

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA FLORESTAL CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

CAIO PEDRO DA SILVEIRA GONÇALVES

**CARBONIZAÇÃO E ANÁLISE IMEDIATA DO CARVÃO VEGETAL
DA MADEIRA DE *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth e *Cupania racemose*
(Vell.) Radlk**

RECIFE-PE 2018

CAIO PEDRO DA SILVEIRA GONÇALVES

**CARBONIZAÇÃO E ANÁLISE IMEDIATA DO CARVÃO VEGETAL
DA MADEIRA DE *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth e *Cupania racemose*
(Vell.) Radlk**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Florestal da
Universidade Federal Rural de Pernambuco,
como parte das exigências para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador (a): Marcelo Nogueira

RECIFE-PE 2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

G635 GONÇALVES, CAIO PEDRO DA SILVEIRA

CARBONIZAÇÃO E ANÁLISE IMEDIATA DO CARVÃO VEGETAL DA MADEIRA DE *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth e *Cupania racemosa* (Vell.) Radlk : CARBONIZAÇÃO E ANÁLISE IMEDIATA DO CARVÃO VEGETAL DA MADEIRA / CAIO PEDRO DA SILVEIRA GONÇALVES. - 2018.

35 f. : il.

Orientador: MARCELO NOGUEIRA.

Inclui referências e anexo(s).

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em Engenharia Florestal, Recife, 2018.

1. CARVÃO VEGETAL. 2. ANÁLISE IMEDIATA DO CARVÃO VEGETAL. 3. TEOR DE UMIDADE DO CARVAO. 4. TEOR DE CINZAS. 5. CARBONIZAÇÃO. I. NOGUEIRA, MARCELO, orient. II. Título

CDD 634.9

**CARBONIZAÇÃO E ANÁLISE IMEDIATA DO CARVÃO VEGETAL
DA MADEIRA DE *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth e *Cupania racemose*
(Vell.) Radlk**

Aprovado em 1 de Março de 2018

BANCA EXAMINADORA

Drº Rafael Leite Braz
(Universidade Federal Rural de Pernambuco)

Tony Cantarelli de Carvalho
(Universidade Federal Rural de Pernambuco)

Drº Marcelo Nogueira
(Orientador - Universidade Federal Rural de Pernambuco)

RECIFE-PE 2018

Este presente trabalho dedico a toda a minha família e em especial a minha eterna e amada mãe Gleide Elisa Chaves da Silveira, que ela possa de longe está lendo e se orgulhando com a minha conclusão de curso, o que ela tanto sonhava. Te amo muito minha mãe, minha estrela!!

AGRADECIMENTOS

Bem, é muito complicado fazer os agradecimentos, pois trata-se de um texto muito complexo, no qual sempre falta algo para agradecer, então caso esqueça de algo ou de alguém não me repudiem por isso, todos são muito amados e sempre estarão no meu coração para sempre.

Em primeiro lugar, agradeço a minha mãe Gleide Elisa Chaves da Silveira, por ter me colocado nesse mundo e conhecer o amor de uma verdadeira mãe, obrigado pela educação, pela minha formação como homem, como ser realmente um humano de verdade, sabendo valorizar tudo que a vida nos proporciona. Minha estrela que sempre me ilumina e me guarda. TE AMO !!

Ao meu grande Pai Domingos Sávio Cavalcanti Gonçalves, por ser um grande homem e me ensinar a ser um. Sempre me aconselhando e me mostrando o melhor caminho. Aprendi e sempre aprendo com seus ensinamentos, orgulho grande de você. TE AMO !!

A minha irmã amada e única Gleice Helena, por ser essa mulher maravilhosa e guerreira, e está comigo em todos os momentos. TE AMO !!

A Marcelo Nogueira, grande profissional e orientador que esteve sempre presente durante minha práticas em laboratórios, esclarecendo as dúvidas e passando as informações sempre com clareza e boa vontade.

Aos funcionários de DCFL da UFRPE e claro em especial a grande profissional, pessoa serena e de muita boa vontade Amélia de Arce, mesmo sendo uma instituição pública, sempre procurando resolver da melhor forma e menos burocrática.

Aos professores do curso de Engenharia Florestal, obrigado por todo conhecimento que foi passado durante o curso, a cada puxão de orelha quando necessário. Sou grato por cada momento em sala de aula dedicado!!

A UFRPE ou a “mãe rural”, por ser uma instituição de grande reconhecimento no qual me proporcionou grandes momentos como Aluno e me fez crescer como profissional. A Todas as mangas, jambos, acerolas, jacas, azeitona preta, enfim e outras que sempre estavam presentes nas suas safras.

Aos amigos e irmãos de curso: Talles Scuderio, Filipe Vila Nova, Patrícia Xavier, Anderson Silveira, Guilherme Oliveira, Edgar Farjado, Filipe Farias, Edgar Nascimento, Artur Patrício, Ana Clara, esses são os verdadeiros amigos, posso contar sempre!!

A minha amiga Isadora Carvalho, que me deu uma grande força física, moral e psicológica para a realização do trabalho! Não tenho palavras para agradecer.

A toda minha família Cavalcanti Gonçalves e Da Silveira que sempre foram presentes em minha vida e sem vocês não seria o mesmo Caio.

