



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

FABRICIO OLIVEIRA RAMOS GONDIM

**POTENCIAL ENERGÉTICO DAS ESPÉCIES *Mimosa tenuiflora* (Willd) Poir E
Prosopis juliflora.**

FORTALEZA

2018

FABRICIO OLIVEIRA RAMOS GONDIM

POTENCIAL ENERGÉTICO DAS ESPÉCIES *Mimosa tenuiflora* (Willd) Poir E *Prosopis juliflora*.

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

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Maria Alexandra 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)

- G635p Gondim, Francisco Oliveira Ramos.
Potencial energético das espécies *Mimosa tenuiflora* (Willd) Poir e *Prosopis juliflora*. / Francisco Oliveira Ramos Gondim. – 2018.
34 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 Alexsandra Sousa Rios.
1. Biomassa. 2. Potencial energético. 3. Combustível sólido. I. Título.

CDD 620.1

FABRICIO OLIVEIRA RAMOS GONDIM

POTENCIAL ENERGÉTICO DAS ESPÉCIES *Mimosa tenuiflora* (Willd) Poir E *Prosopis juliflora*.

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

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

Aprovada em: ___/___/___

BANCA EXAMINADORA

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

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Aos nossos pais e familiares, que foram grandes incentivadores e que sempre acreditaram nos nossos sonhos.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

Aos meus pais, Nely de Oliveira Gondim e Edmar Ramos Gondim, e minha irma, Fabiana Oliveira Ramos Gondim, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

À professora Maria Alexsandra pela orientação, apoio e confiança, e também por disponibilizar as instalações do Laboratório de Referência em Biocombustíveis (LARBIO) para o desenvolvimento deste trabalho.

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

Aos meus amigos do curso de Engenharia Mecânica, Henrique Belchior, Felipe Martins, Gustavo Baltazar, Rafael Vasconcelos, Vinicius Varela, Mateus Lopes, Samyo Costa, João Victor Cavalcante, Kaique Castro, Leonardo Nery, Cairo Alcântara e Tiago Siqueira.

A Universidade Federal do Ceará pela oportunidade de fazer o curso.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.” - Charles Chaplin

RESUMO

Os problemas ambientais provocados pelo uso dos combustíveis fósseis e a constante subida do seu preço têm aumentado a procura de energias renováveis. O Brasil é considerado um país com grande potencial, onde podemos destacar sua extensão territorial que pode ser aproveitada para cultivar diversas espécies de plantas com finalidade de produção de Biomassa. Entretanto, não são todas as espécies que possuem potencial energético para esse fim. Há necessidade de realizar um estudo aprofundado com diversos testes para uma real análise do poder energético. Pesquisadores da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC) tem investigado o uso diversos tipos de madeiras de planta para tal fim. Neste presente estudo foi realizada análise em amostra de **Jurema-Preta** (*Mimosa tenuiflora* (Willd) Poir.) e **Algaroba** (*Prosopis juliflora*), espécies que possuem pequena exigência em água e comprovada capacidade de se desenvolver em solos de baixa fertilidade, característica notória de grande parte do estado Ceará. Este estudo foi realizado com a intenção de investigar o potencial energético dessas duas espécies, analisando teor de materiais voláteis, teor de cinzas, teor de umidade e poder calorífico com os quais se conseguiu concluir que as espécies estudadas são muito viáveis para utilização na obtenção de energia.

Palavras-chave: Biomassa. Potencial energético. Combustível sólido.

ABSTRACT

The environmental problems caused by the use of fossil fuels and the steady increase in their price have increased the demand for renewable energies. Brazil is considered a country with great potential, where we can highlight its territorial extension that can be harnessed to cultivate diverse species of plants with purpose of production of Biomass. However, they are not all species that have energetic potential for this purpose. There is a need to carry out an in-depth study with several tests for a real analysis of energy power. Researchers from the Nucleus of Industrial Technology of Ceará (NUTECH), an organ linked to the state public administration, has investigated the use of different types of plant wood for this purpose. In this study, a sample of Jurema-Preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd) Poir.) And Alga-roba (*Prosopis juliflora*) were sampled, species with a low water requirement and a proven ability to grow on low fertility soils , a notorious feature of much of the state of Ceará. The objective of this study was to investigate the energy potential of these two species, analyzing the volatile materials content, ash content, moisture content and calorific value with which it was possible to conclude that the studied species are very viable for use in obtaining energy.

Keywords: Biomass. Energy potential. Solid fuel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matriz energética do Brasil.....	17
Figura 2 – Matriz energética com o tempo.....	18
Figura 3 – Matriz energética no Brasil e no mundo.....	18
Figura 4 – Ciclo energético da biomassa.....	19
Figura 5 – Jurema-Preta.....	21
Figura 6 – Algaroba.....	22
Figura 7 – Calorímetro IKA C200.....	26
Figura 8 – Comparativo de teor de umidade (%)	28
Figura 9 – Comparativo de Teor de carbono fixo (%)	31
Figura 10 – Comparação do poder calorífico para a Jurema-Preta.....	32
Figura 11 – Comparação do poder calorífico para a Algaroba.....	32
Figura 12 – Resultados da análise imediata para Jurema-Preta e Algaroba.....	33
Figura 13 – PCS <i>versus</i> umidade para Jurema-Preta e Algaroba.....	33

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Teor de umidade da Jurema-Preta e da Algaroba.....	27
Tabela 2 – Teor de materiais voláteis da Jurema-Preta e da Algaroba.....	29
Tabela 3 – Teor de carbono fixo Jurema-Preta e da Algaroba.....	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BEN	Balanco Energético Nacional
ANP	Agência Nacional de Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis
MME	Ministério de Minas e Energia
IBA	Indústria Brasileiro de Árvores
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária
IBF	Instituto Brasileiro de Florestas
LARBIO	Laboratório de Referência em Biocombustíveis Prof. Expedito José de Sá Parente
NUTEC	Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
SEAGRI	Secretaria de Estado da Agricultura, Desenvolvimento Agrário e da Pesca

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	12
2	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivo geral	13
2.2	Objetivos específicos	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1	Energia Renovável	14
3.2	Biomassa	16
3.3	Espécies estudadas	18
4	MATERIAIS E MÉTODOS	21
4.1	Origem das amostras	21
4.2	Caracterização dos materiais	21
4.2.1	<i>Determinação do teor de umidade</i>	21
4.2.2	<i>Determinação do teor de materiais voláteis</i>	23
4.2.3	<i>Determinação do teor de cinzas</i>	24
4.2.4	<i>Determinação do teor de carbono fixo</i>	25
4.2.5	<i>Determinação do poder calorífico superior</i>	25
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5.1	Teor de umidade	26
5.2	Teor de materiais voláteis	27
5.3	Teor de cinzas	29
5.4	Teor de carbono fixo	29
5.5	Poder calorífico superior	30
5.6	Análise comparativa	33
7	CONCLUSÃO	35
	REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

Na busca pela redução dos impactos ambientais e sociais produzidos pelas fontes de energia tradicionais e procurando a conservação dos recursos naturais iniciou-se a procura por fontes de energia alternativas com baixo custo ambiental, também chamadas energias renováveis. Tais energias não prejudicam a natureza ou possuem um dano significativamente menor, e entre elas podemos citar a energia eólica, energia das ondas e mares, energia solar, biomassa, e geotérmica, gradativamente essas energias vem conquistando espaço e concorrendo com as energias já existentes.

