



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

HENRIQUE BELCHIOR DE OLIVEIRA

ANÁLISE IMEDIATA E AVALIAÇÃO DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR DAS
ESPÉCIES *Combretum leprosum* Mart. (MOFUMBO) e *Anadenanthera macrocarpa*
(Benth.) Brenan (ANGICO)

FORTALEZA
2018

HENRIQUE BELCHIOR DE OLIVEIRA

**ANÁLISE IMEDIATA E AVALIAÇÃO DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR DAS
ESPÉCIES *Combretum leprosum* Mart. (MOFUMBO) e *Anadenanthera macrocarpa*
(Benth.) Brenan (ANGICO)**

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

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

FORTALEZA

2018

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

O47a Oliveira, Henrique Belchior de.
Análise imediata e avaliação do poder calorífico superior das espécies *Combretum leprosum* Mart. (MOFUMBO) e *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan (ANGICO) / Henrique Belchior de Oliveira. – 2018.
35 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Mecânica, Fortaleza, 2018.
Orientação: Profa. Dra. Maria Aleksandra de Sousa Rios.

1. Biomassa. 2. Fontes renováveis. 3. Eficiência energética. I. Título.

CDD 620.1

HENRIQUE BELCHIOR DE OLIVEIRA

**ANÁLISE IMEDIATA E AVALIAÇÃO DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR DAS
ESPÉCIES *Combretum leprosum* Mart. (MOFUMBO) e *Anadenanthera macrocarpa*
(Benth.) Brenan (ANGICO)**

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

Aprovada em: ___ / ___ / ____.

BANCA EXAMINADORA

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

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

Prof. Prof. Dr. Rômulo do Nascimento Rodrigues
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus.

Aos meus pais, por todo apoio e incentivo.

À Prof^a. Dr^a. Alexsandra Rios, pela excelente orientação e pelas valiosas colaborações e sugestões, e também por ceder as instalações do Laboratório de Referência em Biocombustíveis (LARBIO) para o desenvolvimento deste trabalho.

À colega Rosali Barbosa pelo auxílio e apoio durante a realização deste trabalho.

Aos meus amigos, pelo apoio durante todos os 5 anos de curso.

“Determinação, coragem e autoconfiança são fatores decisivos para o sucesso. Se estamos possuídos por uma inabalável determinação, conseguiremos superá-los. Independentemente das circunstâncias, devemos ser sempre humildes, recatados e despidos de orgulho.”

(Dalai Lama)

RESUMO

A muito tempo que as preocupações com a eficiência energética e com o meio ambiente vêm colocando as fontes renováveis de energia em evidência. Fontes não renováveis, além de terem seus recursos escassos no planeta, contribuem para a poluição, desmatamento e, conseqüentemente, o aquecimento global. Por conta disso, a busca por fontes renováveis de energia está cada vez maior, e uma dessas fontes é a biomassa. A biomassa pode ser uma boa opção energética, pois é renovável e gera baixas quantidades de poluentes. Em uma usina de álcool, por exemplo, os resíduos de cana-de-açúcar (bagaço) podem ser utilizados para produzir energia. Nesse projeto buscou-se obter informações sobre o potencial energético de duas espécies típicas da Caatinga: *Combretum leprosum* Mart. (**MOFUMBO**) e *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan (**ANGICO**), levando em consideração propriedades de teor de umidade, cinzas, materiais voláteis, carbono fixo e poder calorífico superior, visando uma possível aplicação como combustível sólido. Os procedimentos experimentais foram efetuados levando em consideração os métodos descritos nas normas técnicas ASTM D3174, ASTM D3175, ASTM E711-87, ASTM D3173, ABNT NBR 8112, NBR 13999. Analisando os resultados obtidos, o Mofumbo apresentou um poder calorífico superior de 17,7895 MJ/kg, teor de umidade de 8,70%, teor de cinzas de 2,12% e teor de materiais voláteis de 75,36%. O Angico apresentou um poder calorífico superior de 16,75 MJ/kg, teor de umidade de 12,85%, teor de cinzas de 2,67% e teor de materiais voláteis de 82,27%.

Palavras-chave: Biomassa. Fontes Renováveis. Eficiência Energética.

ABSTRACT

It is not today that concerns about energy efficiency and the environment are putting renewable energy sources at the forefront. Non-renewable sources, in addition to having scarce resources on the planet, contribute to pollution, deforestation and, consequently, global warming. Because of this, the search for renewable energy sources is increasing, and one of these sources is biomass. Biomass can be a good energy option because it is renewable and generates low amounts of pollutants. In an alcohol plant, for example, sugar cane residues (bagasse) can be used to produce energy. In this project we sought information about the energy potential of two species typical of the Caatinga: *Combretum leprosum* Mart. (MOFUMBO) and *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan (ANGICO), taking into account properties of moisture content, ash, volatile materials, fixed carbon and higher calorific value, aiming at a possible application as solid fuel. The experimental procedures were carried out taking into account the methods described in technical standards ASTM D3174, ASTM D3175, ASTM E711-87, ASTM D3173, ABNT NBR 8112, NBR 13999. Analyzing the results obtained, Mofumbo had a higher calorific value of 17, 7895 MJ / kg, moisture content of 8.7%, ash content of 2.12% and volatile material content of 75.36%. Angico had a higher calorific value of 16,75 MJ / kg, a moisture content of 12.85%, an ash content of 2.67% and a content of volatile materials of 82.27%.

