontrada foi de 0,877 g/cm^3 e a mesma está próximo ao resultado relatado por Santos (2008), no qual o valor foi 0,869 g/cm^3 .

Segundo Lima *et al.* (2007) e Araújo (2008), o biodiesel de babaçu possui uma massa específica de 0,88 g/cm^3 , e a proximidade entre os valores, dá-se ao fato de apresentar cadeias

^[3] AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS (ANP). Resolução 45 de 25/08/2014. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Acesso em: 12 jan. 2018.

^[2] ARAÚJO, G. de S. Produção de biodiesel a partir de óleo de coco (*Cocos nucifera* L.). In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION. 2. SÃO PAULO. 2009. *Anais...* São Paulo, 2009.

de ésteres pequenas. Esta característica exercer grande influência em processos como a injeção de combustível e a preparação deste para a ignição automática. Sendo assim, o equipamento de injeção de combustível opera dentro de um sistema de medição de volume, onde uma elevada massa específica para o biodiesel resulta em uma entrega maior da massa de combustível (FERNANDES et al., 2015).

4.2.3.3 *Índice de Acidez*

O índice de acidez obtido foi de 0,2778 mg KOH/g e encontra-se equivalente aos reportados por Araújo (2008) e Santos (2008), no qual diz que o índice de acidez é 0,28 mg KOH/g e 0,3 mg KOH/g, respectivamente.

Segundo a resolução 45/2014 da ANP o índice de acidez não pode ser superior a 0,5 mg KOH/g. Pois, os elevados valores no parâmetro de acidez influenciam as reações de hidrólise do biodiesel e sua oxidação, podendo catalisar reações intermoleculares dos triacilglicerídeos, ao mesmo tempo, em que afeta a estabilidade térmica do combustível na câmara de combustão (MELO, 2009).

Segundo Parente (2003), a experiência prática demonstra que a corrosividade do biodiesel neutro é zero, mas se apresentar acidez elevada o biodiesel será considerado corrosivo.

4.2.3.4 *Viscosidade Cinemática a 40 °C*

A viscosidade obtida foi de 3,564 mm²/s e encontra-se em dentro da faixa de valores determinada pela resolução 45/2014 da ANP, na qual a viscosidade deve estar entre 3 a 6 mm²/s. os valores reportados por Lima (2008) e Santos (2008) foram 4 mm²/s e 3 mm²/s, sendo que, a viscosidade do biodiesel de babaçu obtido por rota metálica é próxima ao do diesel (SANTOS, 2008).

A viscosidade do biodiesel aumenta com o comprimento da cadeia carbônica e com o grau de saturação definindo a qualidade de pulverização na injeção do combustível, afetando na qualidade na combustão e influenciando no processo de atomização do combustível e na queima na câmara de combustão do motor (MELO, 2009; NASCIMENTO et al., 2014; FERNANDES et al., 2015).

4.2.4 Poder Calorífico Superior

O poder calorífico superior encontrado foi de 38,973 MJ/kg e o resultado mostrou-se equivalente ao reportado por Araújo (2008), o qual o PCS foi 38,698 MJ/kg.

Segundo Araújo (2008), o poder calorífico de um combustível indica a quantidade de energia desenvolvida pelo combustível por unidade de massa, quando o mesmo é queimado. A queima significa a combustão no funcionamento do motor. O poder calorífico do biodiesel é muito próximo ao do diesel mineral (diferença em torno de 5%).

Segundo Knothe et al. (2005), o biodiesel é menos energético do que o do diesel nº 2 (42.600 kJ/kg) em cerca de 12,5% (o que equivaleria a aproximadamente 37.488 kJ/kg).

4.3 Terceira Seção

4.3.2 Análise imediata e PCS da torta residual de babaçu *in natura*

Na Tabela 7 encontram-se os resultados obtidos a partir da média das quatro repetições.

Tabela 7 - Resultado da análise imediata e poder calorífico superior da torta residual de babaçu.

	Teor de Umidade (%)	Teor de Voláteis (%)	Teor de Cinzas (%)	Teor de Carbono Fixo (%)	PCS (MJ/kg)
Média	6,19 ± 0,17	86,13 ± 0,2	3,55 ± 0,05	4,14 ± 0,04	23,06 ± 0,3

Fonte: Autoria própria, 2018.

Para fins de comparação a torta residual de babaçu da amêndoa degradada foi submetida a análise imediata e ao PCS. Os resultados obtidos foram referentes ao Teor de Umidade, Teor de Voláteis, Teor de Cinzas, Teor de Carbono Fixo e o Poder Calorífico Superior da torta residual de babaçu da amêndoa degradada. Na Tabela 8 encontram-se os resultados obtidos a partir da média das quatro repetições.

Tabela 8 - Resultado da análise imediata e poder calorífico superior da torta residual de babaçu degradada.

	Teor de Umidade (%)	Teor de Voláteis (%)	Teor de Cinzas (%)	Teor de Carbono Fixo (%)	PCS (MJ/kg)
Média	9,27 ± 2,38	86,17 ± 1,35	1,75 ± 0,02	2,82 ± 0,8	23,15 ± 0,5

Fonte: Autoria própria, 2018.

Realizou-se a comparação entre os resultados da torta residual de babaçu e do bagaço de cana-de-açúcar. O bagaço de cana-de-açúcar foi escolhido devido ao fato de ser a principal fonte de biomassa na matriz energética brasileira.

4.3.2.1 Teor de Umidade

O teor de umidade encontrado para a Torta Residual de babaçu é inferior ao da Torta Residual degradado e ao valor reportado por Resende (2003), o qual diz que a umidade para o bagaço da cana-de-açúcar é de 9,24%.

Durante o teste para determinar o teor umidade foi possível se constatar que a água tem dificuldade de penetração na amostra de amêndoa degradada ocasionando assim uma variação significativa nas leituras realizadas, ou seja, houve uma queda no coeficiente de difusividade da água no meio citado.

Se a matéria apresentar elevados valores de umidade acarretará um aumento significativo na quantidade de energia necessária para o início do processo de combustão, além de que poderá gerar uma maior poluição ambiental devido à elevação do volume dos produtos de combustão e do material particulado residual da queima.

4.3.2.2 Teor de Voláteis

Ainda segundo Resende (2003), o teor de voláteis presentes no bagaço da cana-de-açúcar é de 88,67%. Encontrou-se um valor médio de 86,13% para a torta residual de babaçu *in natura* e 86,17% para a torta residual degradada.

Os valores encontrados para ambas as tortas residuais foram semelhantes dessa forma indicando que o processo de degradação não ocasionou alteração na facilidade que essa biomassa terá durante o processo de combustão, ou seja, a matéria quando submetida a processos termodinâmicos irá ser consumida rapidamente e desprenderá os compostos voláteis com maior facilidade.

Segundo Santos (2012), os materiais voláteis são os componentes emitidos no início da combustão, sendo composto principalmente por hidrogênio, hidrocarbonetos, monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO₂).

4.3.2.3 Teor de Cinzas

O teor de cinzas encontrado na amêndoa de babaçu *in natura* foi de 3,55% e da amêndoa degradada foi de 1,75%, ambos se aproximaram do valor presente no trabalho de Resende (2002), o qual reporta que o teor de cinzas encontrada no bagaço da cana-de-açúcar é de 2,93%.

A queda do teor de cinzas ocorre, pois, durante o processo de decomposição da amêndoa não são consumidos apenas compostos com carbono, mas também compostos com matérias consideradas inertes, como os nutrientes, durante o processo de combustão. Essa diminuição na quantidade de cinzas ocasiona um aumento da eficiência, devido à baixa do consumo de oxigênio para derreter as cinzas e pela perda de calor com a saída das cinzas do reator, que não pode ser plenamente recuperado. Para a gaseificação, o menor teor de cinzas inibe o entupimento e incrustações por escórias nos equipamentos (HOFFMANN, 2010).