A biomassa tem sido cogitada como uma das alternativas aos combustíveis fósseis por serem oriundas de resíduos orgânicos, que podem ser de origem animal, vegetal ou urbano, de alta eficiência energética, com baixo custo de aquisição, que possuem fácil armazenamento, menor risco de desastres ambientais e baixo nível de poluição (VASCONCELOS 2017).

Há menos de 50 anos a biomassa gerava mais de 50% da energia consumida no Brasil, por meio da queima da madeira. E era considerada, até certo tempo, um indício de atraso econômico e tecnológico (CORTEZ; LORA; GÓMEZ, 2008).

Ainda existem muitas possíveis fontes de energia de origem vegetal com pouco ou nenhum estudo de potencial energético, assim o objetivo deste trabalho foi realizar uma análise imediata para as espécies *Mimosa tenuiflora (Willd) Poir (Jurema-Preta)* E *Prosopis juliflora (Algaroba)*, baseado nas propriedades de teor de umidade, teor de materiais voláteis, teor de cinzas, carbono fixo e Poder Calorífico Superior.

Também se almeja com esse estudo utilizar as informações das análises calculadas para a construção de um banco de dados onde possa ser utilizada para futuros estudos sobre a espécie.

.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este trabalho teve como objetivo geral a investigação do potencial energético das espécies Jurema-Preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd) Poir.) e Algaroba (*Prosopis juliflora*).

2.2 Objetivos específicos

- Determinar o teor de materiais voláteis, cinzas, umidade
- Determinar o Poder Calorífico Superior

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

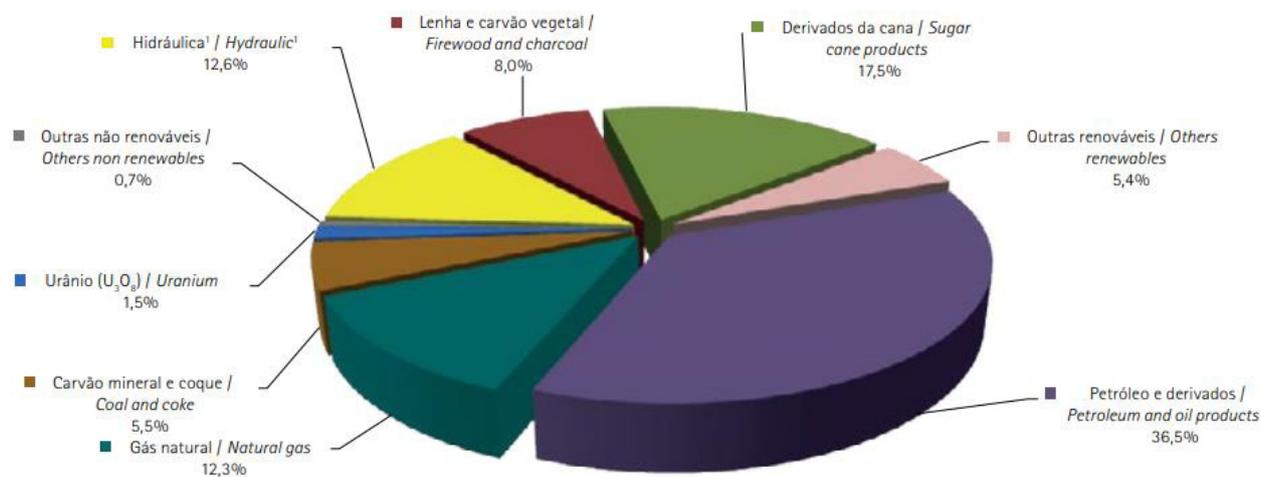
3.1 Energia renovável

Energia é essencial para a vida. Primitivamente era obtida da lenha e aos poucos seu uso foi crescendo e criando a necessidade de outras fontes o que nos levou aos combustíveis fósseis que além de serem finitos e não renováveis em tempo viável (pois demoram milhões de anos para serem gerados na natureza) geram, para se obter energia, poluentes e gases de efeito estufa (Goldemberg; Lucon, 2007).

À procura de fontes mais eficientes e menos impactantes, o mundo tem buscado novas e diferentes alternativas e vem procurando priorizar as mais limpas. Como resultado, as que mais têm se destacado são as fontes ditas como renováveis, que em pesquisas do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos feitas em 2001, já se destacava em sua crescente utilização no mundo como insumo energético (CGEE, 2001).

No Brasil, apesar de se ter condições muito favoráveis ao uso de energias renováveis ainda se faz muito uso de combustíveis fósseis como se pode ver no Gráfico 1.

Figura 1 – Matriz energética do Brasil

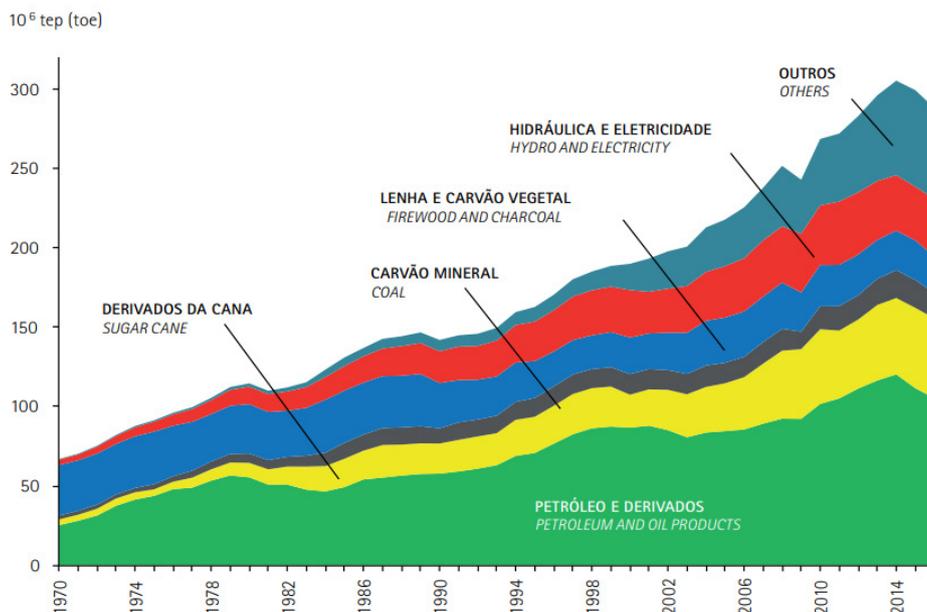


Fonte: Balanço Energético Nacional (2017)

Pode-se observar na Figura 1 que mais da metade do consumo de energia no Brasil, cerca de 56,5% se dá por meio de fontes não renováveis.