“Viver cada minuto como se fosse único”

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo determinar o rendimento gravimétrico das carbonizações da madeira de *Mimosa caesalpiniaefolia* e *Cupania racemosa* para caracterização do carvão vegetal das madeiras dessas espécies e indicar a mais viável para uso como combustível. Para a realização do estudo, foram coletados aleatoriamente, seis indivíduos de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth e seis da *Cupania Racemosa* (Vell.) Radlk no Sítio Pedra Bonita em Chã-grande, PE. Os indivíduos foram seccionadas em discos ao longo do fuste e posteriormente foram confeccionados cavacos de dimensões 49 x 20 x 4 mm ao longo do tronco de todos os indivíduos. Os cavacos foram homogeneizados, cominuídos, quartejados e transportadas para o Laboratório de Tecnologia Florestal da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Cada carbonização foi conduzida num tempo total de 210 minutos, à uma temperatura máxima de $460\pm 10^{\circ}\text{C}$ em um forno do tipo mufla com controle de temperatura, taxa de $1,4^{\circ}\text{C}/\text{min}$ após a primeira hora. Foi utilizada a norma NBR 8112/1986, que prescreve o método para análise imediata de carvão vegetal. Além da NBR, a análise imediata foi conduzida segundo uma adaptação do CETEC (1982) para as normas da ASTM (American Society for Testing and Materials). A densidade básica encontrada para a *Mimosa caesalpiniaefolia* e *Cupania racemosa* foi, respectivamente, 0,87 e 0,83 g/cm^3 . Relacionado a análise imediata do carvão, os teores encontrados para teor de cinzas, teor de materiais voláteis, carbono fixo e rendimento gravimétrico para o Sabiá foi de 1,74%, 46,89%, 44,49% e 44,34%, respectivamente; e para o Cabatã foi de 0,25%, 55,26%, 51,36% e 44,12%, respectivamente. Com isto, tanto o carvão proveniente da madeira de *Mimosa caesalpiniaefolia*, quanto de *Cupania racemos* apresentam características satisfatórias para fins energéticos. Mas em comparação entre as espécies estudadas, a *Cupania racemosa* é a mais indicada para uso como combustível.

Palavras chave: qualidade do carvão; carvão de espécies nativas; combustível vegetal.

ABSTRACT

This paper had the objective of determining the gravimetric yield of the carbonization of *Mimosa caesalpiniaefolia* and *Cupania racemosa* for charcoal characterization of the wood of these species and indicate the most viable for use as fuel. For the study, six individuals from *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth and six from *Cupania Racemosa* (Vell.) Radlk were collected at the Pedra Bonita site in Chã-grande, PE, Brazil. The individuals were sectioned in disks along the shaft and later, chips of dimensions 49 x 20 x 4 mm were made along the trunk. The chips were homogenized, comminuted, quarteted and transported to the Forest Technology Laboratory of the Federal Rural University of Pernambuco. Each carbonization was conducted in a total time of 210 minutes at a maximum temperature of 460 ± 10 ° C in a temperature-controlled muffle type oven, rate of 1.4 °C/min after the first hour. NBR 8112/1986 was used, which prescribes the method for the immediate analysis of charcoal. In addition to the NBR, the immediate analysis was conducted according to an adaptation from CETEC (1982) to ASTM (American Society for Testing and Materials) standards. The basic density found for *Mimosa caesalpiniaefolia* and *Cupania racemosa* was, respectively, 0.87 and 0.83 g / cm³. The values of ash, volatile matter content, fixed carbon and gravimetric yield for the Sabiá were 1.74%, 46.89%, 44.49% and 44.34%, respectively; and for the Cabotã was 0.25%, 55.26%, 51.36% and 44.12%, respectively. Therefore, both the charcoal coming from *Mimosa caesalpiniaefolia* and from *Cupania racemos* have satisfactory characteristics for energy purposes. However, in comparison among the species studied, *Cupania racemosa* is the most suitable for use as fuel.

Keywords: coal quality; coal of native species; vegetable fuel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização do município e caracterização do solo.....	20
Figura 2 – Amostras em estufa a 105°C para determinação de umidade da madeira.....	21
Figura 3 – Amostras em recipiente de aço inoxidável antes (A) e depois (B) do processo de carbonização em mufla a uma temperatura máxima de 460°C.....	23
Figura 4 – Mufla utilizada no processo de carbonização.....	23
Figura 5 – Maceração do carvão vegetal para análise imediata.....	24
Figura 6 – Demonstração de como os cadinhos ficaram sobre a porta da mufla durante três minutos.....	25
Figura 7 – Comportamento do regime de carbonização adotado para as amostras de Sabiá.....	27
Figura 8 – Comportamento do regime de carbonização adotado para as amostras de Cabatã.....	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores obtidos no processo de carbonização e análise imediata do carvão vegetal de <i>Mimosa caesalpiniaefolia</i> e <i>Cupania racemosa</i>	28
Tabela 2 – Dados de outras espécies nativas brasileiras usadas para produção de carvão vegetal.....	30