4.3.2.4 Teor de Carbono Fixo

Segundo Vieira (2012), o percentual de carbono fixo presente em uma amostra é diretamente ligado a quantidade de calor gerado, sendo que quanto mais elevado for este percentual menor será a velocidade de queima da biomassa.

Ainda segundo Resende (2003), o teor de carbono fixo presente no bagaço da cana-de-açúcar é de 8,4%. Encontrou-se um valor médio de 4,14% para a torta residual de babaçu *in natura* e 2,82% para a torta residual degradada.

4.3.2.5 Poder Calorífico

A torta residual de babaçu *in natura* e a torta residual degradada apresentaram um poder calorífico superior (PCS) de 23,06 MJ/kg e 23,15 MJ/kg, respectivamente. Enquanto o bagaço da cana-de-açúcar apresentou um poder calorífico superior (PCS) de aproximadamente 17,08 MJ/kg.

Como mencionado anteriormente, o PCS tem como definição ser a quantidade de energia liberada durante a combustão total da biomassa que será transferida na forma de calor, portanto, quanto mais energia for liberada no processo melhor será sua eficiência energética.

4.4 Quarta Seção

4.4.1 Análise imediata e PCS da biomassa carbonizada

Na Tabela 9 verifica-se a média das quatro repetições da análise imediata e do poder calorífico superior para a amostra carbonizada nas temperaturas de 250 °C, 300 °C, 350 °C e 400 °C.

Tabela 9 - Resultado da análise imediata e poder calorífico superior da biomassa carbonizada a 250 °C, 300 °C, 350 °C e 400 °C.

	Teor de Umidade (%)	Teor de Voláteis (%)	Teor de Cinzas (%)	Teor de Carbono Fixo (%)
Torta Residual de Babaçu carbonizado a 250 °C	2,06 ± 0,34	71,96 ± 0,56	4,28 ± 0,44	21,7 ± 0,45
Torta Residual de Babaçu carbonizado a 300 °C	2,33 ± 0,12	69,93 ± 0,15	6,00 ± 0,69	21,74 ± 0,32
Torta Residual de Babaçu carbonizado a 350 °C	3,39 ± 0,32	55,83 ± 1,62	9,20 ± 0,86	31,59 ± 0,93
Torta Residual de Babaçu carbonizado a 400 °C	3,81 ± 0,25	39,20 ± 0,22	12,39 ± 0,89	44,59 ± 0,45

Fonte: Autoria própria, 2018.

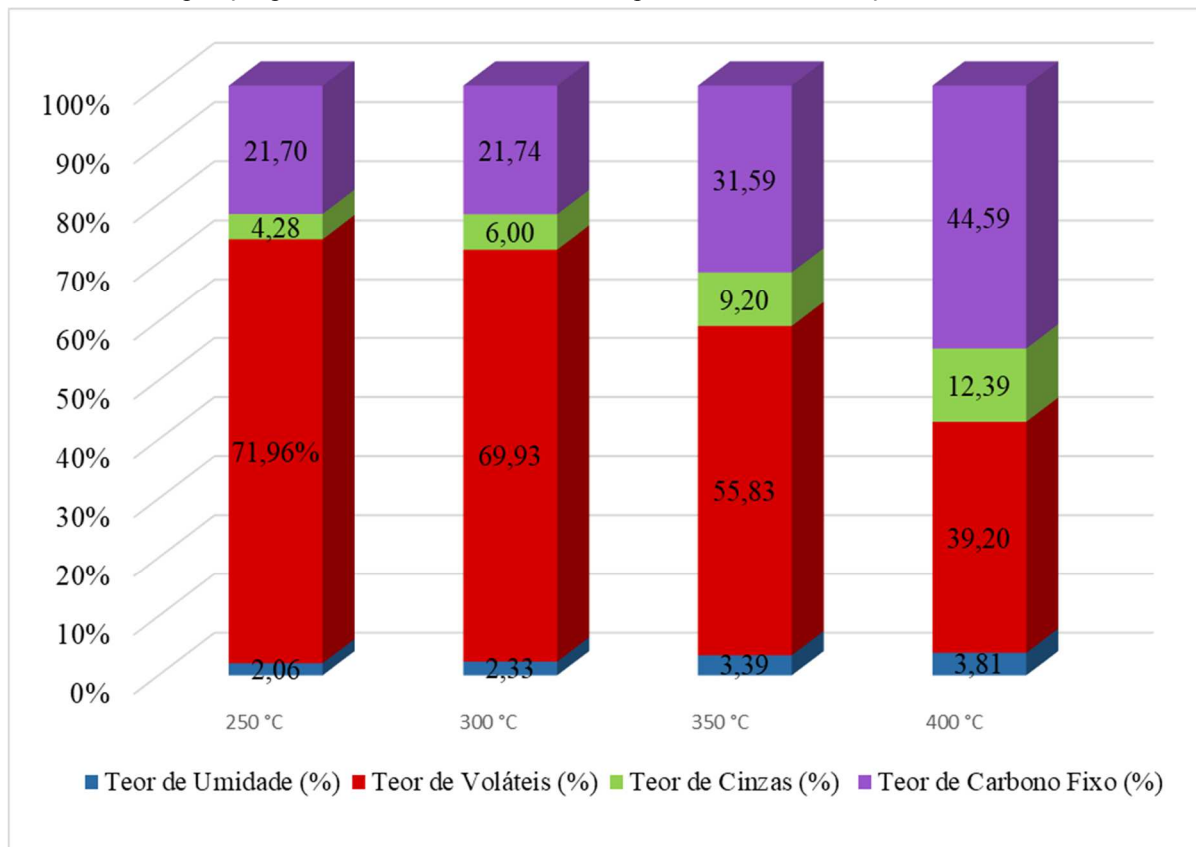
Como citado anteriormente para melhor aproveitamento energético a biomassa deve ter um baixo teor de cinzas e um baixo teor de voláteis, pois, somente nessas condições o carvão vegetal terá uma melhor eficiência e queimará mais lentamente ocorrendo assim um melhor aproveitamento do produto. Ainda que a elevação do teor de umidade ocasiona, geralmente, um efeito negativo na eficiência do processo de combustão e no poder calorífico do carvão vegetal, observou-se que a torta residual de babaçu carbonizada não apresentou o comportamento esperado como mostrado pelo Gráfico 2.

Uma elevação no teor de carbono fixo normalmente acarretaria um aumento no PCS da amostra, pois, ele é o responsável pela geração de gás. Entretanto, a torta residual da amêndoa de babaçu carbonizada apresentou nas temperaturas de 250 °C e 300 °C um teor de carbono fixo semelhante, contudo, ocorre uma elevação no PCS ocasionada pelo fato da biomassa ainda apresentar óleo em sua composição. Nas temperaturas de 350 °C e 400 °C ocorreu uma elevação no teor de carbono fixo, mas o PCS apresentou uma diminuição

significativa (Gráfico 2 e Gráfico 3).