Keywords: Biomass. Renewable sources. Energy Efficiency

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Produção de energia primaria	17
Figura 2 – Matriz energética mundial	18
Figura 3 – Oferta interna de energia elétrica por fonte	19
Figura 4 – Tipos de conversão da biomassa sólida	20
Figura 5 – Mofumbo	21
Figura 6 – Angico	22
Figura 7 – Bomba calorimétrica IKA, modelo C1	27

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Teor de matérias voláteis para Mofumbo e Angico	30
Gráfico 2 – Teor de carbono fixo Mofumbo e Angico	32
Gráfico 3 – Poder calorífico superior para Angico e Mofumbo	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise das amostras do Mofumbo e Angico	28
Tabela 2 – Resultados de umidade para o Mofumbo	28
Tabela 3 – Resultados de umidade para o Angico	29
Tabela 4 – Teor de cinzas para Angico e Mofumbo	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
LARBIO	Laboratório de Referência em Biocombustíveis Prof. Expedito José de Sá Parente
NUTEC	Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará
MME	Ministério de Minas e Energia

LISTA DE SÍMBOLOS

T_u	Teor de umidade em base úmida
T_s	Teor de umidade em base seca
m	Massa
T_v	Teor de materiais voláteis
T_c	Teor de cinzas
T_{cf}	Teor de carbono fixo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo principal	16
2.2	Objetivos específicos	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1	Matriz energética brasileira e mundial	17
3.2	Fontes renováveis de energia	18
3.3	Biomassa	19
3.4	Espécies estudadas	21
3.4.1	<i>Combretum leprosum</i> Mart. (MOFUMBO)	21
3.4.2	<i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan (ANGICO)	22
4	MATERIAIS E MÉTODOS	24
4.1	Origem das amostras	24
4.2	Caracterização dos materiais	24
4.2.1	<i>Determinação do teor de umidade</i>	24
4.2.2	<i>Determinação do teor de materiais voláteis</i>	25
4.2.3	<i>Determinação do teor de cinzas</i>	25
4.2.4	<i>Determinação do teor de carbono fixo</i>	26
4.2.5	<i>Determinação do poder calorífico superior</i>	26
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5.1	Teor de umidade	28
5.2	Teor de materiais voláteis	29
5.3	Teor de cinzas	30
5.4	Teor de carbono fixo	31
5.5	Poder calorífico superior	32
6	CONCLUSÃO	34
	REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

A energia é fator vital para o desenvolvimento de um país. A indústria, que é a base social e econômica do mundo, é integralmente submissa ao desenvolvimento energético, mas devido à preocupação mundial com a preservação do meio-ambiente novas alternativas de energias foram testadas.

A busca por novas fontes de energia se deve, além dos recursos não-renováveis serem finitos, à grande emissão de gás carbônico (CO₂) gerada pela queima dos combustíveis fósseis, tal emissão resulta em muitos problemas para o meio-ambiente como contribuir para o aquecimento global e poluição atmosférica. Para solução desses problemas fontes alternativas de energia foram testadas.

Energia renovável é aquela proveniente de recursos naturais, como energia gerada pelos ventos (eólica), pelas marés, pelas ondas, pelo sol (solar) e biomassa. São energias limpas, que geram pouco ou nenhum resíduo que prejudicam o ambiente.

Embora atualmente a matriz energética brasileira esteja ligada às fontes não-renováveis de energia, a participação de renováveis, em porcentagem, está entre as maiores do mundo com 41,5% de renováveis na matriz energética, sendo a maioria proveniente da biomassa da cana (BEN, 2017). A matriz energética mundial é composta por 13% de fontes renováveis no caso de Países industrializados, caindo para 6% entre as nações em desenvolvimento. (BALANÇO ENERGÉTICO MUNDIAL, 2016)

Dentre as energias renováveis, uma boa alternativa vem da biomassa, as vantagens do uso da biomassa na produção de energia são o baixo custo, permitir o reaproveitamento de resíduos e ser bem menos poluente que outras fontes de energia como o petróleo ou o carvão.

Apesar da utilização da biomassa como fonte de energia trazer muitas vantagens, é importante salientar que se deve ter um amplo controle sobre as áreas desmatadas, por isso a preocupação ambiental, mais do que nunca, deve ser prioridade na utilização da biomassa.

Com base nas necessidades atuais de sustentabilidade, este trabalho foi desenvolvido com o intuito de realizar uma análise imediata e avaliação do poder calorífico superior das espécies *Combretum leprosum* Mart. (**MOFUMBO**) e *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan (**ANGICO**), para que se pudesse comprovar a possibilidade de aproveitamento dessas espécies como combustível sólido.

O estudo desenvolvido envolveu análises das propriedades: Teor de Umidade, Teor de Voláteis, Teor de Cinzas, Teor de Carbono Fixo e Poder Calorífico Superior.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O trabalho teve como objetivo geral caracterizar por meio da análise imediata e determinação do poder calorífico superior as espécies *Combretum leprosum* Mart. (MOFUMBO) e *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan (ANGICO).

2.2 Objetivos específicos

- Determinação dos teores de umidade, cinzas, voláteis e carbono fixo das espécies;
- Determinar o Poder Calorífico Superior das espécies.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Matriz energética brasileira e mundial

A matriz energética brasileira é, em sua maioria, dependente da utilização de fontes não-renováveis de energia. Contudo, mesmo com a maior porcentagem advinda dos combustíveis fósseis, o Brasil se encontra como um dos maiores utilizadores de energia renovável no mundo. Segundo o Balanço Energético Nacional de 2017, a principal fonte de produção de energia é o petróleo, como indicado na Figura 1.