Mesmo sendo um número tão expressivo o percentual de uso de energia não renovável tem diminuído no país apesar de a quantidade absoluta ter aumentado como se pode notar na Figura 2.

Figura 2 – Matriz energética Brasileira de 1970 a 2016.

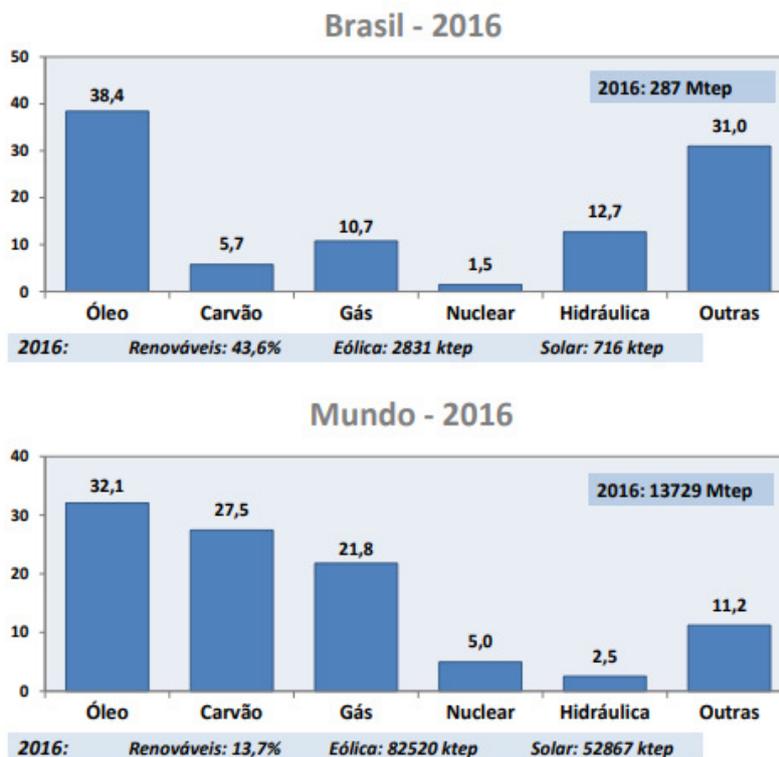


Fonte: Balanço Energético Nacional (2017)

Na Figura 2 o eixo vertical representa a quantidade de energia em toneladas equivalentes de petróleo (que equivale a quantidade de energia liberada na queima de uma tonelada de petróleo cru), enquanto o eixo horizontal representa o passar dos anos.

A Figura 3 mostra um comparativo da matriz energética brasileira frente a matriz mundial.

Figura 3 – Matriz energética no Brasil e no mundo em 2016.



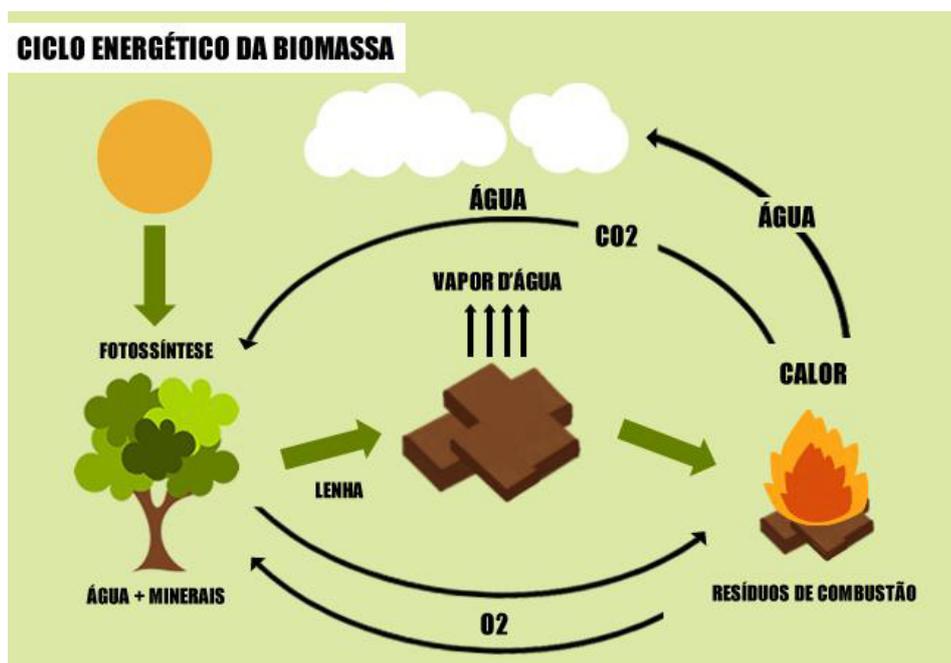
Fonte: Ministério de Minas e Energia (Energia no mundo 2016)

Pode-se observar por meio da Figura 3 que o Brasil tem em sua matriz um percentual de energias renováveis mais de três vezes maior que a média mundial sendo assim referência no cenário, sendo o terceiro maior gerador de energias renováveis segundo dados da Agência Internacional de Energia.

3.2 Biomassa

Biomassa é todo material orgânico não fóssil, de origem vegetal ou animal, que pode ser utilizado como fonte de energia renovável. Ela é uma forma indireta de energia solar, uma vez que a energia solar é convertida em energia química, através da fotossíntese, que constitui a base dos processos biológicos de todos os seres vivos (VASCONCELOS, 2017). Essa transformação ocorre através do ciclo de carbono no qual a planta absorve o dióxido de carbono (CO_2) e, por meio da fotossíntese, transforma-o em hidratos de carbono (que compõe sua massa viva), liberando oxigênio ao meio ambiente. A Figura 4 mostra uma esquematização do que acontece no ciclo.

Figura 4 – Ciclo energético da biomassa



Fonte: Sítio Energia Sol Renovável¹

Uma característica particular do Brasil é o desenvolvimento industrial em grande escala e a aplicação das tecnologias de energia de biomassa. Bons exemplos disso são: a produção do etanol a partir da cana-de-açúcar, o carvão vegetal oriundo de plantações de eucalipto, a cogeração de

¹ Disponível em <<https://energiasolarrenovavel.wordpress.com/2017/04/08/energias-renovaveis-vantagens-e-desvantagens-da-energia-a-biomassa>> Acesso em ago. 2018.

eletricidade do bagaço de cana e o uso da biomassa em indústrias de papel e celulose (cascas e resíduos de árvores, serragem, licor negro etc.).