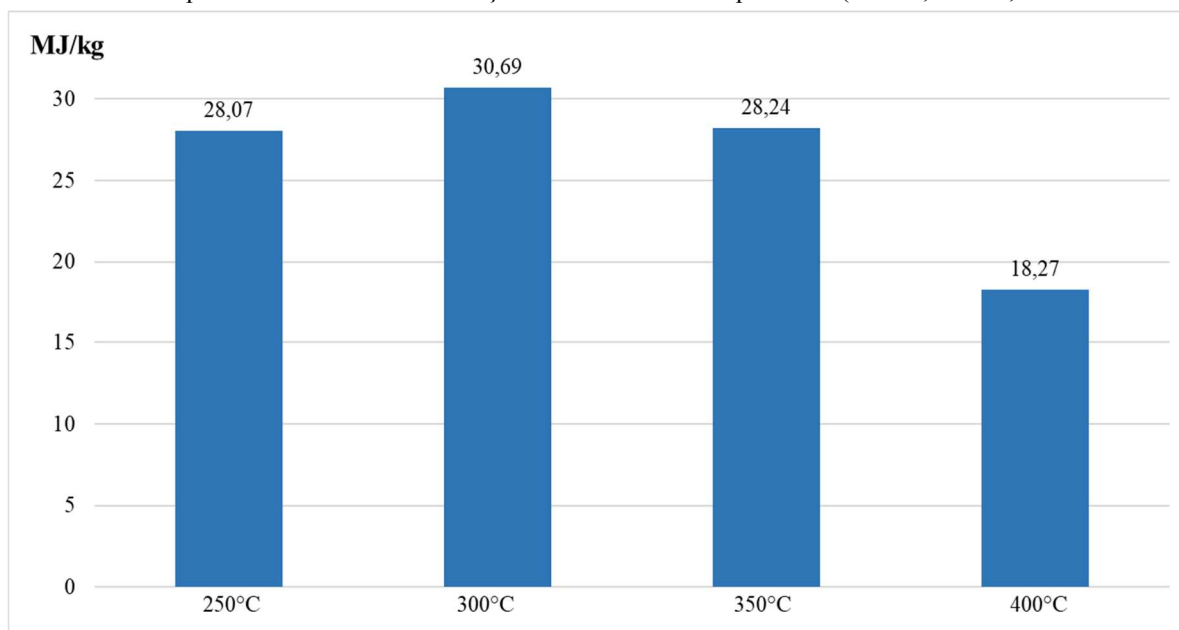
Segundo Castro (2011), o poder calorífico do carvão está relacionado com o teor de carbono fixo do mesmo, que por sua vez, aumenta com a degradação da biomassa, sendo que as propriedades do carvão podem variar em função do material genético a ser utilizado. Mas a variação nos resultados de poder calorífico superior do carvão que foi observado no Gráfico 3 não condizem como os resultados esperados ao se observa a variação entre os resultados obtidos no teor de carbono fixo (Gráfico 2).

Gráfico 2 - Composição percentual da análise imediata no processo de carbonização.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Gráfico 3 - PCS para a torta residual de babaçu carbonizada nas temperaturas (250 °C, 300 °C, 350 °C e 400 °C).



Fonte: Autoria própria, 2018.

4.5 Quinta Seção

4.5.1 Comparação entre a análise imediata e PCS da biomassa *in natura* e carbonizada a 300 °C

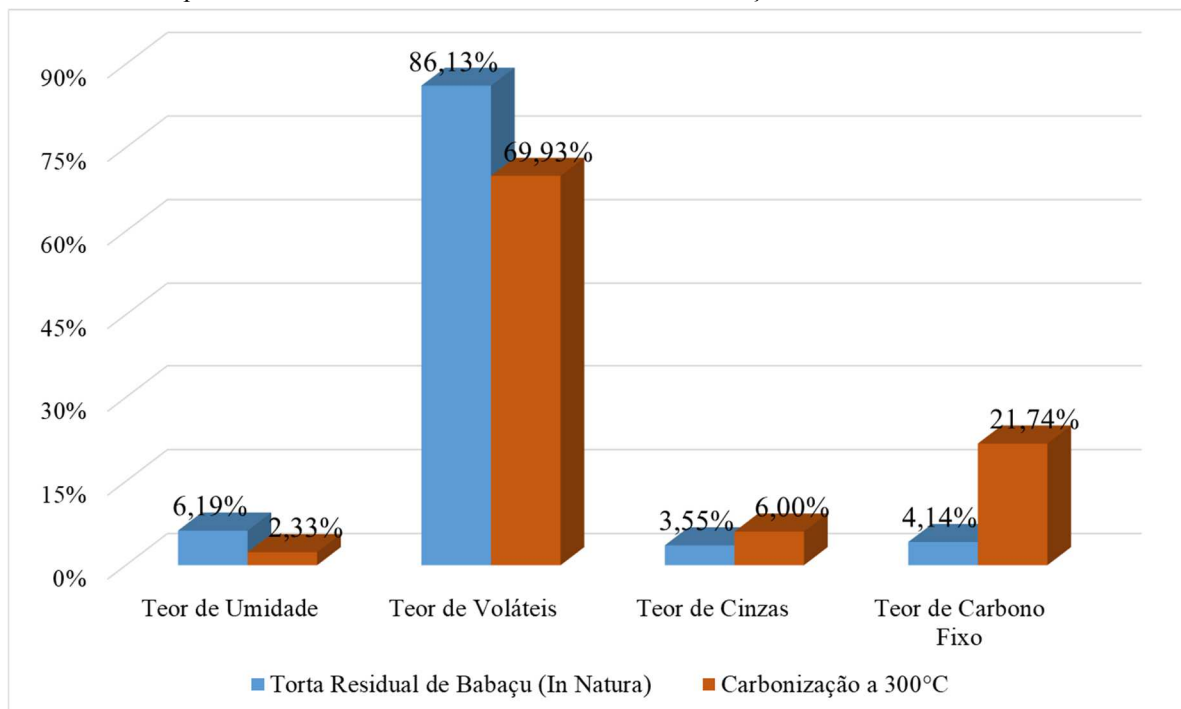
Segundo Porto (2004), a disponibilidade do recurso, a sustentabilidade de sua utilização, qualidade do insumo em relação ao poder calorífico e o teor de carbono são fatores que motivam o emprego do carvão de babaçu pela indústria siderúrgica como agente de dupla finalidade (redução do minério de ferro e fornecimento de energia para o alto forno).

O carvão vegetal apresenta características distintas da biomassa *in natura*. Sendo que as temperaturas de carbonização final podem ser analisadas para maximizar a produtividade de carvão de alta qualidade para uso em alto-forno e com as menores perdas de energia envolvidas neste processo (PROTÁSIO et al., 2014).

Como observado no Gráfico 4, segundo Protásio *et al.* (2012), o teor de cinzas e o teor de carbono fixo na biomassa carbonizada é maior que na biomassa *in natura* como consequência do processo de pirólise. No carvão vegetal, o teor de carbono fixo depende do teor dos materiais lignocelulósicos presentes na biomassa, pois, esses componentes químicos são os principais responsáveis pela presença dessa quantidade de carbono, consequentemente, a liberação de energia durante o processo de queima direta ou ocasionando interferência no processo de transferência de calor (ASSIS, 2008).

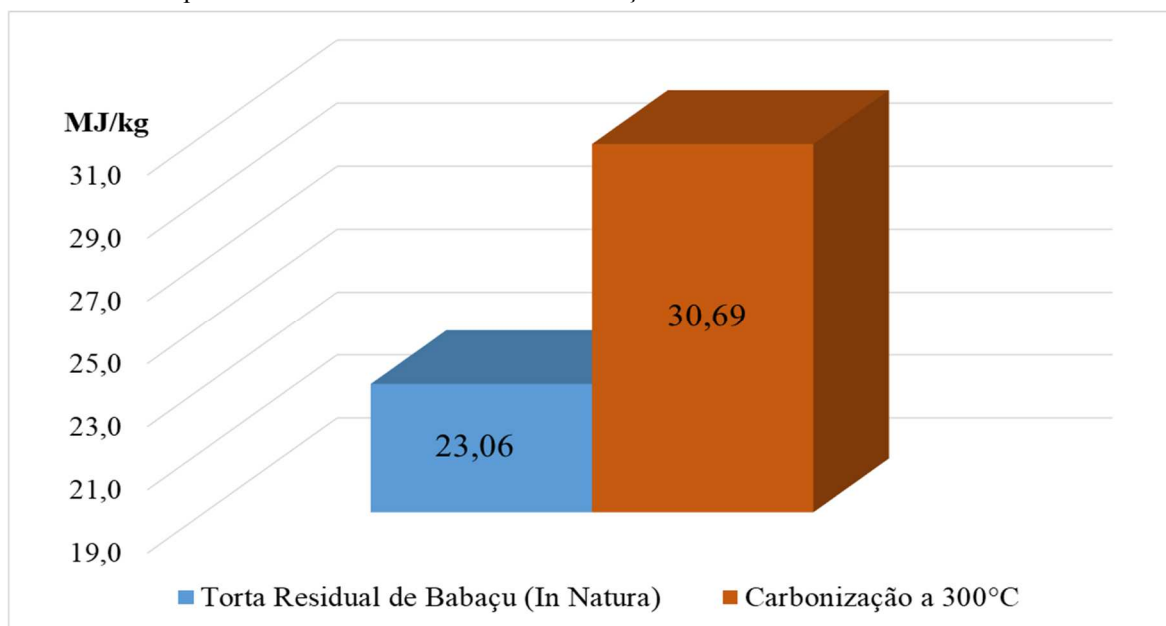
Como observado no Gráfico 4 e Gráfico 5 e mencionado por Chaves *et al.* (2013), Dionízio (2017) e Castro (2011), sabe-se que à medida que aumenta o tempo e a temperatura final o processo de carbonização proporciona um aumento no teor de carbono fixo e no poder calorífico superior do carvão, e uma redução nos valores de densidade, no teor de materiais voláteis, na resistência mecânica e no rendimento gravimétrico em carvão vegetal, pois, ocorre uma diminuição da quantidade de oxigênio e hidrogênio ocasionada pelo tratamento térmico, quando comparado com a biomassa *in natura*. No entanto, a perda de matéria é compensada pelo ganho energético em carbono, por conseguinte, aumento do PCS, como observado na carbonização à temperatura de 300 °C.