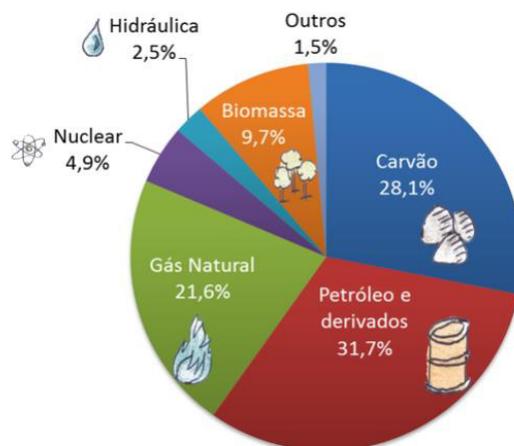
Figura 1 – Produção de energia primária.

FONTES	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	SOURCES
NÃO RENOVÁVEL	51,9	52,1	53,8	53,0	54,8	54,7	54,2	56,5	57,9	58,5	NON-RENEWABLE ENERGY
PETRÓLEO	40,6	39,7	42,0	42,1	42,5	41,7	40,6	42,8	44,1	44,2	PETROLEUM
GÁS NATURAL	8,1	9,0	8,7	9,0	9,3	10,0	10,8	11,6	12,2	12,8	NATURAL GAS
CARVÃO VAPOR	1,0	1,1	0,8	0,8	0,8	1,0	1,3	1,1	0,9	0,9	STEAM COAL
CARVÃO METALÚRGICO	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	METALLURGICAL COAL
URÂNIO (U ₂ O ₃)	1,6	1,7	1,7	0,7	1,6	1,5	0,9	0,2	0,2	0,0	URANIUM - U ₂ O ₃
OUTRAS NÃO RENOVÁVEIS	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	OTHER NON-RENEWABLE
RENOVÁVEL	48,1	47,9	46,2	47,0	45,2	45,3	45,8	43,5	42,1	41,5	RENEWABLE ENERGY
ENERGIA HIDRÁULICA	14,4	13,4	14,0	13,7	14,4	13,9	13,0	11,8	10,8	11,1	HYDRAULIC
LENHA	12,8	12,4	10,2	10,3	10,1	10,0	9,5	9,1	8,7	7,8	FIREWOOD
PRODUTOS DA CANA-DE-AÇÚCAR	18,1	19,0	18,6	19,3	16,9	17,6	19,1	18,1	17,6	17,2	SUGAR CANE PRODUCTS
EÓLICA	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,4	0,6	1,0	WIND
SOLAR									0,0	0,0	SOLAR
OUTRAS RENOVÁVEIS	2,8	3,1	3,3	3,6	3,7	3,7	3,9	4,2	4,3	4,3	OTHER RENEWABLE
TOTAL	100,0	TOTAL									

Fonte: Balanço Energético Nacional (2017).

Ao comparar-se a matriz energética brasileira com a mundial, observa-se uma discrepância existente, tendo em vista a grande utilização mundial de combustíveis fósseis, que chega a marca de 85,9%, como observado na Figura 2.

Figura 2 – Matriz energética mundial.



Fonte: Balanço Energético Mundial (2016)

Tais dados chamam a atenção para o meio-ambiente, diante da crescente mudança climática que vem ocorrendo — em especial o aquecimento do planeta —, as emissões de gases de efeito estufa se tornam uma questão cada vez mais relevante. Em comparação com o resto do mundo, o Brasil tem se destacado por apresentar reduzidos índices de emissão de gases em sua produção de energia, o que se deve basicamente à elevada participação de fontes renováveis na oferta energética interna. Mesmo levando-se em conta o aumento da participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira, o nível de emissões deverá se ampliar nos próximos 25 anos. Projetam-se emissões de cerca de 970 milhões de toneladas de CO₂ em 2030. (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007)

3.2 Fontes renováveis de energia

É com base no cuidado mundial contra o aquecimento global, devido à utilização desenfreada de combustíveis fósseis, que novas fontes alternativas vem sendo pesquisadas e utilizadas para a geração de energia.

É consenso entre pesquisadores, empresários, políticos e consumidores que a suficiência em energia de um país pode propiciar um grande crescimento econômico e melhorar a qualidade de vida da sua população. O tema “energia” está relacionado à segurança nacional e a estabilidade econômica. A demanda por energia tem pressionado os governos para o desenvolvimento de sistemas e tecnologias eficientes e a diversificação de

suas fontes de suprimento, principalmente em energias limpas e renováveis. (OLIVEIRA; ZANIN, 2015)

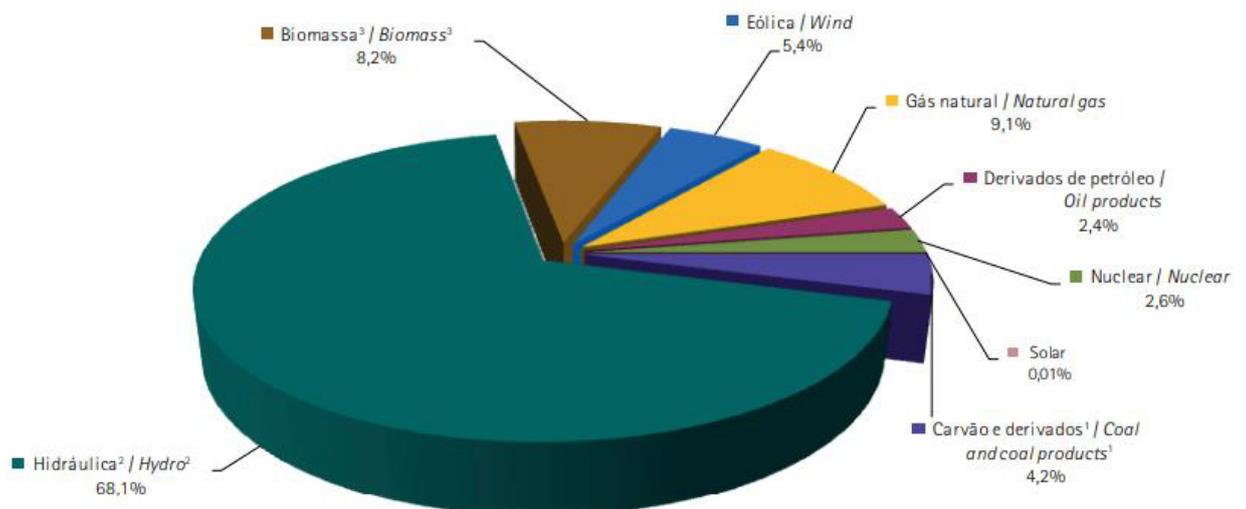
Observando-se a Figura 1, podemos verificar que os produtos da cana-de-açúcar são os mais usados como fontes renováveis na geração de energia no Brasil.