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVO	13
2.1. Objetivo específico	13
3. REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1. Matriz energética	13
3.2. Biomassa Lignocelulósica	14
3.3. Carvão Vegetal.....	14
3.4. Teoria da Carbonização	15
3.5. Análise Imediata	16
3.6. Espécies Utilizadas	17
3.6.1. Mimosa caesalpiniaefolia Benth	17
3.6.2. Cupania racemosa (Vell.) Radlk.....	18
4. MATERIAL E MÉTODOS	18
4.1. Material.....	18
4.2. Preparo das amostras.....	19
4.3. Teor de Umidade da Madeira.....	19
4.4. Densidade Aparente da madeira	20
4.5. Carbonização.....	21
4.6. Análise Imediata	22
4.6.1. Teor de Materiais Voláteis.....	22
4.6.2. Teor de Cinzas	24
4.6.3. Teor de Carbono Fixo.....	24
4.7. Análise estatística.....	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
6. CONCLUSÃO	30
7. REFERÊNCIAS.....	30
8. ANEXOS	33

1. INTRODUÇÃO

A lenha e o carvão possuem utilizações desde o setor residencial até o industrial. O crescimento populacional, o avanço tecnológico e a crise dos combustíveis fósseis aumentaram a pressão sobre a vegetação nativa, o que leva a uma exploração irracional da mesma. Atualmente o Brasil é um dos maiores produtores de carvão vegetal do mundo, proveniente tanto de florestas plantadas como de florestas nativas.

O carvão é um dos principais insumos da indústria siderúrgica nacional. No ano de 2016, 84% do carvão vegetal consumido no país foram provenientes de florestas plantadas (IBÁ, 2017). A matriz energética de algumas siderúrgicas possui uma enorme dependência da lenha e do carvão, por exemplo, as indústrias de calcinação de gipsita (GADELHA, 2014), o que incentivou a implantação de florestas plantadas para diminuir a pressão sobre a vegetação nativa. Ainda assim, a flora nativa é utilizada para a produção de carvão vegetal, seja por meio do manejo florestal sustentável ou desmatamento.

Segundo a Indústria Brasileira de Árvores (2017) a região sul e sudeste são as que possuem maior concentração de plantios florestais. Diante disso a possibilidade de utilização de espécies nativas como carvão e lenha são maiores nas áreas que possuem poucas florestas plantadas. Segundo o IBÁ (2017), essas áreas estão localizadas nas regiões norte e nordeste. De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2010), os plantios florestais fornecem uma pequena parte da oferta de carvão vegetal do Nordeste e que podas e exploração de algaroba abastecem uma parte da demanda industrial de alguns estados nordestinos.

Além do uso industrial da lenha e do carvão, existe uma grande utilização residencial desses produtos, principalmente nas zonas rurais. A lenha e o carvão vegetal são produtos de grande importância para a sobrevivência de milhares de produtores rurais, especialmente durante períodos de estiagem (MMA, 2010).

Os diversos setores que utilizam o carvão vegetal nem sempre seguem um padrão de qualidade ou de rendimento das madeiras utilizadas. Geralmente a seleção é feita baseada em costumes ou pela praticidade, o que pode levar a utilização de madeiras de baixa qualidade energética ou de madeiras de alto valor econômico ou ecológico. Ainda com diversas utilizações da madeira de espécies nativas para fins energéticos, não existem muitos estudos sobre elas (OLIVEIRA et al., 2006), mas o setor industrial sempre está em busca de obter um maior rendimento e produtividade, o que leva a realização de pesquisas mesmo que em pequena quantidade.

O carvão vegetal é obtido através da combustão parcial da madeira, processo chamado de carbonização ou pirólise controlada. O estudo das propriedades da madeira e dos parâmetros de

carbonização permite selecionar as espécies com maior qualidade e rendimento energético. Sendo esses estudos uma forma de reduzir o uso errôneo de madeiras propícias para outros fins e de agregar valor ao carvão vegetal extraído de forma legal.

2. OBJETIVO

Avaliar a qualidade do carvão vegetal da *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth e da *Cupania Racemosa* (Vell.) Radlk., a partir de amostras coletadas de discos seccionados ao longo do fuste.

2.1. Objetivo específico

- Realizar ensaios de análise imediata, densidade aparente e o rendimento gravimétrico, da madeira de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth e de *Cupania Racemosa* (Vell.) Radlk.;
- Comparar o rendimento gravimétrico e a qualidade do carvão vegetal das duas espécies e indicar a espécie mais viável para o uso como combustível.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Matriz energética

A biomassa florestal, na forma de lenha e carvão, é essencial para todos os países, principalmente para os países em desenvolvimento. Na Índia, 70 % da energia consumida no preparo de alimentos advêm da lenha ou carvão vegetal (ABBASI et al., 2009). Nas zonas rurais da Turquia, a lenha é a quinta maior fonte energética, chegando a consumir 0,73 m³ por pessoa anualmente (AKPINAR et al., 2008). Já no Brasil, em 2012, 35,2% de toda a madeira de florestas plantadas produzida no país foi utilizada para a produção de celulose, e 38,7% foram destinados à produção de carvão vegetal, lenha e outros produtos florestais (ABRAF, 2013).