Gráfico 4 - Comparativo da análise imediata da torta residual de babaçu *in natura* e carbonizada a 300 °C.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Gráfico 5 - Comparativo do PCS da torta residual de babaçu in natura e carbonizada a 300 °C.



Fonte: Autoria própria, 2018.

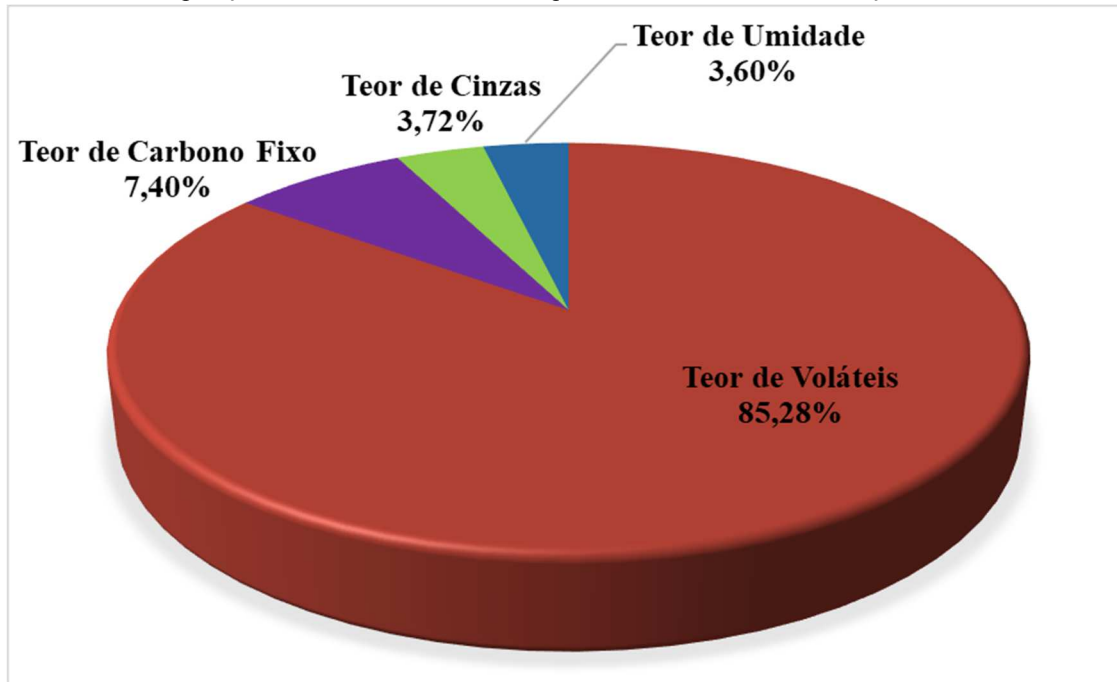
4.6 Sexta Seção

Nesta seção, foi analisada a influência das propriedades no briquete de torta residual de babaçu *in natura* e sua blenda com outras biomassas (casca de arroz, casca de castanha, bagaço de cana, palha e talo de carnaúba).

4.6.1 Briquete da Torta de Babaçu *in natura*

No Gráfico 6 está representada a composição do briquete da torta residual de babaçu *in natura*. Embora o teor de umidade e o teor de voláteis tenha um resultado menor que da torta residual de babaçu *in natura*, enquanto que o teor de cinzas e carbono fixo são maiores. O briquete apresentou um PCS de 22,25 MJ/kg, enquanto que a biomassa *in natura* apresentou 23,06 MJ/kg, o valor obtido foi superior quando comparado ao esperado visto que durante o processo de densificação parte da perda de massa sofrida pela amostra ocorreu devido à saída de óleo residual da extração, isso pode ser justificado pela dificuldade que o briquete de torta residual de babaçu tem de absorver água ao longo do tempo e a eficácia do processo de densificação, visto que, as condições ambientais de processo nas quais a amostra foi processada ou acondicionada pode interferir nas propriedades finais.

Gráfico 6 - Composição da análise imediata do briquete da torta residual de babaçu in natura.



Fonte: Autoria própria, 2018.

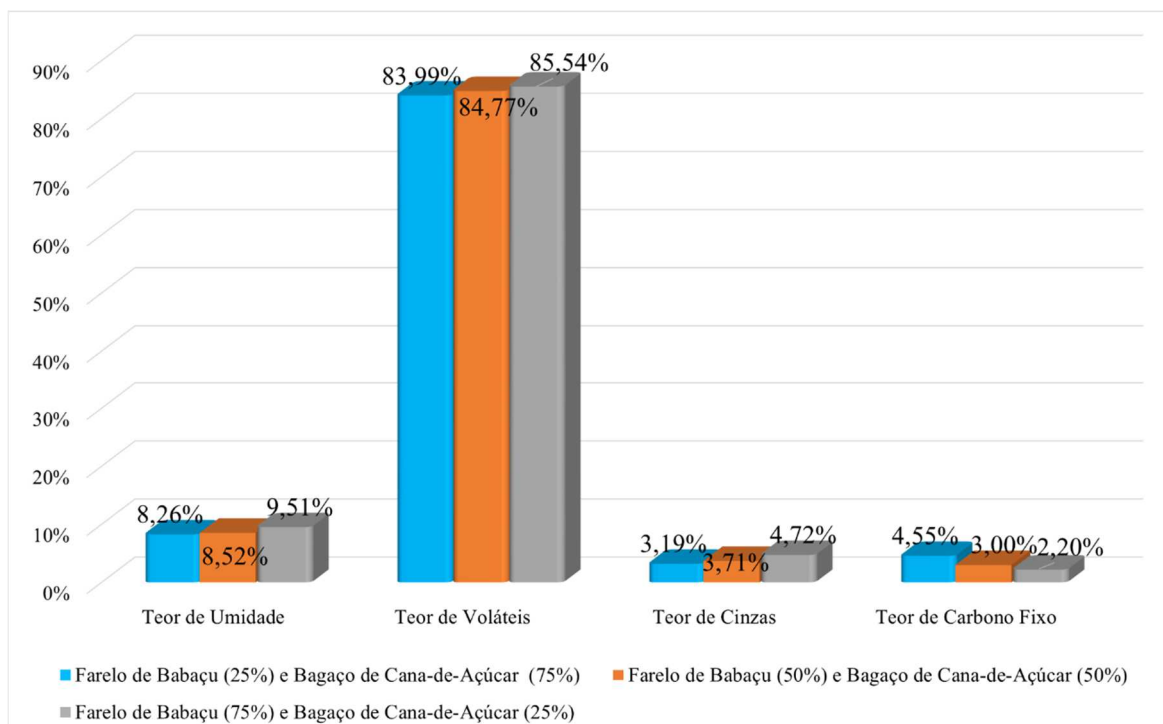
4.6.2 Blendas da torta residual de babaçu e outras biomassas.