A cana-de-açúcar é uma biomassa que pode ser transformada quase que totalmente em energia aproveitável através de processos industriais, que na sua maioria, já são dominados e conhecidos e apresentam alto índice de aproveitamento dos subprodutos e, baixo impacto ambiental.

Uma fonte de energia primária é toda a forma de energia disponível na natureza antes de ser convertida ou transformada. Consiste na energia contida nos combustíveis crus, a energia solar, a eólica, a geotérmica e outras formas de energia que constituem uma entrada ao sistema. Se não é utilizável diretamente, deve ser transformada numa fonte de energia secundária como a eletricidade.

Já para a produção de energia elétrica, segundo o Balanço Energético Nacional de 2017, a energia hidráulica lidera amplamente, tendo em vista a quantidade de usinas hidroelétricas presentes no país, como podemos observar na Figura 3.

Figura 3 - Oferta interna de energia elétrica por fonte



Fonte: Balanço Energético Nacional (2017).

3.3 Biomassa

Biomassa é toda matéria orgânica, de origem vegetal ou animal, utilizada na produção de energia, ela é obtida através da decomposição de uma variedade de recursos renováveis, como plantas, madeira, resíduos agrícolas, restos de alimentos, excrementos e até do lixo. O Brasil possui situação privilegiada para produção de biomassa em larga escala, pois existem extensas áreas cultiváveis e condições climáticas favoráveis ao longo do ano. (MAGALHÃES, 2018)

Existe um grande número de tecnologias de conversão energética da biomassa, adequadas para aplicações em pequena e grande escalas. Elas incluem gaseificação, métodos de produção de calor e eletricidade (cogeração), recuperação de energia de resíduos sólidos urbanos e gás de aterros sanitários além dos biocombustíveis para o setor de transportes (etanol e biodiesel). De todas as opções disponíveis, o etanol da cana-de-açúcar é o maior sucesso comercial dos combustíveis de biomassa em produção atualmente. O etanol da cana-de-açúcar possui balanço energético positivo e tem sido beneficiado pelo apoio de políticas governamentais em vários países. (GOLDEMBERG, 2009)

A energia presente na biomassa pode ser transformada, mediante processos de conversão biológicos, físicos e químicos, em combustíveis gasosos (biogás), líquidos (etanol e biodiesel) e sólidos (carvão vegetal e lenha). O principal objetivo dessa conversão é transformar um material carbonáceo de baixa eficiência energética, em um material de eficiência energética viável do ponto de vista econômico (AÇMA, 2003).

Na Figura 4 podemos observar os tipos de conversão da biomassa sólida em energia.

Figura 4 – Tipos de conversão da biomassa sólida



Fonte: Enersilva, 2007.

3.4 Espécies estudadas

3.4.1 Combretum leprosum Mart. (MOFUMBO)

Entre os vegetais lenhosos da Caatinga destaca-se o Mofumbo (*Combretum leprosum* Mart.), arbusto lenhoso, muito ramificado que cresce nos baixios, beira de rios e quebradas de serras. A família Combretaceae abrange cerca de 20 gêneros e aproximadamente 475 espécies, difundidas nas regiões tropicais, de família com características relativamente avançadas, cujos membros ocupam ambientes especiais, como mangue e regiões áridas, sua principal característica é a adaptação sofrida para dispersão pelo vento ou pela água. (OLIVEIRA; RIBEIRO; BENEDITO; PAIVA; SÁ, 2013)

Sua área de ocorrência está associada a ambientes mais secos como: Caatinga (stricto sensu), Carrasco, Cerrado (lato sensu), Floresta Estacional Decidual e Floresta Estacional Semidecidual. É uma espécie que tem ampla distribuição no sertão nordestino e uma das últimas a perder as suas folhas, no período de estiagem. É facilmente reconhecida pelas inflorescências congestas, formadas por pequenas flores que exalam um doce perfume e pelos frutos com quatro alas, que auxiliam no processo de dispersão pelo vento.

De acordo com Sampaio et al. (2005) o Mofumbo, observado na Figura 5, possui ampla importância por ser uma planta madeireira, de recurso floral de néctar e pólen, medicinal e produtora de princípios ativos. Lima et al. (2009) afirmam o uso etnofarmacológico principalmente no tratamento de doenças como câncer, lepra, febres tropicais, cólicas, complementando é ainda utilizado no tratamento de hemorragias, cicatrizante e como sedativo conforme afirmação de Pietrovski et al. (2006).

Figura 5 - Mofumbo



Fonte: appverde, 2015.