A produção do carvão vegetal no Brasil responde por cerca de 1/3 da produção mundial, aqui utilizada em sua quase totalidade para a siderurgia, mas produzida ainda, em sua grande maioria, como há um século, sem as preocupações básicas com a preservação do meio ambiente e com as condições de trabalho inadequadas (PINHEIRO et al., 2006).

Em relação ao consumo de lenha, no período entre 2002 a 2012, a produção de lenha cresceu a uma taxa média de 1,2% a.a. e as Regiões Sul e Sudeste foram as maiores regiões consumidoras historicamente. Em 2012, estima-se que o Brasil produziu 52,2 milhões de m³ de lenha a partir de florestas plantadas, sendo que as Regiões Sul e Sudeste representaram 92,5% deste total (ABRAF, 2013).

No ano de 2008, o consumo de carvão vegetal era superior ao atual, e chegou a 7,1 milhões de toneladas, sendo 3,6 (aproximadamente 51%) provenientes de espécies nativas (IBÁ, 2017). O consumo deste produto chegou a 4,5 milhões de toneladas no ano de 2016, sendo 0,7 toneladas oriundas da flora nativa. O que mostra que a utilização de madeira plantada na produção de carvão cresceu gradativamente até o ano de 2016, mas o uso do carvão vegetal diminuiu de 2008 para 2016.

3.2. Biomassa Lignocelulósica

A biomassa lignocelulósica é constituída de moléculas de hemicelulose, celulose e lignina. A lignina apresenta resistência à decomposição térmica e sua estrutura é formada por até 65% de carbono (GUEDES, et al., 2010). Gonçalves, Fernandes e Andrade (1999) relacionam o alto rendimento gravimétrico em carvão vegetal com o elevado teor de lignina. Além disso, os autores relatam que a fixação de altos teores de carbono no carvão pode ocorrer, também, pelo alto teor de lignina. Durante a comparação entre a *Mimosa caesalpiniaefolia* e o *Eucalyptos urophylla* esses mesmos autores encontraram uma relação dos gases condensáveis com o teor de holocelulose, onde a espécie com maior teor apresentava um maior rendimento em gases condensáveis.

Santos (2008) relatou uma correlação positiva entre a densidade básica e aparente de uma madeira com o teor de lignina da mesma. Já relacionado à holocelulose, o autor relata que a holocelulose e o rendimento gravimétrico não apresentaram uma correlação, mas que seus resultados experimentais indicam uma tendência negativa.

Na produção de carvão vegetal, a lignina é um dos componentes de fundamental importância, pois é o composto que mais contribui para a formação do resíduo carbonífero (pode chegar a 55% de resíduo carbonífero) e do alcatrão insolúvel (OLIVEIRA et al., 1982a).

A celulose chega a contribuir cerca de 10% no carvão, mas se a temperatura para a formação do carvão for superior a 600°C a degradação da celulose é quase completa, o que reduz o resíduo de carvão. Logo a celulose contribui muito pouco para o rendimento gravimétrico do carvão. Por sua vez a hemicelulose contribui aproximadamente 13% no rendimento do carvão. Mas da mesma forma que a celulose em temperaturas acima de 500°C, a hemicelulose comporta-se de forma diferente reduzindo seu rendimento para 10% (OLIVEIRA et al., 1982a).

3.3. Carvão Vegetal

A utilização do carvão sucede desde a era primitiva, onde o homem usava pedaços de madeira para iluminar e aquecer as cavernas (SANTOS; HATAKEYAMA, 2012). Com o passar do tempo, o homem primitivo observou que o material de aspecto preto não produzia tanta fumaça e gerava calor de forma mais controlável (COLOMBO; PIMENTA; HATAKEYAMA, 2006).

No Brasil, o carvão vegetal é uma importante fonte energética. Segundo o IBÁ (2017), existem mais de 120 indústrias que utilizam carvão vegetal em seus processos industriais. Atualmente o carvão vegetal é obtido por meio da pirólise ou carbonização da madeira, um método antigo e simples de conversão de um combustível sólido (geralmente lenha) em outro de melhor qualidade e capacidade energética. O carvão pode ter sua densidade energética duplicada quando comparado ao material sólido de origem (BRASÍLIA, 2008).

3.4. Teoria da Carbonização

A biomassa é constituída predominantemente de carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio. Outros elementos podem estar presentes em sua composição, mas em menores proporções. Os processos de conversão de biomassa podem ser combustão, liquefação, fermentação, biodigestão gaseificação e pirólise (GUEDES, et al., 2010).

A pirólise ou carbonização é a degradação térmica de um material orgânico na ausência parcial ou total de um agente oxidante. O início do processo ocorre a uma temperatura de 400°C até o início da gaseificação da biomassa (PEDROZA, 2011). Esse mesmo autor relaciona o destaque da pirólise aos produtos por ela gerados, que podem ser líquidos, sólidos ou gasosos.

Existem algumas categorias de pirólise, que são variações do processo, sendo estes diferenciados entre si de acordo com parâmetros como a taxa de aquecimento, temperatura e tempo de residência no equipamento. Esses parâmetros vão depender do produto desejado. A carbonização é uma dessas variações de pirólise onde o produto originado nesse processo é o carvão vegetal. Geralmente o tempo de residência do material sólido no equipamento pode variar de horas até dias e a temperatura do processo é em torno de 400°C a 450°C (KIMURA, 2009).