Segundo Rodrigues (2002) e Barros (2013), o gerenciamento da produção dos briquetes compostos através de suas propriedades e composições, permite um maior controle da qualidade dos briquetes e do direcionamento de suas características de acordo com seu uso final, com a máxima redução na introdução de substâncias adicionais.

4.6.2.1 Bagaço de Cana-de-Açúcar

Comparando os resultados observados no Gráfico 7 é possível se perceber que ao aumentar-se a porcentagem da torta residual de babaçu na composição do briquete ocorre um aumento nos teores de umidade, voláteis e cinzas quando comparados ao do briquete de bagaço de cana-de-açúcar que apresentou um teor de umidade de 8,05%, teor de voláteis 83,07% e teor de cinzas 2,09%. O briquete de bagaço de cana-de-açúcar apresentou um teor de carbono fixo de 6,8% e um PCS de 17,08MJ/kg. Como observado no Gráfico 7 e na Tabela 10, as blendas apresentaram o teor de carbono fixo inferior, mas apesar disso o poder calorífico superior foi maior que o esperado.

Gráfico 7 - Comparativo análise imediata das blendas da torta residual de babaçu in natura com bagaço de cana-de-açúcar.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Tabela 10 - Resultado do PCS das blendas da torta residual de babaçu in natura com bagaço de cana-de-açúcar.

	Torta Residual de Babaçu (25%) e Bagaço de Cana de Açúcar (75%)	Torta Residual de Babaçu (50%) e Bagaço de Cana de Açúcar (50%)	Torta Residual de Babaçu (75%) e Bagaço de Cana de Açúcar (25%)
PCS (MJ/kg)	19,59	18,16	18,58

Fonte: Autoria própria, 2018.

Neste caso, a composição que apresentou os melhores resultados foi a de torta residual de babaçu (25%) com o bagaço de cana-de-açúcar (75%).

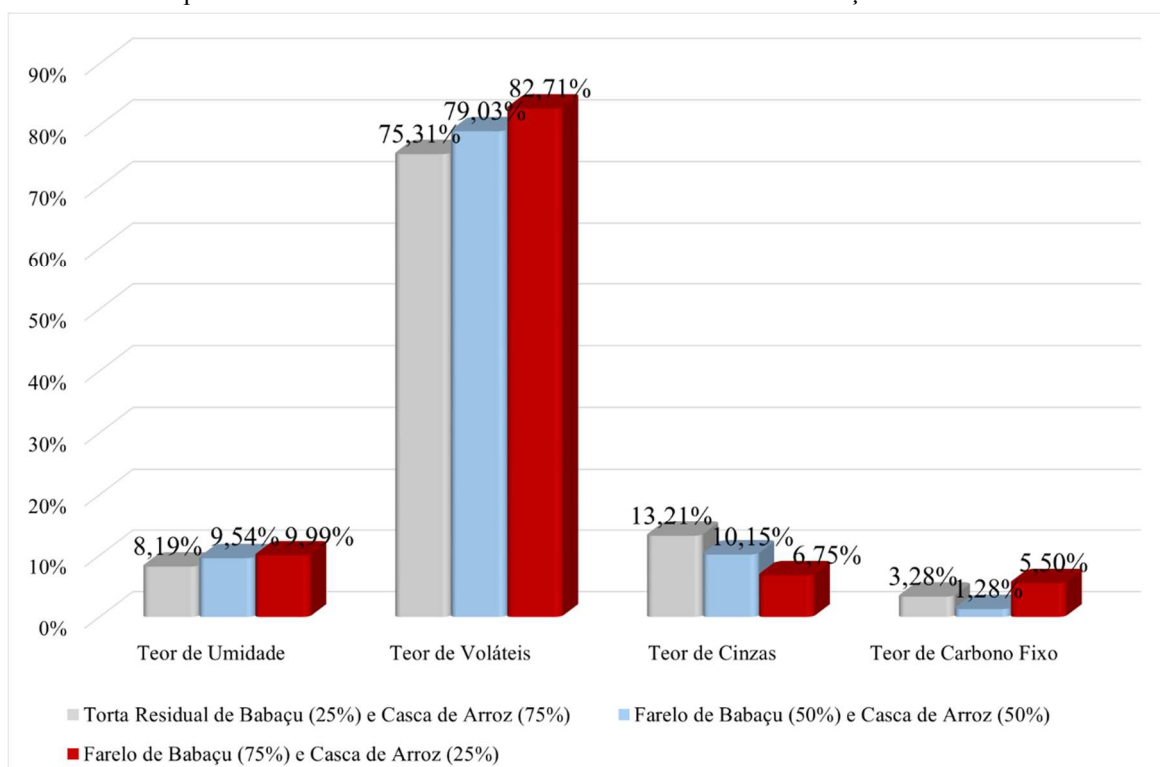
4.6.2.2 Casca de Arroz

Comparando os resultados observados no Gráfico 8 é possível se perceber que ao aumentar-se a porcentagem da torta residual de babaçu na composição do briquete ocorre um aumento nos teores de umidade e voláteis quando comparados ao do briquete de casca de arroz que apresentou um teor de umidade de 11,88% e teor de voláteis 67,56%.

O briquete de casca de arroz apresentou um teor de cinzas 16,58%, um teor de carbono fixo de 3,98% e um PCS de 14,34MJ/kg. Como observado no Gráfico 8 e na Tabela 12, as blendas apresentaram menor teor de cinzas e o poder calorífico superior foi maior que o esperado.

Neste caso, a composição que apresentou os melhores resultados foi da torta residual de babaçu (75%) com a casca de arroz (25%).

Gráfico 8 - Comparativo da análise imediata das blendas de torta residual babaçu in natura com casca de arroz.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Tabela 11 - Resultado do PCS das blendas de torta residual de babaçu in natura com casca de arroz.

	Torta Residual de Babaçu (25%) e Casca de Arroz (75%)	Torta Residual de Babaçu (50%) e Casca de Arroz (50%)	Torta Residual de Babaçu (75%) e Casca de Arroz (25%)
PCS (MJ/kg)	17,26	17,94	19,22

Fonte: Autoria própria, 2018.

4.6.2.3 Casca de Castanha

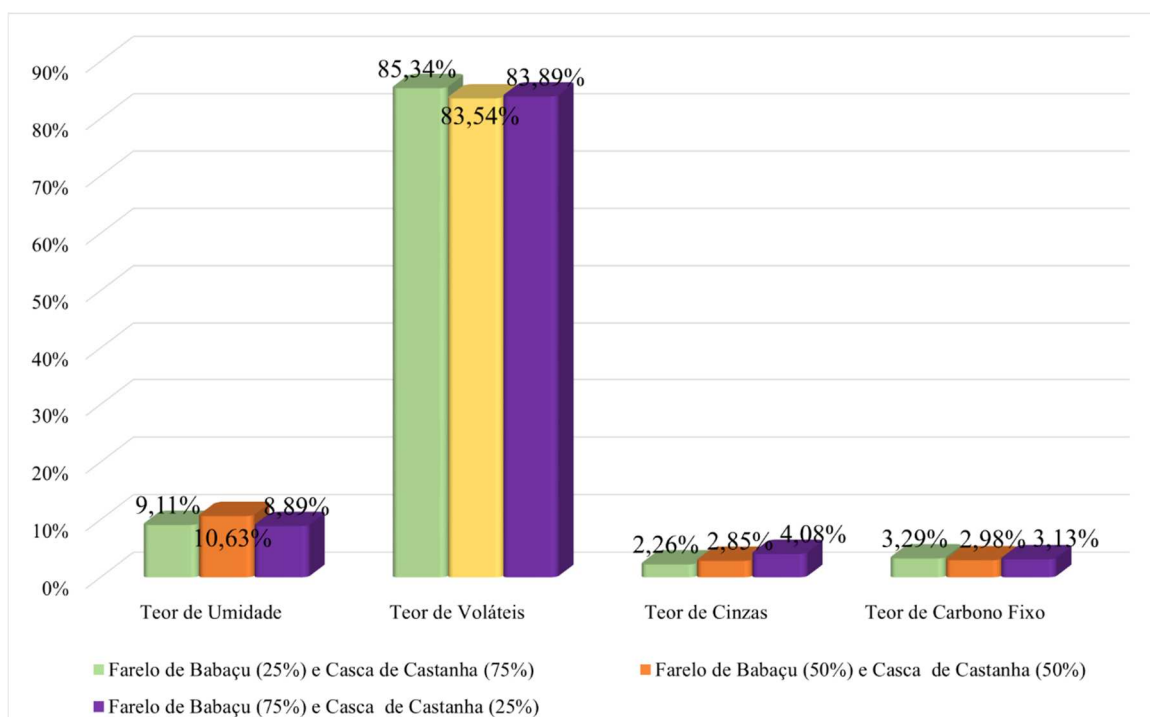
Comparando os resultados observados no Gráfico 9 é possível se perceber que ao aumentar-se a porcentagem da torta residual na composição do briquete ocorre um aumento