3.4.2 *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan (ANGICO)

A árvore Angico Vermelho (Figura 6) é de porte médio a grande, comumente encontrado em capoeiras ou na colonização de áreas abertas. A muda de Angico Vermelho apresenta fácil adaptação às quaisquer condições físicas do solo e é indicada para atrair abelhas. No inverno perdem totalmente as folhas. Coloração vermelha-queimada, com abundantes veios ou manchas arroxeadas, superfície pouco lustrosa, muito pesada, dura e de grande durabilidade sob condições naturais.

Uma árvore que apresenta madeira muito utilizada no mercado interno, especialmente pelo emprego na construção rural, civil e na produção de lenha e carvão. Contudo a produção comercial de mudas dessa espécie via seminífera ao longo do ano tem sido limitada em razão de as sementes apresentarem recalcitrância. A madeira é própria para construção naval, obras externas como estacas, postes e dormentes, na construção civil como vigas, caibros, batentes e assoalhos, na confecção de móveis de luxo e peças torneadas. (CARVALHO, 2003)

Figura 6 - Angico



Fonte: Instituto Brasileiro de Florestas.

Anadenanthera macrocarpa (Benth.) Brenan (angico-vermelho) é uma espécie arbórea com até 20 m alt., bastante representativa nas caatingas, com utilização muito diversificada: extração de tanino, uso na medicina popular, fabricação de móveis, forragens das folhas fenadas, ornamentação e carvão, entre outras (Tavares 1964; Mors & Rizzini 1965; Andrade-Lima 1970; Rizzini 1971; Pio Correia 1975; Almeida 1993; Cândido & Gomes 1996).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Origem das amostras

As amostras foram gentilmente cedidas pelo Laboratório de Referência em Biocombustíveis Prof. Expedito José de Sá Parente (LARBIO), localizado no Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC), no Campus do Pici - CE, onde foram realizados os experimentos.

4.2 Caracterização dos materiais

Foram analisadas amostras das espécies *Combretum leprosum* Mart. (MOFUMBO) e *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan (ANGICO) quanto as propriedades: teor de umidade, poder calorífico superior, teor de cinzas, materiais voláteis e teor de carbono fixo. Todas as análises foram feitas em duplicata.

4.2.1 Determinação do teor de umidade

É definido como a massa de água contida na biomassa e pode ser expressa tanto na base úmida quanto na base seca. Portanto, na apresentação de resultados, é necessário expressar em que base os resultados são apresentados.

Biomassa originária de produção agrícola possui teor de umidade entre 5–30% base úmida (NOGUEIRA; RENDEIRO, 2008).

Para a determinação do teor de umidade, seguiu-se o procedimento descrito na Norma ABNT NBR 14929. Utilizou-se uma balança da marca Marte, modelo ID-200, para determinação da umidade. Nela, pesou-se a massa úmida de cada amostra, com uma precisão de $\pm 0,01$ g, logo após a balança foi ligada a uma temperatura de 105 ± 5 °C, esperou-se a massa da amostra estabilizar, e foi feita uma nova pesagem, obtendo-se a massa seca. Os teores de umidade foram obtidos pela diferença entre as massas da amostra, antes e após a secagem, como mostra as Equações 1(a) e 1(b).

$$T_u = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \% \quad (a) \quad T_s = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 \% \quad (b) \quad (1)$$

Nas quais:

T_u = teor de umidade da amostra em base úmida (% b_u);

T_s = teor de umidade da amostra em base seca (% b_s);

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

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

4.2.2 Determinação do teor de materiais voláteis

O cadinho de platina é levado ao Forno Mufla, marca Quimis, para retirada de qualquer impureza onde fica por 15 minutos. Após a retirada da umidade da amostra, uma amostra de aproximadamente 1 g foi colocada em um cadinho de platina e levada para a mufla a qual foi aquecida até 900 °C. Coloca-se o cadinho sobre a tampa durante três minutos, e logo após mais sete minutos com o cadinho dentro do forno com a tampa fechada, em conformidade com as normas *ABNT NBR 8112 e ASTM D3175*.

Posteriormente, a amostra foi inserida em um dessecador para resfriar e depois pesado. Os teores de voláteis foram obtidos pela diferença entre os pesos das amostras, antes e após o aquecimento no Forno Mufla, através da Equação 2.

$$T_v = \frac{m_2 - m_3}{m_2} \times 100 \% \quad (2)$$

Na qual:

T_v = teor de voláteis, em porcentagem (%);

m_2 = massa inicial da amostra, sem umidade (g);

m_3 = massa final da amostra, após aquecimento no forno mufla (g).

4.2.3 Determinação do teor de cinzas

Uma amostra de aproximadamente 5 g foi colocada no forno mufla a uma temperatura de 525 °C, durante 4 horas, após isso a amostra foi retirada e resfriada no dessecador, conforme as normas *ABNT NBR 13999 e ASTM D3174*. O teor de cinzas foi calculado utilizando a Equação 3.

$$T_c = \frac{m_2 - m_3}{m_2} \times 100 \% \quad (3)$$

Na qual:

T_c = teor de cinzas, em porcentagem (%);

m_2 = massa inicial da amostra, *in natura* (g);

m_3 = massa final da amostra, após aquecimento no forno mufla (g).

4.2.4 Determinação do teor de carbono fixo

Para determinar o teor de carbono fixo, são necessários os valores do teor de materiais voláteis e o teor de cinzas. Essa relação é descrita na Equação 4.

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

Na qual:

T_{cf} = teor de carbono fixo, em porcentagem (%);

T_v = teor de voláteis, em porcentagem (%);

T_c = teor de cinzas, em porcentagem (%).