Goldemberg e Lucon (2007), descrevem em seu trabalho que a utilização de biomassa no Brasil é resultado de uma combinação de fatores, incluindo a disponibilidade de recursos e mão-de-obra baratas, rápida industrialização e urbanização e a experiência histórica com aplicações industriais dessa fonte de energia em grande escala. Aproximadamente 75% do álcool produzido é proveniente do caldo de cana (com rendimento próximo de 85 litros por tonelada de cana). Os restantes 25% têm origem no melaço resultante da produção de açúcar (rendimento próximo de 335 litros por tonelada de melaço).

Em 2004, a produção total de bagaço ficou próxima de 110 milhões de toneladas, gerando um excedente de 8,2 milhões de toneladas para usos não-energéticos. Os produtos energéticos resultantes da cana contribuíram com 13,5% da matriz energética brasileira de 2004. Nesse mesmo ano, o setor residencial consumiu cerca de 26 milhões de toneladas de lenha, equivalentes a 29% da produção. O consumo tem crescido nos últimos anos pelo aumento dos custos do seu substituto direto, o gás liquefeito de petróleo (GLP), vendido em botijões. Na produção de carvão vegetal foram consumidas cerca de 40 milhões de toneladas (44% da produção), em razão principalmente do forte crescimento da produção de ferro gusa e substituição do carvão mineral. Os restantes 17% representam consumos na agropecuária e demais setores da indústria. A lenha e o carvão vegetal representaram 13,2% da matriz de 2004, resultado 0,3% acima de 2003 (GOLDEMBERG; LUCON, 2007).

3.3 Espécies estudadas

3.3.1 Jurema-Preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd) Poir.)

Segundo FILHO *et al.* (2001) a jurema-preta é uma leguminosa facilmente encontrada na caatinga, altamente resistente à seca, com grande capacidade de rebrota durante todo o ano e, de acordo com Vieira *et al.* (1998), caprinos e ovinos apresentaram boa aceitabilidade à jurema-preta, seja *in natura*, seja fenada.

Segundo Faria (1984), a espécie jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd) Poir.) é pioneira, nativa da região semiárida, apresenta sistema radicular profundo, que permite o seu desenvolvimento em solos degradados, notadamente, na ocupação inicial e secundária das áreas degradadas ou em processo de degradação.

Ainda segundo Faria (1984), A árvore apresenta um porte arbustivo geralmente bifurcada com galhos baixos, alcançando uma altura média de 4,5 m. com a idade de 5 anos. Apresenta espinhos no caule e uma casca rugosa com fendas longitudinais pouco fibrosas. As folhas são

bipinadas (folhas as quais do raque principal saem ramificações que sustentam os folíolos) e flores dispostas em espigas de cor amarela esbranquiçada. O fruto é uma vagem pequena de tegumento fino e quebradiço quando maduro. A copa da árvore é relativamente densa e o diâmetro máximo do tronco situa-se entre 15-20 cm. O cerne é castanho avermelhado produzindo excelente lenha e carvão. A espécie possui abundante sementeação e sua regeneração pode ser por sementeação e brotação após o corte do tronco. Possui facilidade de adaptação a quaisquer condições edáficas, mesmo em solos secos, pedregosos e mineralizados (FARIA, 1984). A Figura 5 mostra uma árvore de Jurema-Preta.

Figura 5 – Árvore de Jurema-Preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd) Poir.)



Fonte: AGEITEC (Agência Embrapa de Informação Tecnológica, 2010)

3.3.2 Algaroba (*Prosopis juliflora*)

Comumente conhecida no Brasil como algaroba ou algarobeira, a *Prosopis juliflora* pertence à família das leguminosas. As diversas plantas pertencentes à família Leguminosae possuem como fonte de energia para o embrião, um endosperma composto por um polissacarídeo neutro denominado galactomanana, dotado de interesse para diferentes segmentos da indústria (AZERO; ANDRADE, 1999). A algaroba foi introduzida no Brasil em Serra Talhada, PE, em meados de 1942. Por se adaptar facilmente a regiões áridas e semiáridas, principalmente em regiões onde as precipitações pluviométricas estejam entre 150 a 1200 mm anuais e a temperatura média anual superior a 20 °C, disseminou-se com facilidade por todo Nordeste brasileiro e é nessa região onde é

cultivada. Apresenta altura entre 6 a 15 metros e possui vagens ou frutos secos que variam muito quanto ao peso, forma e tamanho. O interior das vagens contém, em média, vinte sementes, com elevada dureza e protegidas por uma resistente camada fibrosa, denominada cápsula (RIBASKY, et al., 2009; OLIVEIRA, et al., 1999). Pode-se observar por meio da Figura 6 um pé de Algaroba.

Figura 6 – Árvore de Algaroba (*Prosopis juliflora*)



Fonte: <https://www.alingua.com.br/2018/04/fernando-bezerra-e-a-algaroba-de-pernambuco>, acesso em 18/10/2018

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Origem das amostras

As amostras foram gentilmente cedidas pelo LARBIO (Laboratório de Referência em Biocombustíveis Professor Expedito José de Sá Parente), localizado na Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC).

4.2 Caracterização dos materiais

As caracterizações físico-químicas foram realizadas no LARBIO (Laboratório de Referência em Biocombustíveis Professor Expedito José de Sá Parente).

Foram analisadas amostras das espécies *Mimosa tenuiflora* (Willd) Poir (**Jurema-Preta**) e *Prosopis Juliflora* (**Algaroba**) quanto as seguintes propriedades: materiais voláteis, teor de umidade, teor de cinzas e Poder Calorífico Superior. As análises foram feitas em duplicata.

4.2.1 Determinação do teor de umidade

Segundo Ladeira (1992), a umidade da madeira é um fator importante e deve ser muito bem observado no processo de carbonização (podendo produzir um carvão friável e quebradiço). O processo de secagem consome muita energia, que é fornecida por parte da queima da lenha dentro do forno, ou da câmara de combustão externa, a depender do modelo do forno. Quanto mais úmida a madeira maior será a energia necessária para secá-la. A presença de água representa redução do rendimento da carbonização, em razão da lenha que deve ser queimada para gerar energia para a secagem.

Foi seguido o procedimento da norma ASTM D3173 para se determinar o teor de umidade. Para determinação do teor de umidade foi utilizado um medidor de utilidade modelo ID-200 – Marte. Por meio do medidor foi obtida a massa úmida das amostras. Feito isso, ligou-se a resistência elétrica da balança com a finalidade de gerar calor e retirar a umidade da amostra, fazendo-se então uma nova pesagem para se obter a massa seca da amostra. Para se obter o teor de umidade foi feita a diferença de massa antes e depois da secagem pela resistência elétrica de acordo com as Equações 1 e 2 a seguir.

$$T_u = [(m_2 - m_1) / m_1] \times 100\% \quad (\text{Eq. 1})$$

$$T_s = [(m_2 - m_1) / m_2] \times 100\% \quad (\text{Eq. 2})$$

Nas quais:

T_u = teor de umidade da amostra em base úmida, em porcentagem (% bu);

T_s = teor de umidade da amostra em base seca, em porcentagem (% bs);

m_1 = massa inicial da amostra úmida (g);

m_2 = massa final da amostra seca (g).