no teor de voláteis, já os teores de cinzas e umidade estão dentro em conformidade quando comparados ao do briquete de casca de castanha que apresentou um teor de umidade de 9,36%, teor de voláteis 78,56% e teor de cinzas 2,61%.

O briquete de casca de castanha apresentou um teor de carbono fixo de 9,47% e um PCS de 17,58MJ/kg. Como observado no Gráfico 9 e na Tabela 14, as blendas apresentaram o teor de carbono fixo inferior, mas apesar disso o poder calorífico superior foi maior que o esperado.

Neste caso, a composição que apresentou os melhores resultados foi de torta residual de babaçu (50%) com casca de castanha (50%).

Gráfico 9 - Comparativo da análise imediata das blendas da torta residual de babaçu in natura com casca de castanha.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Tabela 12 - Resultado do PCS da torta residual *in natura* e casca de castanha.

	Torta Residual de Babaçu (25%) e Casca de Castanha (75%)	Torta Residual de Babaçu (50%) e Casca de Castanha (50%)	Torta Residual de Babaçu (75%) e Casca de Castanha (25%)
PCS (MJ/kg)	18,92	20,17	21,17

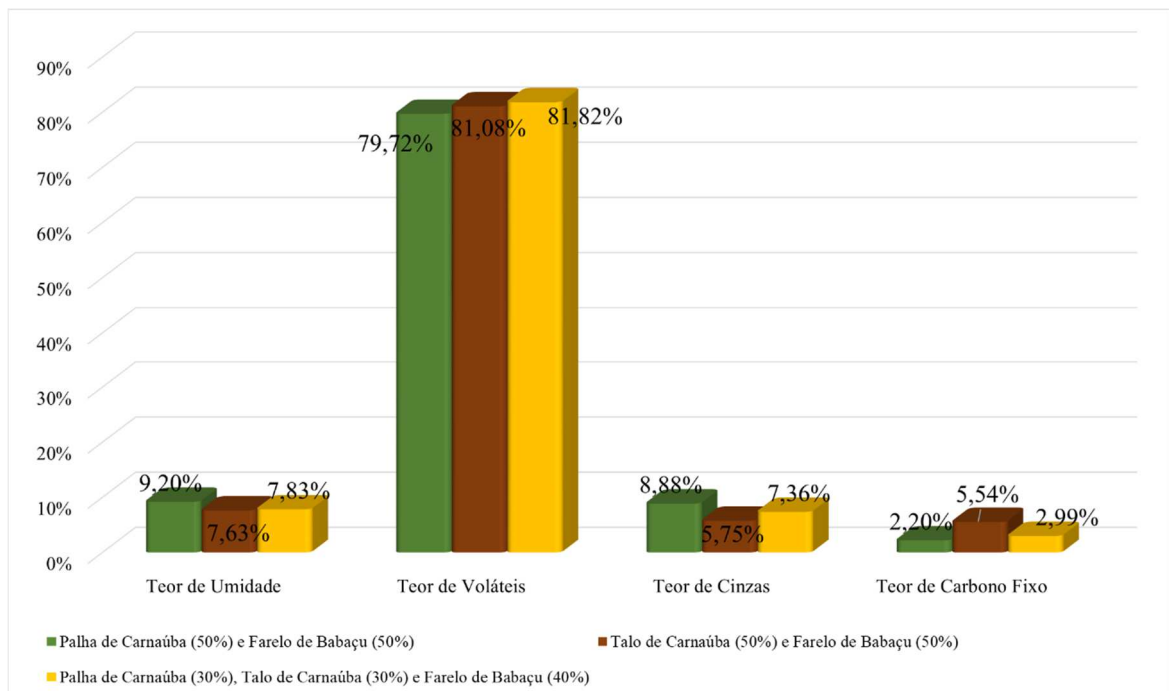
Fonte: Autoria própria, 2018.

4.6.2.4 Palha e Talo de Carnaúba

Comparando os resultados entre os briquetes presentes no Gráfico 10, observou-se que as diferentes composições de matérias-primas ocasionaram mudanças significativas no comportamento das blendas produzidas. Na Tabela 13, percebe-se que a variação nos resultados da análise imediata não aparenta acarretar impacto no poder calorífico, desde que as blendas apresentaram valores aproximados entre seus PCS's.

Neste caso, a composição que apresentou os melhores resultados foi de torta residual de babaçu (50%) com talo de carnaúba (50%).

Gráfico 10 - Comparativo da análise imediata das blendas de torta residual de babaçu *in natura* com palha e talo de carnaúba.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Tabela 13 - Resultado do PCS das blendas da torta residual de babaçu *in natura* com palha e talo de carnaúba.

	Palha de Carnaúba (50%) e Torta Residual de Babaçu (50%)	Talo de Carnaúba (50%) e Torta Residual de Babaçu (50%)	Palha de Carnaúba (30%), Talo de Carnaúba (30%) e Torta Residual de Babaçu (40%)
PCS (MJ/kg)	19,87	20,51	20,81

Fonte: Autoria própria, 2018.

5 CONCLUSÃO

A amêndoa de babaçu, objeto desse trabalho, foi analisada quanto a sua viabilidade como fonte de biomassa para a produção de biocombustíveis. De maneira que as amostras de amêndoa de babaçu *in natura* e degradada foram caracterizadas com base nos ensaios para determinação de análise imediata e PCS.

A amêndoa de babaçu *in natura* e degradada foram submetidas a um processo de extração com solvente apresentando, respectivamente, uma eficiência de 52,1% e 50,07%; entretanto, quando submetido a um processo secundário de extração por prensa as eficiências alcançaram 59,79% e 70,66%. Os produtos obtidos ao fim do processo de extração foram o óleo e a torta residual de babaçu.

O óleo de babaçu foi submetido a caracterização físico-química e apresentou resultados que indicaram o seu potencial para ser utilizado na produção de biodiesel. O biodiesel de babaçu produzido atendeu aos parâmetros umidade, massa específica, índice de acidez, viscosidade cinemática a 40 °C, exigidos pela Resolução ANP nº 45/2014.

A torta residual de babaçu *in natura* e carbonizada foi submetida a ensaios de análise imediata e PCS, no intuito de determinar suas características. De acordo com os resultados obtidos conclui-se que, a biomassa vegetal analisada apresenta condições favoráveis para sua utilização como fonte para geração de energia. Contudo, a torta residual de babaçu carbonizada tem uma maior quantidade de calor gerado durante o processo de combustão.