4.2.5 Determinação do poder calorífico superior

De acordo com a norma *ASTM E711-87*, o poder calorífico superior foi determinado utilizando amostras de aproximadamente 1 g, as quais foram colocadas em uma bomba calorimétrica da marca IKA, modelo C1 (Figura 7). O procedimento demanda aproximadamente 15 minutos.

Figura 7 - Bomba calorimétrica IKA, modelo C1.



Fonte – Autor.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos foram teor de materiais voláteis, poder calorífico superior, teor de umidade, cinzas e carbono fixo, e estão apresentados na Tabela 1, levando em consideração a média dos resultados das duas amostras.

Tabela 1 – Análise das amostras do Mofumbo e Angico.

Amostras	Voláteis (%)	Poder Calorífico (MJ/Kg)	Umidade (%)	Cinzas (%)	Carbono Fixo (%)
Mofumbo	75,3615	17,7895	8,7	2,12	22,5185
Angico	82,275	16,755	12,85	2,67	15,055

Fonte: Autor.

5.1 Teor de umidade

Uma alta umidade influencia negativamente no poder calorífico, ao se tratar de potencial energético. Com o aumento do teor de umidade há também um aumento das perdas energéticas. (THÖRNQVIST, 1984)

Os teores de umidade encontrados para o Mofumbo foram de 8,3% e 9,1%, com uma média de 8,7%, como podemos observar na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados de umidade para o Mofumbo.

Amostras	Massa Pesada (g)	Massa Após Secagem (g)	Massa de Água (g)	Umidade (%)
Amostra 1	5,07	4,65	0,42	8,3
Amostra 2	5,04	4,58	0,46	9,1

Fonte – Autor.

Para as amostras de Angico, observou-se teores de umidade de 12,4% e 13,3%, com um valor médio de 12,85%. (Tabela 3)

Tabela 3 – Resultados de umidade para o Angico

Amostras	Massa Pesada (g)	Massa Após Secagem (g)	Massa de Água (g)	Umidade (%)
Amostra 1	5,04	4,42	0,62	12,4
Amostra 2	5,01	4,34	0,67	13,3

Fonte – Autor.

O alto teor de umidade faz com que a combustão, quando comparado com a amostra seca, seja menos energética. Valores acima de 50% para o teor de umidade são determinantes para a não utilização da biomassa, pois, acima deste valor, a energia liberada é insuficiente para a combustão (KLAUTAU, 2008).

Nenhuma das amostras apresentou umidade acima de 50%, logo aptas para utilização como fonte energética, a madeira do Mofumbo apresentou menor umidade.

5.2 Teor de materiais voláteis

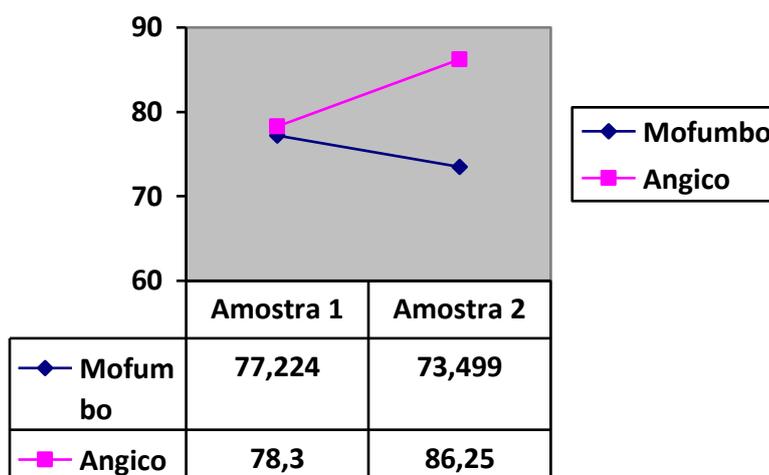
Os valores obtidos por meio da análise imediata são importantes, principalmente quando se faz a queima direta da madeira (combustão), pois essas variáveis afetam a velocidade de queima, bem com a homogeneidade da chama na câmara de combustão, por influenciar as fases da reação de oxidação. A porcentagem de materiais voláteis na madeira expressa a sua queima no estado gasoso e esses são compostos, principalmente, de hidrogênio, hidrocarbonetos, CO e CO₂. (SANTOS; CARNEIRO; PIMENTA; CASTRO; MARINHO; TRUGILHO; ALVES; CASTRO, 2013)

De acordo com Smith (1976), citado por Brito e Barrichelo (2006), materiais combustíveis que apresentam altos teores de materiais voláteis são mais fáceis de serem oxidados e queimam mais rapidamente.

O Mofumbo apresentou teores de voláteis de 77,224% e 73,499%, com um valor médio de 75,3615%. Já para o Angico, observou-se teores de 78,3% e 86,25%, tendo uma média de 82,275%.

O Gráfico 1 ilustra os valores obtidos para as duas amostras de cada madeira.

Gráfico 1 – Teor de matérias voláteis para Mofumbo e Angico.



Fonte – Autor.

5.3 Teor de cinzas

Um alto teor de cinzas leva a uma diminuição da eficiência devido ao aumento do consumo de oxigênio para derreter as cinzas (VIEIRA, 2013).

Segundo Hoffmann *et al.* (2010), o teor de cinzas afeta negativamente o poder calorífico da madeira. Ele diminui a eficiência da combustão devido ao aumento do consumo de oxigênio para derreter as cinzas, além de prejudicar a transferência de calor.

Esta característica da madeira é importante, pois serão necessárias menos limpezas em fornalhas e em outros sistemas onde a madeira é utilizada como fonte de energia (Oliveira, 2003).