Soares (2011) define a carbonização como uma transformação térmica da madeira que possui oxigênio no início do processo e visa à produção de carvão vegetal, enquanto a pirólise é o processo térmico ao qual o material é submetido a altas temperaturas em atmosfera isenta de oxigênio.

Brito e Barrichelo (1981) explicam que o fato desses dois nomes, carbonização e pirólise, serem empregados como equivalentes dá-se pelo fato que os produtos resultantes desses processos são obtidos parte em carvão vegetal e parte em produtos voláteis denominados produtos da destilação da madeira. Porém um processo visa à obtenção do carvão vegetal e o outro visa os produtos químicos. Esses mesmos autores descrevem os processos da pirólise de maneira simples:

- De 150 a 200°C, a água sai totalmente do material, chamado de período de secagem;
- De 200 a 280°C, ocorre a saída de gases oxigenados e ácido acético;

- De 280 a 380 °C, os hidrocarbonetos começam a sair juntamente com ácido acético, álcool metílico e leves frações de alcatrão;
- De 380 a 500°C denomina-se fases dos hidrocarbonetos, onde ainda sai uma grande quantidade de hidrocarbonetos e frações médias e pesadas de alcatrão;
- De 500 a 700°C dá início à fase do hidrogênio com formação de poucos gases e ao atingir 600 °C o carvão começa a se dissociar.

Os produtos formados nesse processo são carvão vegetal, produtos condensáveis e produtos gasosos. Relacionado ao carvão, pode-se obter carvões diferentes dentro deste processo. Alguns tipos de carvões que podem ser obtidos são:

- Carvão de uso doméstico: Podendo ser obtido a temperaturas entre 350 e 400°C, pois o carvão deve ser fácil de inflamar e não gerar muita fumaça;
- Carvão metalúrgico: A carbonização desse tipo de carvão deve acontecer no mínimo em 650°C e é utilizado na redução de minério de ferro nos altos-fornos (BRITO; BARRICHELO, 1981).

Deve-se lembrar de que durante esse processo pode haver diferentes taxas de carbonização de acordo com a madeira utilizada, pois toda a espécie possui características tecnológicas diferentes.

3.5. Análise Imediata

A análise imediata do carvão vegetal fornece informações da qualidade da biomassa para fins energéticos. Basicamente a análise é a determinação dos teores de umidade, de cinzas, materiais voláteis e de carbono fixo (BARBOSA, 2014). Na análise imediata são estudadas diversas características do carvão. A importância dessas características é saber como o carvão reagirá no processo de queima, para gerar energia.

A percentagem de carbono é uma das taxas resultantes da análise imediata, consistindo na quantidade de carbono presente no carvão é o que determina como carbono fixo. O carbono fixo está diretamente relacionado com o poder calorífico do carvão, podendo ser considerada uma das características químicas maior influência (OLIVEIRA et al., 1982). Além disso, segundo Lima et al. (2007) o teor de carbono fixo indica o grau de pureza do carvão.

Outras análises advindas da análise imediata é a caracterização das substâncias desprendidas da madeira, como gases, durante o processo de carbonização e esse tipo de análise é conhecida como materiais voláteis (BARBOSA, 2014). De acordo com Oliveira et al. (2006), a estrutura do carvão vegetal pode ser afetada pelo teor de materiais voláteis, já que o diâmetro dos poros, a porosidade, a

densidade e outras características físicas do carvão podem ser modificadas durante a eliminação do materiais voláteis.

Cinzas são resíduos minerais, resultantes da queima completa da madeira e é outro parâmetro que é estudado pela análise imediata. A quantidade de cinzas presentes no carvão é o que se define como teor de cinzas presente no carvão, este valor é dado em porcentagem e quanto maior o resíduo de cinzas, maior será o teor de cinzas de um material (MAPA, 2014). Segundo Paes et al. (2012), o baixo teor de cinzas pode conferir boas características energéticas ao carvão e altos teores de cinzas podem prejudicar produtos metalúrgicos (BARCELLOS, 2007). Santos (2008) relata que para uso siderúrgico o carvão deve ter menos de 1% de teor de cinzas e que altos teores de cinza não são favoráveis para a siderurgia.

3.6. Espécies Utilizadas

As espécies madeireiras são umas das responsáveis pelo abastecimento energético de uso doméstico, comercial e industrial. O uso dessas espécies madeireiras pode ser variado, o que as caracterizam como espécies de uso múltiplo, como as do gênero *Mimosa* e *Cupania*, principalmente a *Mimosa tenuiflora*, *Mimosa caesalpiniaefolia* e *Cupania Racemosa* (DRUMOND, 2016).

3.6.1. Mimosa caesalpiniaefolia Benth

A *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth, conhecida como Sabiá ou Sansão-do-campo, pertence à família Mimosaceae, é uma árvore de pequeno porte que não alcança grandes diâmetros e geralmente apresenta bastantes bifurcações. A espécie é uma das principais fontes de estacas para cercas no nordeste e sua madeira é qualificada como uma boa opção para produção de lenha e carvão por apresentar uma densidade absoluta em torno de 0,87 g/cm³ e um teor de carbono fixo aproximadamente de 73% (EMBRAPA, 2003). O Sabiá também pode ser usado na alimentação de animais, cercas-vivas, quebra-vento e até na medicina caseira (EMBRAPA, 2007).