4.2.2 Determinação do teor de materiais voláteis

De acordo com o Forest Products Laboratory (1953), citado por Bastos Filho (1988) e por Fonsêca (2011), o processo de carbonização da madeira, divide-se nas seguintes fases:

- I. Abaixo de 200 °C – Secagem da madeira;
- II. De 200 a 280 °C – Fase predominantemente endotérmica, com liberação de ácido acético, metanol, água, CO₂, etc;
- III. De 280 a 380 °C – Início da fase dos hidrocarbonetos, emissão do primeiro grupo de substâncias voláteis; IV. De 380 a 500 °C – Fase dos hidrocarbonetos, fase predominantemente exotérmica, em que é formada a maior parte dos alcatrões e gases combustíveis (CO, CH₄, etc.).

Acima de 500 °C, o carvão já é bem estável, e apenas uma pequena quantidade de voláteis, principalmente o H₂, é liberada. As fases da pirólise da madeira podem ser identificadas pela sua perda de massa, que ocorre por influência das reações químicas verificadas na elevação da temperatura (BRITO et al., 1993 apud FONSÊCA, 2011).

Foi seguido o procedimento da norma ASTM D3175 para se determinar o teor de voláteis. Aqueceu-se o forno mufla, da marca Quimis a 900 °C para se colocar uma massa de aproximadamente 1g acondicionada em um cadinho de platina. A amostra permaneceu inicialmente três minutos sobre a tampa do forno aberta e em seguida colocada dentro do forno com a tampa fechada por mais sete minutos.

Após sair do forno mufla, colocou-se o cadinho para resfriar em um dessecador para em seguida pesar a amostra. Para se obter o teor de umidade foi feita a diferença de massa antes e depois do aquecimento no forno por meio da Equação 3.

$$T_v = [(m_2 - m_3) / m_2] \times 100\% \quad (\text{Eq. 3})$$

Na qual:

T_v = teor de voláteis (%);

m_2 = massa inicial da amostra antes de ir para o forno mufla (g);

m_3 = massa final da amostra após ir para o forno mufla (g).

4.2.3 Determinação do teor de cinzas

O teor de cinzas é a relação entre a quantidade de cinzas e a quantidade de carvão que lhe deu origem, correlacionando-se com a constituição química da madeira. Esta quantidade é maior no carvão vegetal de origem nativa devido à variabilidade de espécies (COELHO JUNIOR et al., 2006).

Para se determinar o teor de cinzas, seguiu-se o procedimento da norma NBR 13999. Colocou-se uma amostra de aproximadamente 5g no forno mufla a uma temperatura de 525 °C durante 4 horas. Após sair do forno mufla, colocou-se o cadinho para resfriar em um dessecador para em seguida pesar a amostra. Para se obter o teor de cinzas foi feita a diferença de massa antes e depois do aquecimento no forno por meio da Equação 4.

$$T_c = [(m_2 - m_1) / m_1] \times 100\% \quad (\text{Eq. 4})$$

Na qual:

T_c = teor de cinzas (%);

m_2 = massa inicial da amostra antes de ir para o forno mufla (g);

m_3 = massa final da amostra após ir para o forno mufla (g).

4.2.4 Determinação do carbono fixo

Para se determinar esse teor usou-se a equação 4 que usa como base os valores de teor de voláteis e de cinzas.

$$T_{cf} = 100\% - (T_v + T_c) \quad (\text{Eq. 5})$$

Na qual:

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

T_v = teor de voláteis (%);

T_c = teor de cinzas (%);

4.2.5 Determinação do poder calorífico

Para a determinação do poder calorífico seguiu-se o procedimento da norma ASTM E711-87. Colocou-se uma amostra de aproximadamente 0,5g em um cadinho que foi colocado em Calorímetro marca IKA, modelo C200, Figura 7.

Figura 7 – Calorímetro IKA C200



Fonte: Elaborado pelo autor

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Teor de umidade

O teor de umidade foi calculado em base úmida. Por meio da Tabela 1 pode-se observar os resultados para as duas espécies estudadas, Jurema-Preta (*Mimosa Tenuiflora*) e Algaroba (*Prosopis Juliflora*).

Tabela 1 – Teor de umidade das amostras

Teor de umidade				
Amostra	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Umidade (%)	Média
Jurema-preta 1	5,07	4,63	8,68	10,45%
Jurema-Preta 2	5,07	4,45	12,23	
Algaroba 1	5,03	4,36	13,32	11,77%
Algaroba 2	5,09	4,57	10,22	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a Jurema-Preta, o valor médio de teor de umidade foi de 10,45. Já a Algaroba apresentou valor médio de teor de umidade de 11,77%. Não foram encontrados na literatura valores de umidade para as espécies estudadas, mas pode-se fazer um comparativo com o Eucalipto que é um gênero mais comumente estudado. Calegari et al. (2007), em seu trabalho, encontrou um teor de umidade de 12,86%. Segundo Oliveira et al. (2005) este valor se aproxima de 15,8% (apud VASCONCELOS, 2017).

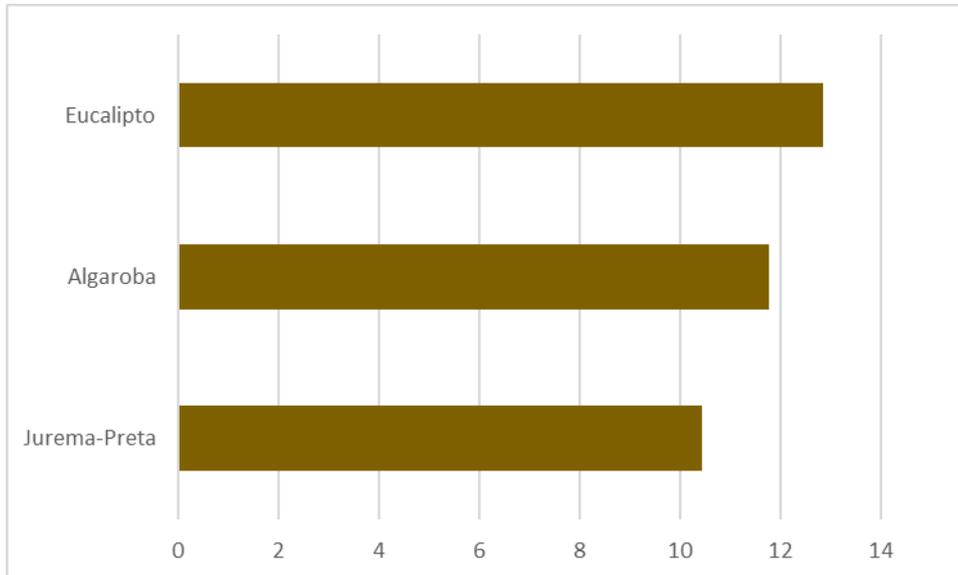
O alto teor de umidade faz com que a combustão, quando comparada com a amostra seca, seja menos eficiente. Valores acima de 50% para o teor de umidade são determinantes para a não utilização da biomassa, pois, acima deste valor, a energia liberada é insuficiente para a combustão (KLAUTAU, 2008).