Na análise do Mofumbo, obteve-se um teor de cinzas médio de 2,12%, valor um pouco superior ao encontrado na literatura, que, segundo SANTOS; CARNEIRO; PIMENTA; CASTRO; MARINHO; TRUGILHO; ALVES; CASTRO (2013) é de aproximadamente 1,1%.

Já para o Angico, as análises apresentaram um valor médio de 2,67%. De acordo com Paes *et al.* (2013) o teor de cinzas do Angico é de 2,10%.

Na Tabela 4 encontram-se os resultados obtidos para o teor de cinzas das duas madeiras.

Tabela 4 – Teor de cinzas para Angico e Mofumbo.

Amostras	Análise 1 (%)	Análise 2 (%)	Média (%)
Mofumbo	1,55	2,69	2,12
Angico	3,11	2,23	2,67

Fonte – Autor.

5.4 Teor de carbono fixo

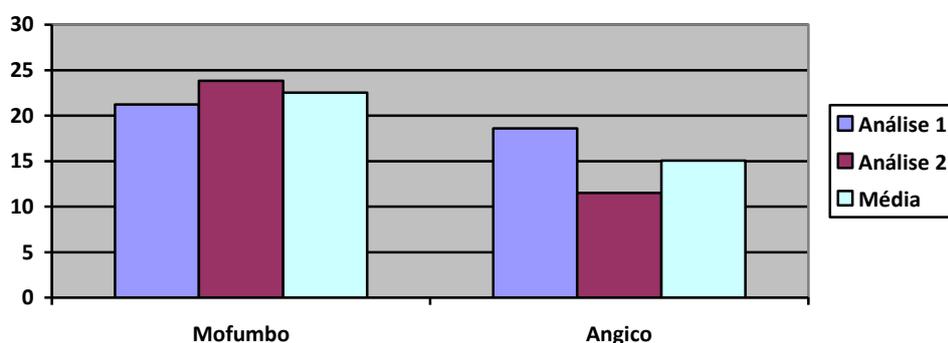
O percentual de carbono fixo presente estabelece a quantidade de calor gerado, sendo que quanto maior este percentual mais lentamente o combustível irá queimar (STURION; PEREIRA; CHEMIN, 1988).

O teor de carbono fixo expressa sua queima no estado sólido e é responsável pela formação da massa amorfa. Na análise do Mofumbo encontrou-se um valor médio de 22,5185% de carbono fixo, na literatura, que, segundo SANTOS; CARNEIRO; PIMENTA; CASTRO; MARINHO; TRUGILHO; ALVES; CASTRO (2013) é de aproximadamente 15%.

Para o Angico, apresentou-se um valor médio de 15,055%.

O Gráfico 2 ilustra os valores obtidos para as duas amostras.

Gráfico 2 – Teor de carbono fixo Mofumbo e Angico.



Fonte – Autor.

5.5 Poder calorífico superior

O poder calorífico é um excelente parâmetro para se avaliar a potencialidade energética de combustíveis de biomassa (Protásio et al., 2011; Brand, 2010; Friedl et al., 2005; Parikh et al., 2005), sendo definido como a quantidade de energia liberada na combustão completa de uma unidade de massa do material combustível e apresenta significativa dependência da constituição química elementar e mineral da biomassa (Protásio et al., 2011).

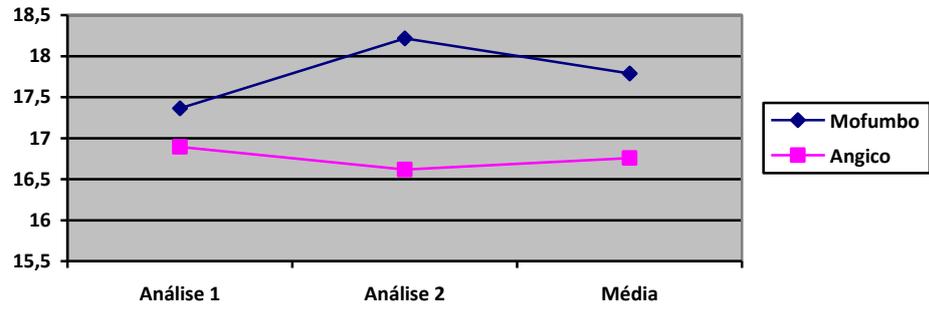
Comparando os resultados obtidos para as duas biomassas, o Mofumbo foi o que obteve maior poder calorífico superior em média (17,7895 MJ/kg), que não diferiu significativamente do Angico (16,755 MJ/kg).

Conclui-se que o poder calorífico das espécies analisadas, são satisfatórios do ponto de vista energético.

Pela literatura, segundo SANTOS; CARNEIRO; PIMENTA; CASTRO; MARINHO; TRUGILHO; ALVES; CASTRO (2013) o poder calorífico do Mofumbo é de aproximadamente 19,2464 MJ/kg. Para o Angico, segundo Paes *et al.* (2013) o poder calorífico superior é de 18,827 MJ/kg, não diferindo muito dos valores encontrados na análise.

Através do Gráfico 3 podemos observar os valores obtidos para cada amostra.

Gráfico 3 – Poder calorífico superior para Angico e Mofumbo.



Fonte – Autor.

6 CONCLUSÃO

Pode-se concluir, após as análises de biomassa, que as espécies de Mofumbo e Angico tem bom potencial energético e podem ser utilizadas como fonte de energia, para que se diminua a dependência de combustíveis fósseis e reduza os males causados ao meio-ambiente.

O Mofumbo apresentou os melhores resultados para utilização como combustível sólido, com um poder calorífico superior de 17,7895 MJ/kg, teor de materiais voláteis de 75,3615%, teor de cinzas 2,12%, teor de umidade de 8,7% e teor de carbono fixo 22,5185%.