De acordo com as características físicas e químicas da madeira do sabiá, a mesma é indicada para produção de carvão vegetal. O carvão tem alto poder calorífico e seu rendimento gravimétrico, aproximadamente 32%, é considerado alto. Além do baixo teor de cinza, 1,71% (GONÇALVES; FERNANDES; ANDRADE, 1999).

Segundo Paula (1980), a *Mimosa caesalpiniaefolia* é uma espécie boa para produção de carvão, álcool e coque. Em comparação com a madeira de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*, a madeira do Sabiá é considerada melhor, pois produz uma maior quantidade de biomassa por volume (PAULA, 1980; GONÇALVES; FERNANDES; ANDRADE, 1999).

3.6.2. *Cupania racemosa* (Vell.) Radlk

A *Cupania racemosa* (Vell.) Radlk. pertence à família Sapindaceae e é conhecida como Cabatã ou Caboatã de rêgo. É uma árvore considerada da Mata Atlântica, mas que pode ocorrer na Caatinga e no Cerrado, além de possuir ocorrências registradas no Nordeste e no Sudeste brasileiro. O tronco e a base dessa espécie são acanalados e possui ramificação racemosa (CPRH, 2017; SOMNER; FERRUCCI; ACEVEDO-RODRÍGUES, 2015).

Dentro da família Sapindaceae, o gênero *Cupania* L. é um dos que possui maior potencial de uso para reflorestamento, lenha, carvão e construção de casas.

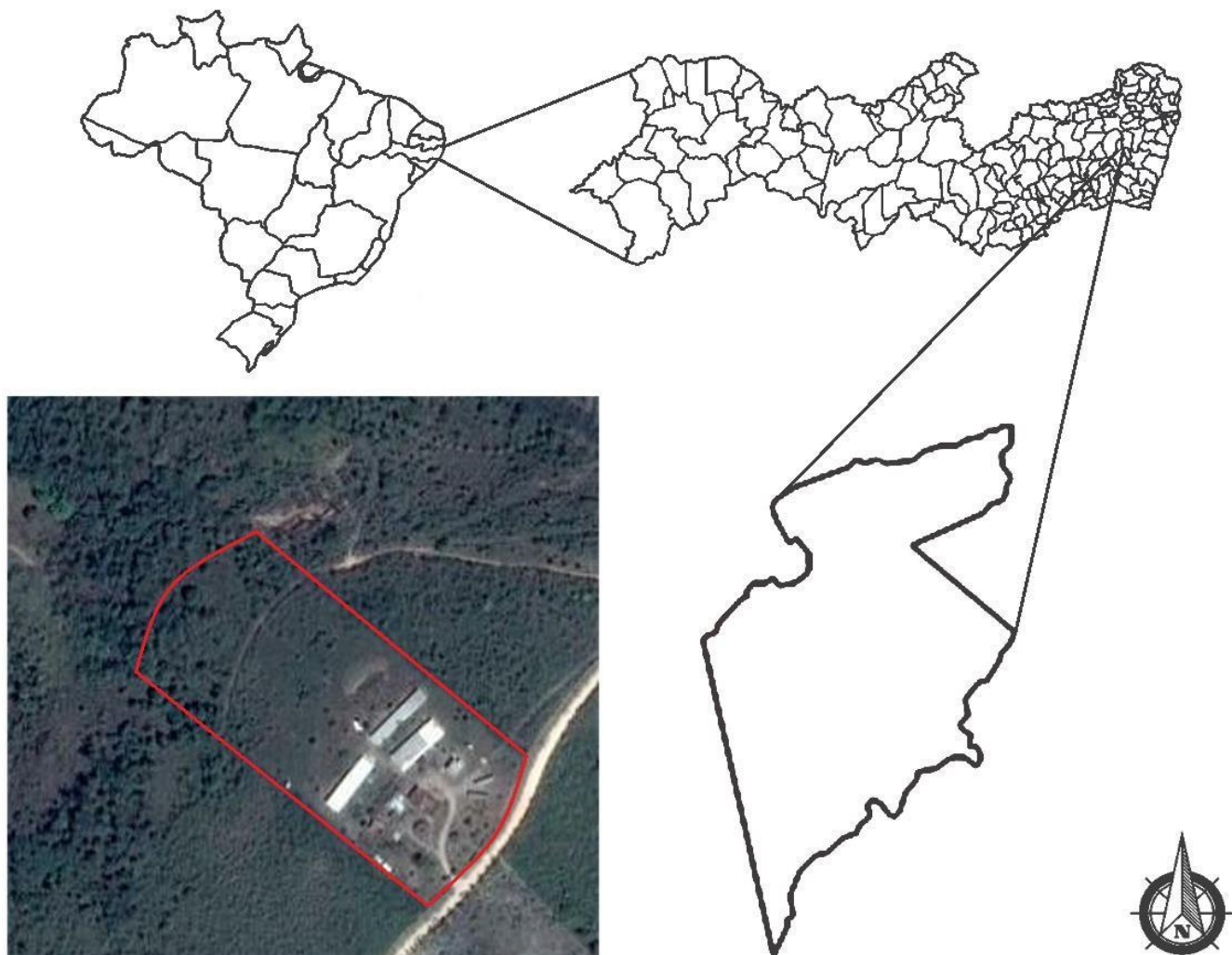
A madeira da *Cupania racemosa* é utilizada como fonte de combustível e para produção de instrumentos madeireiros. Sendo mais específico, a espécie é utilizada como carvão vegetal, lenha para cozinhar, cabo de vassoura e de enxada e construção de caixotes (SANTOS, 2008; NETO; SANTANA; SILVA, 2000).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Material