Assim, os resultados apresentados pelas duas espécies estudadas se mostram próximos daquele encontrado para o eucalipto, sendo ainda melhores do que esse no quesito umidade, já que

possuem valores mais distantes do limite de umidade (50%), que determina a não utilização da biomassa como fonte de energia, segundo a literatura, pois precisar-se-ia de uma etapa de secagem.

Na Figura 4 está apresentado um comparativo de umidade das duas espécies estudadas e a espécie tomada como base para comparação.

Figura 8 – Comparativo de teor de umidade (%)



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2 Teor de materiais voláteis

Os materiais voláteis são despreendidos durante a combustão, oxidando e queimando rapidamente, sendo um material com maior teor de voláteis um melhor combustível (JOSÉ, 2004). O valor encontrado para cada espécie é mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Teor de materiais voláteis das amostras

Teor de voláteis					
Amostra	Massa do recipiente (g)	Massa inicial da amostra (g)	Massa final do conjunto (g)	Materiais voláteis (%)	Média
Jurema-preta 1	69,7530	1,0013	69,9336	81,96	80,97%
Jurema-Preta 2	69,7643	1,004	69,9653	79,98	
Algaroba 1	69,7610	0,9997	69,8879	87,31	92,81%
Algaroba 2	69,8879	1,0195	69,9051	98,31	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a Jurema-Preta, o valor médio de teor de materiais voláteis foi de 80,97%. A Algaroba apresentou valor médio de 92,81%. Oliveira (2003) encontrou em seu trabalho 73,66% para a Jurema-preta e para a Algaroba, Cunha (2012) encontrou um valor médio de 86,96%. Comparando o resultado obtido com os dados existentes na literatura, observou-se uma proximidade entre os valores.

Comparando ainda esses valores com o valor obtido para o Eucalipto, tem-se a confirmação de um nível padrão para uma mesma metodologia de experimentos, já que em seu estudo Barbosa (2017) obteve 86,46%.

As espécies estudadas se mostraram muito boas para geração de energia no quesito de materiais voláteis, já que se encontrou um valor alto, o que significa que provavelmente são bons combustíveis.

5.3 Teor de cinzas

As cinzas são um grande problema nos fornos das grandes indústrias, para tanto, quanto menor for esse teor na madeira, melhor. A cinza é um resíduo mineral proveniente dos componentes minerais do lenho e da casca (VITAL et al., 1986). Geralmente o carvão vegetal apresenta baixo teor de cinzas, quando comparado com o coque mineral (CARMO, 1988).

O teor de cinzas encontrado para as espécies estudadas foram 1,21% para a primeira amostra de Jurema-Preta e 1,06% para a segunda amostra, já para a Algaroba foi de 1,19% na primeira amostra e 1,38% na segunda amostra.

O valor encontrado para as duas espécies é um valor bom, pois é desejável que a porcentagem do teor de cinzas seja o menor possível. Comparando-se com outros trabalhos, para a Jurema-Preta (*Mimosa Tenuiflora*), Oliveira (2003) encontrou 0,76% valor que corrobora com o que se foi encontrado neste trabalho. Para a Algaroba (*Prosopis juliflora*), Fônseca (2011) encontrou valores muito próximos aos encontrados para o teor de cinzas como 1,13% e 1,31%, enquanto Cunha (2012) encontrou 0,58%. Mesmo assim os valores encontrados condizem com aqueles encontrados na literatura.

5.4 Teor de carbono fixo

Carbono fixo é a quantidade de carbono presente no carvão. Está relacionado com o seu poder calorífico, e é uma das características químicas que mais exerce influência na sua utilização (OLIVEIRA *et al.*, 1982).

O teor de carbono fixo médio encontrado para a Jurema-Preta foi de 17,89%. Já a Algaroba apresentou valores muitos distintos nos dois ensaios sendo um de 11,50% e o outro de 0,3%, valor esse bem abaixo da média encontrada na literatura, o que leva a crer que houve algum desvio na execução do experimento com essa amostra. Cunha (2012) encontrou o valor de 13,24% de carbono fixo para a Algaroba o que confirma que o valor de 0,3%, encontrado em uma das amostras estudadas é um valor fora do real, por algum motivo que não se sabe explicar. Os valores encontrados podem ser observados por meio da Tabela 3.

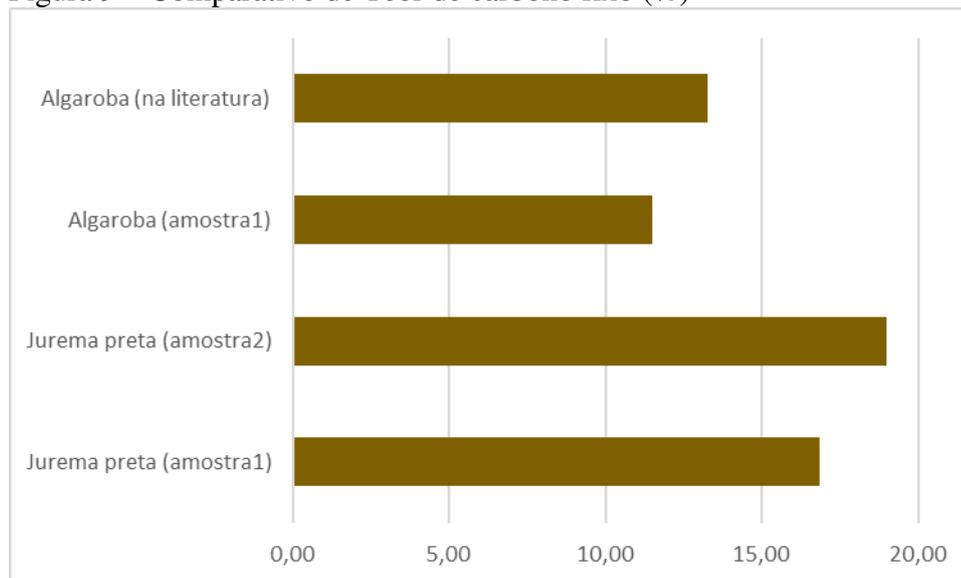
Tabela 3 – Teor de carbono fixo das amostras

Teor de carbono fixo			
Amostra	Teor de voláteis (%)	Teor de cinzas (%)	Carbono fixo (%)
Jurema-preta 1	81,96	1,21	16,83
Jurema-Preta 2	79,98	1,06	18,96
Algaroba 1	87,31	1,19	11,50
Algaroba 2	98,31	1,38	0,30

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 9 mostra um comparativo dos valores entre as duas amostras, no caso da Jurema-Preta para a qual não foram encontrados valores na literatura, e entre a amostra e o valor encontrado em outro trabalho.