Em contrapartida, o Angico apresentou melhor teor de voláteis, com um valor de 82,275%, porém com maior teor de cinzas (2,67%) e maior teor de umidade (12,85%), um bom poder calorífico superior de 16,755 MJ/kg e teor de carbono fixo de 15,055%.

REFERÊNCIAS

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

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) **Determinação do resíduo de cinza após a incineração a 525°C**, NBR 13999. 2003.

ASTM E711-87 **Standard Test Method for Gross Calorific Value of Refuse-Derived Fuel by the Bomb Calorimeter**, ASTM Internacional, West Conshohocken, PA, 2004.

ASTM D3173 **Standart Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke**, ASTM Internacional, West Conshohocken, PA, 2011.

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

GOMES, P. A. **Teoria da carbonização da madeira**, In: Uso da madeira para fins energéticos, Belo Horizonte: CETEC, v.1,1980. p.27 – 42.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia e meio ambiente no Brasil - Estudos Avançados** 21 (59), 2007.

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

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Biblioteca Universitária. **Guia de normalização de trabalhos acadêmicos da Universidade Federal do Ceará**. Fortaleza, 2013.

LIPPEL. **BIOMSSA**. Disponível em: <<http://www.lippel.com.br/br/industrias/biomassa>> Acesso em: 2 de outubro de 2018.

PORTAL-ENERGIA. **VANTAGENS E DESVANTAGENS DA ENERGIA BIOMASSA.** Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/vantagens-e-desvantagens-da-energia-biomassa/>> Acesso em: 2 de outubro de 2018.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/>> Acesso em: 2 de outubro de 2018.

BARRETO, E. J. F.; RENDEIRO, G.; NOGUEIRA, M. **Combustão e Gaseificação de Biomassa Sólida.** Brasília: Ministério de Minas e Energia. 2008.

PAES, J. B.; LIMA, C. R.; OLIVEIRA, E.; NETO, P. N. M. **Características físico-química, energética e dimensões das fibras de três espécies florestais do semiárido brasileiro.** Floresta Ambient. vol.20 no.4 Seropédica Oct./Dec. 2013 Epub Aug 16, 2013.

SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A.C.O; PIMENTA, A. S.; CASTRO, R. V. O.; MARINHO, I. V.; TRUGILHO, P. F.; ALVES, I. C. N.; CASTRO, A. F. N. M. **POTENCIAL ENERGÉTICO DA MADEIRA DE ESPÉCIES ORIUNDAS DE PLANO DE MANEJO FLORESTAL NO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 493-504, abr.-jun., 2013.

VALE, A. T.; MOREIRA, A. C. O; MARTINS, I. S. **Avaliação do Potencial Energético de *Bambusa vulgaris* em Função da Idade.** Floresta Ambient. vol.24 Seropédica 2017 Epub July 17, 2017.

PROTÁSIO, T. P.; ALVES, I. C. N.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; BALIZA, A. E. R. **Compactação de Biomassa Vegetal Visando à Produção de Biocombustíveis Sólidos.** Pesquisa Florestal Brasileira.

TAVARES, S. R. L.; SANTOS, T. E. **USO DE DIFERENTES FONTES DE BIOMASSA VEGETAL PARA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS SÓLIDOS.** HOLOS, Ano 29, Vol. 5.

SILVA, L. M. B.; BARBOSA, D. C. A. **CRESCIMENTO E SOBREVIVÊNCIA DEANADENANTHERA MACROCARPA (BENTH.) BRENNAN (LEGUMINOSAE), EM UMA ÁREA DE CAATINGA, ALAGOINHA, PE.** Acta Bot. Bras. vol.14 no.3 São Paulo Sept./Dec. 2000.

DIAS, P.C.; XAVIER, A.; OLIVEIRA, L. S.; CORREIA, A. C. G.; BARBOSA, G. A. **TIPO DE MINIESTACA E DE SUBSTRATO NA PROPAGAÇÃO VEGETATIVA DE ANGICO-VERMELHO (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan).** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 25, n. 4, p. 909-919, out.-dez., 2015.

OLIVEIRA, D. M.; RIBEIRO, M. C. C.; BENEDITO, C. P.; PAIVA, E. P.; SÁ, F. V. S. **Estaquia para propagação vegetativa do mofumbo.** Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável Artigo Científico, ISSN 1981-8203.

RIBEIRO, G. B. D.; ISBAEX, C.; VALVERDE, S. R. **Produção de biomassa florestal para energia em sistemas agroflorestais.** Pesquisa Florestal Brasileira.

GOLDEMBERG, J. **Biomassa e energia.** Quím. Nova vol.32 no.3 São Paulo 2009.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia e meio ambiente no Brasil.** Estud. av. vol.21 no.59 São Paulo Jan./Apr. 2007.

VICHI, F. M.; MANSOR, M. T. C.; **Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial.** Quím. Nova vol.32 no.3 São Paulo 2009.

OLIVEIRA, K. C.; ZANIN, V. **A Bioeconomia e os Biocombustíveis no cenário Brasileiro.** Revista iPecege 1(2): 23-43, 2015.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. **Matriz energética brasileira: uma prospectiva.** Novos estud. - CEBRAP no.79 São Paulo Nov. 2007.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Matriz Energética e Elétrica.**
<<http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>> Acesso em: 4 de outubro de 2018.

ENERGIAS RENOVÁVEIS. **CONVERSÃO BIOMASSA SÓLIDA.**
<http://energiasrenovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID_conteudo=2&ID_area=2&ID_sub_area=2> Acesso em: 4 de outubro de 2018.