Dentre as temperaturas avaliadas, os ensaios realizados para a temperatura de 300 °C para a biomassa carbonizada foi a que apresentou melhor poder calorífico superior. Além disso, foi possível a produção de briquetes da torta residual de babaçu *in natura* através do processo de compactação, sem aquecimento. O briquete formado a partir da torta residual de babaçu *in natura* apresentou menores teores de umidade e de voláteis, no entanto, o teor de cinzas e o PCS foram muito próximo da torta residual de babaçu *in natura*. Isso ocorre devido ao fato de que durante o processo de briquetagem, parte do óleo residual ainda presente é expelido, ocasionando uma alteração na composição da biomassa. Notou-se também a possibilidade de utilizar a torta residual de babaçu *in natura* e carbonizada na produção de briquetes compostos (ou blendas) como aglomerante, como componente de aumento do poder calorífico da blenda e conseqüentemente, como fator de aumento da eficiência energética.

Diante do exposto, concluiu-se que a amêndoa de babaçu pode ser utilizada em sua totalidade como fonte de direta ou indireta para geração de energia e como meio de ocasionar um melhoramento da performance de outras biomassas com finalidade energética.

6 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Visando um maior aprofundamento no assunto, recomenda-se para trabalhos futuros realizar-se:

- a) ensaios termogravimétricos, a fim de avaliar a variação da massa de uma amostra em função da temperatura;
- b) ensaios mecânicos como o de friabilidade, pois informa o quanto o material se desgasta quando submetido ao impacto;
- c) ensaios mecânicos de resistência à tração por compressão diametral;
- d) produção do briquete com Torta Residual de babaçu carbonizado a 300 °C;
- e) ensaio de análise imediata e poder calorífico superior do briquete Torta Residual de babaçu carbonizado a 300 °C;
- f) testes utilizando o Torta Residual de babaçu carbonizado com aglutinante na produção de briquetes de carvão vegetal a partir de resíduos agrícolas na produção;
- g) exergia.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO ESTADO DO CEARÁ (ADECE). Disponível em: <<http://adece.ce.gov.br>>. Acesso em: 15 fev. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap4.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Resolução 45 de 25/08/2014**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Acesso em: 12 jan. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Disponível em: <http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/biodiesel> acesso em: 12 maio. 2018.

ARAÚJO, G. de S. Produção de biodiesel a partir de óleo de coco (*Cocos nucifera* L.). In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION. 2. SÃO PAULO. 2009. **Anais...** São Paulo, 2009.

ASSIS, C. F. C. **Caracterização de carvão vegetal para sua injeção em altos-fornos a carvão de pequeno porte**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112**: Análise química imediata do carvão vegetal. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633**: Carvão Vegetal: Determinação do poder calorífico: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984. p. 13.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112**: Carvão Vegetal: Análise imediata: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1986. p. 5.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14065**: Destilados de petróleo e óleos viscosos: Determinação da massa específica e da densidade relativa pelo densímetro digital. Rio de Janeiro, 2013. p. 19.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14929**: Madeira: Determinação do teor de umidade de cavacos: Método por secagem em estufa. Rio de Janeiro, 2017. p. 10.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14448**: óleos lubrificantes: produtos de petróleo e biodiesel: determinação do número de acidez pelo método de titulação potenciométrica. Rio de Janeiro, 2013. p. 29.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10441**: produtos de petróleo: líquidos transparentes e opacos: determinação da viscosidade cinemática e cálculo

da viscosidade dinâmica. Rio de Janeiro, 2017. p. 28.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D4052**: Standard Test Method for Density and Relative Density of Liquids by Digital Density Meter Marco. West Conshohocken, 2016.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D445-14**: Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and the Calculation of Dynamic Viscosity). West Conshohocken, 2014

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D5865-12**: Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke. West Conshohocken, 2012.

PORTAL SÃO FRANCISCO. **Babaçu**. Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alimentos/babacu>>. Acesso em: 11 jan. 2018.

BARROS, L. de O. **Densidade energética de briquetes produzidos a partir de resíduos agrícolas**. Brasília: UNB, 2012.

Balço Energético Nacional do Ministério de Minas e Energia. Ano base 2016. Brasília: Ministério Minas e Energia, 2017. Disponível em : <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 20 jan. 2018.

BEZZON, G. et al. **High Yield Carbons: From Eucalyptus Wood At Elevated Pressures**. 1997. Disponível em: <http://acs.omnibooksonline.com/data/papers/1997_ii258.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2018.

CAIRES, R.R. **Briquetagem-Biomassa**. Campinas: UNICAMP, 2010. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA-X4AF/briquetagem-biomassa>>. Acesso em: 19 fev. 2018.

CANDEIA, R. A. **Biodiesel de Soja: síntese, degradação e misturas binárias**. 2008. Tese (Doutorado em Química)-Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008.

CARNEIRO, M. **Avaliação econômica da biomassa para a produção de energia**. 2010. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia, Departamento de Produção e Sistemas da Universidade do Minho, Braga, 2010.

CARRAZZA, L. R. **Manual tecnológico de aproveitamento integral do fruto do babaçu**. 2. ed. Brasília: ISPN, 2012.

CASTRO, A. F. N. M. **Efeito da idade e de materiais genéticos de Eucalyptus sp. na madeira e carvão vegetal**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

CHAVES, A. M. B. et al. Característica energética da madeira e carvão vegetal de clones de Eucalyptus spp. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17; p. 533-542, 2013.

CODEX ALIMENTARIUS. **Codex standard for named vegetable Oils**. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/004/y2774e/y2774e04.htm>>. Acesso em: 1 fev. 2018.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. **Biomassa para energia**. 3. ed. Campinas: UNICAMP, 2008.

COSTA, T. G. **Estudo do potencial energético de briquetes produzidos a partir de resíduos de madeira**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

ÇENGEL, Y. A.; BOLES, M. A. **Termodinâmica**. 7. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. **Mecânica dos Fluidos: fundamentos e aplicações**. Porto Alegre: AMGH, 2006.

DIAS, J. M. C. de S. et al.; **Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. Brasília, 2012.

DIONIZIO, A. F. **Aproveitamento energético de resíduos agroindustriais no Distrito Federal**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

PORTAL ENERGIA. **Vantagens e desvantagens da energia a biomassa**. 2016. Disponível em: <<http://www.portal-energia.com/vantagens-e-desvantagens-da-energia-biomassa/>>. Acesso em: 25 jan. 2018.

Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2017: ano base 2016**. Rio de Janeiro: EPE, 2017.

FERNANDES, J. B. et al. **Influência do armazenamento em parâmetros de qualidade do biodiesel de óleo residual de fritura**. v. 100, p. 41–49, 2015.

FERREIRA, J. C. et al. Potencialidade do uso de resíduos vegetais para a geração de energia através da técnica de briquetagem. **BioMassa e BioEnergia**, v. 2, p. 18–25, 2012.

FERREIRA, L. A.; PEREIRA, N. C.; OLIVEIRA, S. M. Alternativas viáveis para a redução da acidez no sebo bovino. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA. 20. 2015. **Anais...** 2016, p. 7354–7361. Disponível em: <<http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/17554>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

GARCIA, D. P. **Caracterização química, física e térmica de pellets de madeira produzidos no Brasil**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia dos Campus de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2010.

GENOVESE, A. L.; UDAETA, M. E. M.; GALVÃO, L. C. R. Aspectos energéticos da biomassa como recurso no Brasil e no mundo. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL. 2006. **Anais...** 2006. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC000000022006000100021&script=sci_arttext>. Acesso em: 15 jan. 2018.

NÚCLEO INTERINSTITUCIONAL DE ESTUDOS E GERAÇÃO DE NOVAS TECNOLOGIAS PARA O FORTALECIMENTO DO ARRANJO PRODUTIVO LOCAL DO BABAÇU. **SIG GEOBABAÇU**. Disponível em: <<http://www.siggeobabacu.ifpi.edu.br>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

GONÇALVES, J. E.; SARTORI, M. M. P.; LEÃO, A. L. Energia de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de *Eucalyptus grandis*. **Rev. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. n. 14, p. 657–661, 2009.

HANSTED, A. L. S. et al. Caracterização Físico-Química da Biomassa de *Leucaena leucocephala* para Produção de Combustível Sólido. **Revista Virtual de Química**, v. 20, n. 20, 2016.