Para a realização do estudo foram coletados, aleatoriamente, seis indivíduos de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth e seis da *Cupania racemosa* (Vell.) Radlk no Sítio Pedra Bonita em Chãgrande (-8.2638378,-35.4823623), PE (Figura 1). O sítio possui 3,5 ha e a vegetação do local é predominante da Mata Atlântica. A área de coleta está inserida geograficamente no semiárido brasileiro que apresenta relevo bastante dissecado e vales profundos que antecedem o planalto da Borborema. O clima da região é considerado como tropical e é classificado como Aw de acordo com a Koppen e Geiger. A precipitação média anual foi de 1603,1 mm no ano de 2017 (APAC, 2017) e segundo a EMBRAPA (2017) o solo predominante da área é Podzóico Amarelo.

Figura 1 – Localização do município, estado e do país (em preto) e limites da fazenda (em vermelho).



Fonte: Google imagens

4.2. Preparo das amostras

Depois do corte das árvores foram seccionadas em discos ao longo do fuste e posteriormente foram confeccionados cavacos de dimensões 50 x 20 x 4 mm ao longo do tronco de todos os indivíduos. Os cavacos foram homogeneizados, cominuídos e quartejados, em seguida foram transportadas para o Laboratório de Tecnologia Florestal da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Foram amostrados seis indivíduos de cada espécie e para a carbonização utilizou-se 100g por amostra, pesadas com auxílio de uma balança analítica de precisão de duas casas decimais (0,01g).

4.3. Teor de Umidade da Madeira

Para determinação do teor de umidade da madeira foram utilizadas seis amostras de cada espécie. As amostras foram pesadas (com o auxílio de uma balança analítica de precisão), medidas

(com paquímetro) e direcionadas para a estufa previamente aquecida a $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ (Figura 2). Quando as amostras apresentaram massa constante. O teor de umidade da madeira foi calculado de acordo com a Equação 1:

$$\text{TU} = \left(\frac{m_0 - m_1}{m_1} \right) \times 100$$

Sendo:

TUC: Teor de Umidade do Carvão

m_0 : massa inicial da amostra m_1 :

massa final da amostra

Figura 2 - Amostras em estufa a $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ para determinação de umidade da madeira.



Fonte: Autor (2017)

4.4. Densidade Aparente da madeira

Após a secagem das madeiras na estufa, 6 amostras de cada espécie foram pesadas em balança analítica de precisão (0,01g). A densidade aparente foi obtida pelo método estereométrico, onde as amostras foram medidas nas três faces com auxílio de paquímetro digital antes e depois de passarem pelo processo de secagem em estufa. A densidade aparente da madeira foi calculada de acordo com a Equação 02:

$$\text{DA} = \frac{\text{MS}}{\text{VS}}$$

Sendo:

DA: Densidade Aparente

MS: Massa seca

V: Volume seco

4.5. Carbonização

A carbonização foi realizada de acordo com o preconizado na norma NBR 8112 (ABNT, 1986). No laboratório as amostras secas foram carbonizadas em forno elétrico tipo mufla (modelo 0910, MAGNUS'S)(Figura 4) com controle de temperatura (Figura 3). O tempo total para o processo de carbonização foi de 210 minutos a uma temperatura máxima de 460°C ($\pm 10^\circ\text{C}$) com taxa de 0°C/min na primeira hora e de 1,4°C/min após a primeira hora até os 210 minutos. Foram realizadas seis carbonizações para cada espécie e todas foram utilizadas para as análises imediata do carvão. As amostras secas foram colocadas em recipientes de aço inoxidável e levadas para a mufla previamente aquecida a 150°C, sendo essa temperatura mantida por 30 minutos. Em seguida a temperatura foi elevada para 250°C e mantida por mais 30 minutos. Esses processos iniciais totalizaram uma hora, tempo suficiente para início das reações exotérmicas. Após essa primeira hora, o tempo começou a ser registrado a cada 20°C até atingir a temperatura máxima programada de 460°C. Ao final dos 210 minutos a mufla foi desligada e as amostras permaneceram dentro da mufla por aproximadamente 12 horas para resfriamento. As amostras foram pesadas antes da carbonização, e após a carbonização para determinar o Rendimento Gravimétrico (RG) de acordo com a Equação 03:

$$\text{RG}(\%) = \left(\frac{m_a}{m_b} \right) \times 100$$

Sendo:

m_a : massa seca do carvão

m_b : massa seca da madeira

Figura 3 - Amostras em recipiente de aço inoxidável antes (A) e depois (B) do processo de carbonização em mufla a uma temperatura máxima de 460°C.



Fonte: Autor 2017

Figura 4 - Mufla utilizada no processo de carbonização.