Figura 9 – Comparativo de Teor de carbono fixo (%)



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.5 Poder calorífico

O poder calorífico é a quantidade de energia na forma de calor liberada durante a combustão de uma unidade de massa da madeira e pode ser influenciado pela umidade do material e sua constituição química. (QUIRINO, 2004 *apud Jara et al.*). O poder calorífico estudado neste trabalho foi o poder calorífico superior que é dado pela soma da energia liberada na forma de calor e a energia gasta na vaporização da água (umidade) presente na madeira.

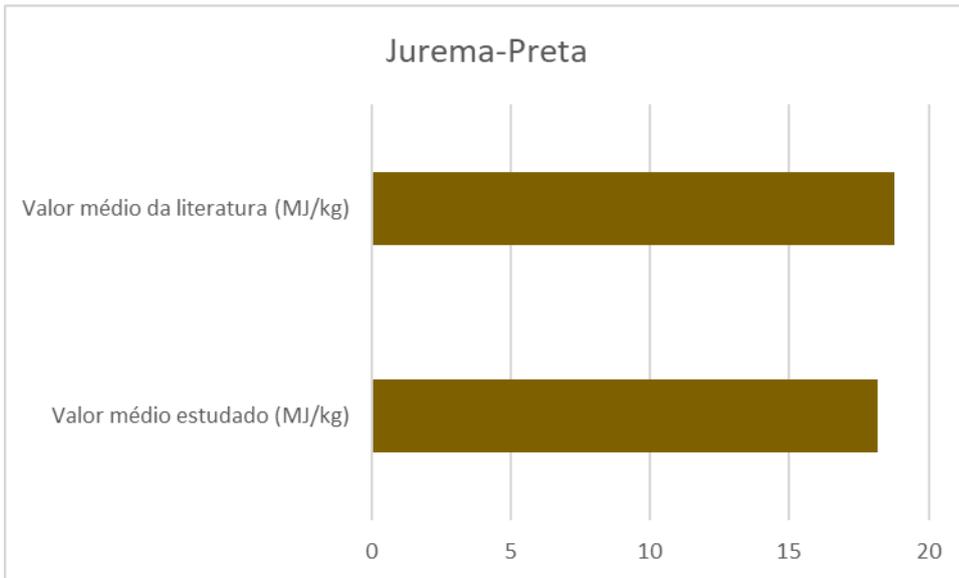
Os valores de poder calorífico encontrados 18,013 MJ/kg para a primeira amostra de Jurema-Preta e 18,315 MJ/kg para a segunda amostra. Para as amostras de Algaroba os valores foram 18,085 MJ/kg para a primeira amostra e 17,795 MJ/kg para a segunda.

Oliveira (2003) encontrou um valor médio de poder calorífico superior para a Jurema-Preta (*Mimosa tenuiflora*) em quilocalorias de 4486 Kcal/kg que equivale a 18,769 MJ/kg, valor que se mostra compatível com aquele obtido neste trabalho.

Fonsêca (2011) encontrou para a Algaroba (*Prosopis juliflora*), também em quilocalorias um valor de 4274 Kcal/kg o qual equivalente a 17,882 MJ/kg, valor também compatível com a espécie estudada.

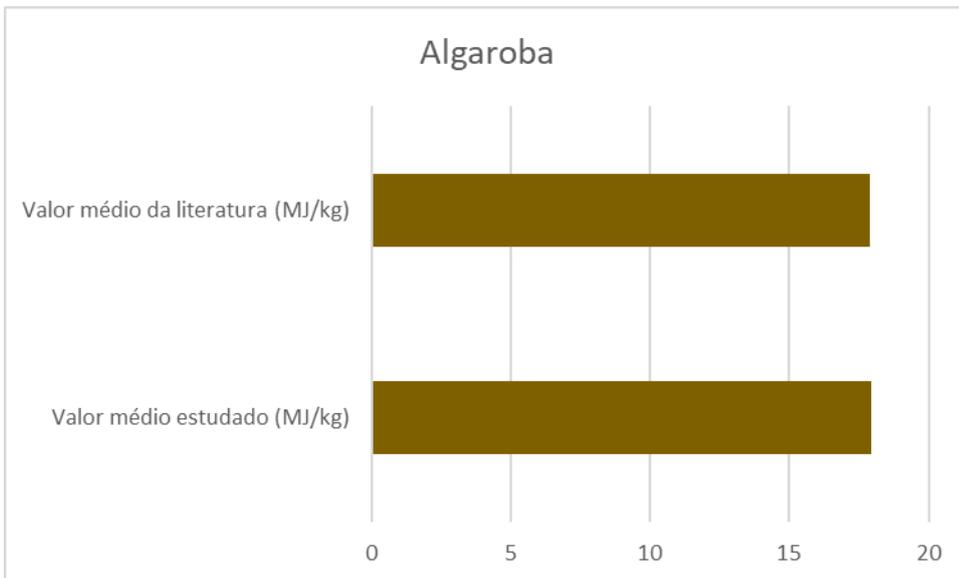
As Figura 10 e 11 mostram a comparação do valor médio encontrado neste trabalho com o valor médio encontrado na literatura para cada espécie.

Figura 10 – Comparação do Poder Calorífico Superior para a Jurema-Preta



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 11 - Comparação do Poder Calorífico Superior para a Algaroba

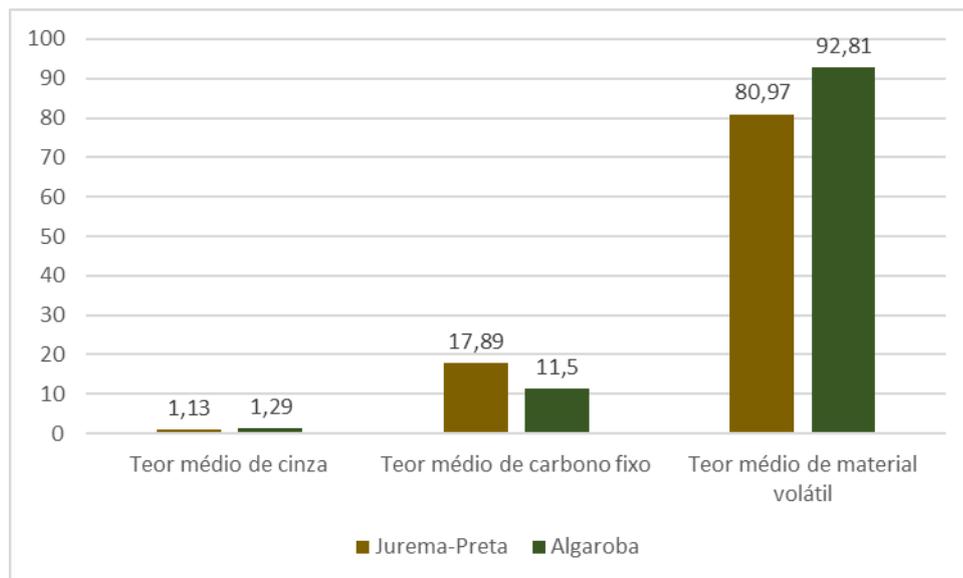


Fonte: Elaborado pelo autor.