HOFFMAN, B.S. **O ciclo combinado com gaseificação integrada e a captura de CO₂: uma solução para mitigar as emissões de CO₂ em termelétricas a carvão em larga escala no curto prazo?**. 2010. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) –Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

IBGE. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**. 2017. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pevs/2017/default.shtm>>. Acesso em: 20 jan. 2018.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos Químicos e Físicos para Análise de Alimentos**. 4. ed. São Paulo, 2008: IMESP, 1985

KNOTHE, G., Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters. **Fuel Processing Technology**, v. 86, n.1059, 2005.

KOBORI, C. N.; JORGE, N. Caracterização dos óleos de algumas sementes de frutas como aproveitamento de resíduos industriais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 5, p. 1008–1014, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cagro/v29n5/a14v29n5.pdf>>. Acesso em: 1 fev. 2018.

LENÇO, P.C. **Caracterização do bagaço de cana-de-açúcar para geração de energia**. 2010. 181f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

LIMA, J. R. O. et al. Biodiesel de Babaçu (*Orbignya sp.*) obtido por via Etanólica. **Revista Química Nova**, Piauí, v. 30, n. 3, p. 600-603, jan. 2007.

LIMA, M. G. Extração do óleo de babaçu (*Orbignya Speciosa*) provenientes da Embrapa Meio-Norte visando a produção de biodiesel. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 51., 2011. São Luís. **Anais...** São Luiz, 2011. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/cbq/2011/trabalhos/7/7-431-11337.htm>>. Acesso em: 1 fev. 2018

LORENZI, H. **Flora brasileira Lorenzi: Arecaceae (palmeiras)**. São Paulo: Nova Odessa, 2010, 367 p.

LUZ, CHRI. A. et al. Studies of physico-chemical crude babassu oil (*Orbignya phalerata* Mart.) and a by product of the dedumming step of the refining process. **Cadernos de Pesquisa**, v. 18, n. 3, 2011.

MARINELLI, A.L.; MONTEIRO, M.R.; AMBRÓSIO, J.D.; BRANCIFORTI, M.C.; KOBAYASHI, M.; NOBRE, A.D. **Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos com Fibras Vegetais Naturais da Biodiversidade: Uma Contribuição para a Sustentabilidade Amazônica**. **Polímeros**, v. 18, n. 2, p. 92, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282008000200005>. Acesso em: 16 jan 2018

MELO, M. A. R. **Monitoramento da Estabilidade Oxidativa no Armazenamento de Biodiesel Metílico de Soja / Mamona e Blendas em Recipientes de Vidro**. João Pessoa. 2009. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.

MELO, M. A. M. F. **Avaliação das Propriedades de Óleos Vegetais visando a Produção de Biodiesel**. São Pessoa. 2010. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

NASCIMENTO, D. R. et al. Determinação de Resíduo de Carbono em Misturas de Diesel/Biodiesel Determination of Carbon Microresidue at Mixtures of Diesel/Biodiesel. **Rev. Virtual Quim**, v. 6, n. 4, p. 911–923, 2014. Disponível em: <<http://www.uff.br/rvq>>. Acesso em: 21 fev. 2018

OLIVEIRA, L. B.; COSTA, A. O. da. **Biodiesel: uma experiência de desenvolvimento sustentável**. 2005. Disponível em: <<http://www.biodieselecooleo.com.br/biodiesel/estudos>>. Acesso em: 29 jan. 2018.

OLIVEIRA, L. R. et al. Caracterização físico-química do óleo bruto de babaçu (*Orbignya phalerata* Mart.) comercializado na zona rural de José Freitas-PI. In: CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, 2., 2007, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: CEFET, 2007.

OLIVEIRA JUNIOR, E. M. **Produção de briquetes com resíduos de vegetais de jardinagem e podas em condomínios residenciais**. 2013. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade na Gestão Ambiental) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2013

PARENTE, E. J .S. **Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado**. Fortaleza: Tecbio, 2003.

PAULA, L. E. R **Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

PINHEIRO, G. F.; RENDEIRO, G.; PINHO, J. T. Densidade energética de resíduos vegetais. **Biomassa e Energia**. 2006. Disponível em: <<https://www.lippel.com.br/dados/download/02->

05-2014-15-30Densidade-Energetica-de-Residuos-Vegetais.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2017.

PIRES, A. A. F. **Resíduos lignocelulósicos para biocombustível sólido: caracterização e termogravimetria aplicada**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2013.

PONTE, M. R. **Blendas de bagaço de cana-de-açúcar: caracterização das propriedades e investigação da viabilidade técnica**. 2017. Monografia (Engenharia de Energias) – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Acarape, 2017.

PORTO, M. J. F. **Estudo preliminar de dispositivo de quebra e caracterização dos parâmetros físicos do coco babaçu**. 2004. Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Estadual de Campinas, 2004.

PROTASIO, T. P. **Biomassa residual do coco babaçu: potencial de uso bioenergético nas regiões norte e nordeste do Brasil**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

PROTÁSIO, T. P. et al. Mass and energy balance of the carbonization of babassu nutshell as affected by temperature. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 49, n. 3, p. 189–196, 2014.

PROTASIO, T. P., COUTO, A. M., REIS, A.A., TRUGUILHO, P. F., GODINHO, T. P. **Potencial siderúrgico e energético do carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* spp. Aos 42 meses de idade**. doi: 10.4336/2013.pfb.33.74.448 *Pesq. flor. bras.*, Colombo, v. 33, n. 74, p. 137-149, abr./jun. 2013

PROTÁSIO, T. P. et al. Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 66, p. 113–122, 2011. Disponível em: <<http://www.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/200/211>>. Acesso em: 19 fev. 2017.

RESENDE, F. L. P. **Comparação entre as técnicas de análise termogravimétrica e leito fluidizado para pirólise de biomassa**. 2003. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Mecânica, Unicamp, 2003.

REZENDE, M. E. **Produção de carvão vegetal: importância do conhecimento fundamental**. Belo Horizonte, 2006. Curso Fundamentos e práticas da carbonização da biomassa.

RIOS, Í. C. **Estudo da influência estrutural nas propriedades físico-químicas em moléculas de biolubrificantes derivados dos ácidos graxos do óleo da mamona (*Ricinus Communis*)**. 2015. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

RODRIGUES, Leonardo Dantas *et al.* Uso de briquetes compostos para produção de energia no estado do Pará. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas. **Proceedings online....** Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022002000200061&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 16 mar. 2018.

SISTEMA Nacional de Informações Florestais, **Boletim SNIF**, v. 2, 2. ed., 2016. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/snif>>. Acesso em: 13 jan. 2018

SANTOS, C. C. A. dos; FRAGA, I. M. **Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos**: Guia de orientações para governos municipais de Minas Gerais, 2012.

SANTOS, J. R. J. et al. Otimização do processo de produção do biodiesel metílico de babaçu usando o planejamento fatorial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA REDE DE BIODIESEL, 2., 2007.

SANTOS, N. A. **Propriedades termo-oxidativas e de fluxo do biodiesel de babaçu (*Orbignya phalerata*)**, Dissertação (Mestrado) - Pós-graduação em Química, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008.

TAVARES, S. R. L.; SANTOS, T. E. Uso de diferentes fontes de biomassa vegetal para produção de biocombustíveis sólidos. **Holos**, ano 29, v. 5, 2013.

TEIXEIRA, M. A. Biomassa de babaçu no Brasil. **Enc. Energ. Meio Rural**, ano 4, n. 19, 2002.

TEIXEIRA, M. A. Heat and Power demands in babassu palm oil extraction industry in Brazil. **Energy**, v. 46, ago. 2005.

TEIXEIRA, M. A.; CARVALHO, M. G. Regulatory mechanism for biomass renewable energy in Brazil, a case study of the Brazilian Babassu oil extraction industry. **Energy**, v. 3, n. 6, p. 999, 2007.

VIEIRA, A. C. **Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas**. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

VIEIRA, A. C. et al. Caracterização da casca de arroz para geração de energia. **Revista Varia Scientia Agrárias**, v. 3, n. 1, p. 51–57, 2013.

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