5.6 Análise Comparativa

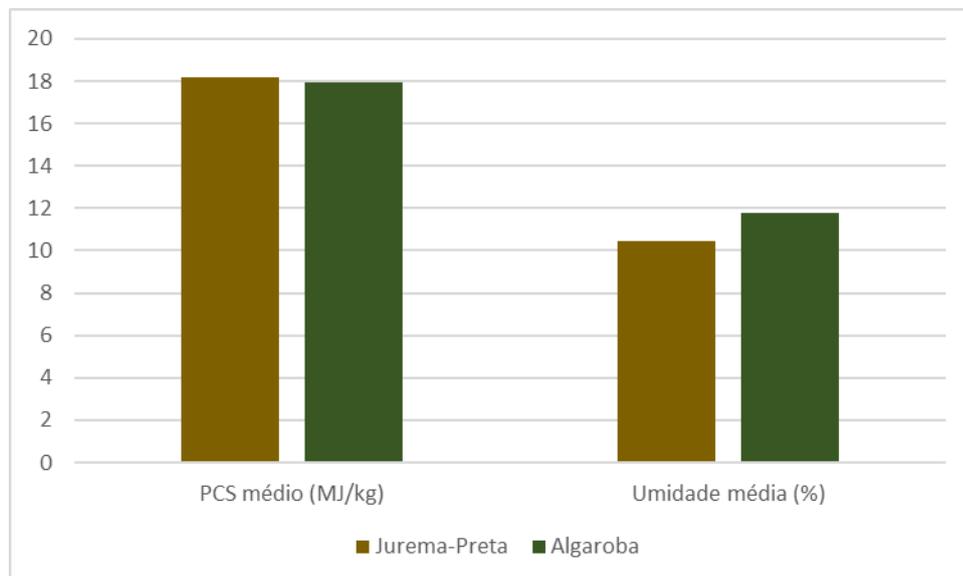
Por meio das Figura 12 e 13 pode-se analisar qual das duas espécies é melhor em cada propriedade estudada, considerando que para a propriedade teor de umidade e de cinzas o menor valor foi o melhor, e para teor de materiais voláteis, carbono fixo e Poder Calorífico Superior o maior valor foi o mais desejável.

Figura 12 – Teores médios de cinzas, carbono fixo e material volátil das espécies estudadas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 13 – Poder calorífico superior e umidade das espécies estudadas



Fonte: Elaborado pelo autor.

CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos por meio do estudo das biomassas de Jurema-Preta (*Mimosa tenuiflora*) e Algaroba (*Prosopis juliflora*), constatou-se que ambas possuem potencial para serem utilizadas como fonte de energia.

As propriedades mostraram-se muito semelhantes para as duas espécies estudadas sendo, portanto, as duas muito indicadas para uso como fonte energética, mas por números pouco expressivos em relação a diferença, pode-se dizer que a Jurema-Preta é a mais indicada para uso como combustível sólido, apesar de estar muito próxima da Algaroba, apresentou o maior Poder Calorífico Superior médio (18,164MJ/kg), número apenas 1,26% maior que o da Algaroba, mas possuindo também a Jurema o menor teor de umidade (10,45%), sendo cerca de 11% menos úmida que a outra espécie.

Supõe-se que as espécies são muito parecidas por serem provenientes de uma mesma região com as mesmas características.

REFERÊNCIAS

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

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

CARDOSO, B. M. **Uso da Biomassa como Alternativa Energética**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2012.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária. **Florestas Energéticas podem contribuir para preservar a Caatinga**. Home Page. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1463940/florestas-energeticas-podem-contribuir-para-preservar-a-caatinga>>. Acesso em: 27 de agosto de 2018.

OLIVEIRA, E. **Características anatômicas, químicas e térmicas da madeira de três espécies de maior ocorrência no semiárido nordestino**. 2003. 122 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

ARAÚJO, L.V.C.; PAULO, M.C.S.; PAES, J.B. **Características dendrométricas e densidade básica da jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*) (Willd.) Poir.) de duas regiões do estado da Paraíba**. R. Caatinga, 2007.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL - BEN. Edição 2017, ano base 2016

BARBOSA, J.A. **Avaliação qualitativa e quantitativa do carvão e dos condensados produzidos na carbonização da madeira de algaroba (*Prosopis juliflora* DC.)**. 1986. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.

BARRICHELO, L.E.G. & BRITO, J.O. **Química da madeira**. Piracicaba, SP, ESALQ, 1985.

GOMES, J. J.; TOLÊDO FILHO, R.D. **Caracterização mínima da algarobeira (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC.)**. Campina Grande: UAEAg/UFCG, 1999. 10p. Dissertação (Mestrado Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande.

KLOCK, U.; MUÑIZ, G. I. B.; HERNANDEZ, J. A.; ANDRADE, A. S. **Química da Madeira**. Manual didático (3ª edição). UFPR. Curitiba. 2005. 86p.

JOSÉ, J. H. **Combustão e Combustíveis**. Apostila Química Tecnológica Geral UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina) 2004.

SOUZA, R. F.; TENÓRIO, Z. **Potencialidades da Algaroba no Nordeste**. I Simpósio Brasileiro sobre Algaroba. Natal-RN – EMPARN. 18f, 1982.

BARBOSA, J. A. **Avaliação qualitativa e quantitativa do carvão e dos condensados produzidos na carbonização da madeira de algaroba (*Prosopis juliflora* DC.)**. Viçosa: UFV, 1986. 52p. Dissertação Mestrado.

FONSÊCA, C. M. B. **Estudo comparativo do potencial energético do juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Martius) e da Algarobeira (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC.) na produção de carvão no semiárido paraibano**. 2011

CUNHA, A. B. **Análise das propriedades físicas, mecânicas e energéticas da parte aérea e tronco de algaroba (*Prosopis juliflora*)**. 2012

FARIA, W. L. F. **A Jurema Preta (*Mimosa tenuiflora*) como fonte energética do semi-árido do nordeste**. 1984

CAPRIGLIONE, P. S. **A energia renovável na matriz energética brasileira**. São Paulo 2006

Ministério de Minas e Energia. **Energia no Mundo**. Edição de 13 de dezembro de 2017

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia e meio ambiente no Brasil**. 2007

NASCIMENTO, R. M. **Utilização da Algaroba (*Prosopis juliflora*) como plataforma para a obtenção de bionanocompósito**. Dissertação de mestrado UFC (Universidade Federal do Ceará) 2014.

AZEVÊDO, S. M. A.; BAKKE, I. A.; BAKKE, O. A.; FREIRE, L. O. **Crescimento de plântulas de jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Wild) Poiret) em solos de áreas degradadas da caatinga.** 2011

FURTADO, M. C. **Avaliação das oportunidades de comercialização de novas fontes de energias renováveis no Brasil.** 2010

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

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