Fonte: Autor (2017)

4.6. Análise Imediata

Foi utilizada a norma NBR 8112 (ABNT, 1986), que prescreve o método para análise imediata de carvão vegetal. Além da NBR, a análise imediata foi conduzida segundo uma adaptação do CETEC (1982) para as normas da ASTM (American Society for Testing and Materials) sendo possível determinar os teores de material volátil (MV), de cinzas (CZ) e por diferença de carbono fixo (CF), base seca, para a indicação da alternativa mais viável para o uso como combustível.

4.6.1. Teor de Materiais Voláteis

Para obter as amostras da análise do teor de cinzas as amostras carbonizadas foram maceradas (Figura 5) com peneira de 60 e 100 mesh. Com o auxílio de uma balança analítica de precisão pesou-se 1,0 g de amostra do carvão vegetal que ficou retido na peneira de 100 mesh. Seis amostras, mais

seis duplicatas, foram colocadas em cadinhos de porcelana, previamente seco e tarado. Os cadinhos com as amostras ficaram sobre a porta da mufla, previamente aquecida a 900°C (± 10°C), durante três minutos (Figura 6). Após os três minutos, os cadinhos foram colocados dentro da mufla e permaneceram por sete minutos com a porta fechada. Em seguida, os cadinhos foram transferidos para um dessecador para esfriar e em seguida os mesmos foram pesados. O teor de materiais voláteis foi calculado de acordo com a Equação 05:

$$MV = \left(\frac{m_2 - m_3}{m} \right) \times 100$$

Sendo:

MV: Teor de materiais voláteis m:

massa da amostra do carvão m₂: massa

inicial do cadinho + amostra m₃: massa

final do cadinho + amostra

Figura 5 – Maceração do carvão vegetal para análise imediata.



Fonte: Autor (2017)

Figura 6 – Demonstração de como os cadinhos ficaram sobre a porta da mufla durante três minutos.



Fonte: Autor (2017)

4.6.2. Teor de Cinzas

Para obter as amostras da análise do teor de cinzas as amostras carbonizadas foram maceradas e peneiradas com peneira de 60 e 100 mesh. Com o auxílio de uma balança analítica de precisão pesou-se aproximadamente 1,0 g de amostra do carvão vegetal que ficou retido na peneira de 100 mesh. Seis amostras, mais seis duplicatas, foram colocadas em cadinhos de porcelana sem tampa, previamente seco e tarado. Em seguida, os cadinhos com as amostras de carvão foram colocados em uma mufla previamente aquecida a 750°C ($\pm 10^\circ\text{C}$) e permaneceram por duas horas (Figura 6). Após as duas horas, os cadinhos foram transferidos para um dessecador durante uma hora, depois de esfriar os mesmos foram pesados. O teor de cinzas foi calculado de acordo com a Equação 06:

$$\text{CZ} = \left(\frac{m_0 - m_1}{m} \right) \times 100$$

Sendo:

CZ: Teor de cinzas
m: massa da amostra
m0: massa do cadinho + resíduo
m1: massa inicial do cadinho

4.6.3. Teor de Carbono Fixo

A determinação do carbono fixo foi calculada de forma indireta, utilizando a Equação 07:

$$\text{CF} = 100 - (\text{CZ} + \text{MV})$$

Sendo:

CF: Teor de carbono fixo

CZ: Teor de cinza

MV: Teor de materiais voláteis

4.7. Análise estatística

Os dados analisados foram submetidos ao teste f (ANOVA) a 5% de probabilidade. O teste foi realizado para cada teor obtido na análise imediata, comparando as diferenças entre os teores das espécies.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A densidade aparente da madeira de *Mimosa caesalpiniaefolia* e da *Cupania racemosa* foi, respectivamente, 0,87 e 0,82 g/cm³ (Tabela 1), que de acordo com o teste f esses valores não diferiram estatisticamente (Anexo 1). Santos (2010) relata que a densidade básica é um parâmetro referencial para a seleção de espécies para usos energéticos. Os valores de densidade encontrados nesse trabalho são considerados altos e de acordo com Brito e Barrichelo (1980), as espécies com densidades elevadas são vantajosas para uso energético e o carvão produzido dessas espécies possui, também, um carvão de densidade alta. Os mesmos autores corroboram que altos valores de densidade podem estar ligados a altos valores de lignina presentes nas madeiras. A densidade aparente encontrada para o Sabiá neste trabalho foi à mesma encontrada por Gonçalves, Fernandes e Andrade (1999).

Durante o processo de carbonização foi registrado a relação do aumento da temperatura com o processo da carbonização (1,4°C/min, após a primeira hora) das amostras de Sabiá (Figura 7) e de Cabatã (Figura 8). Observa-se que o comportamento do regime de carbonização adotado para as duas madeiras são bastante semelhantes. A reação exotérmica durante a carbonização pode ser quantificada através da área sob a curva da temperatura em função do tempo, destacada em cinza nas imagens 7 e 8 (CETEC, 1982). Para cada amostra foi registrado o tempo de acordo com a carbonização e para a representação gráfica foram utilizadas as médias do tempo de cada amostra.

Figura 7 - Comportamento do regime de carbonização adotado para as amostras de Sabiá

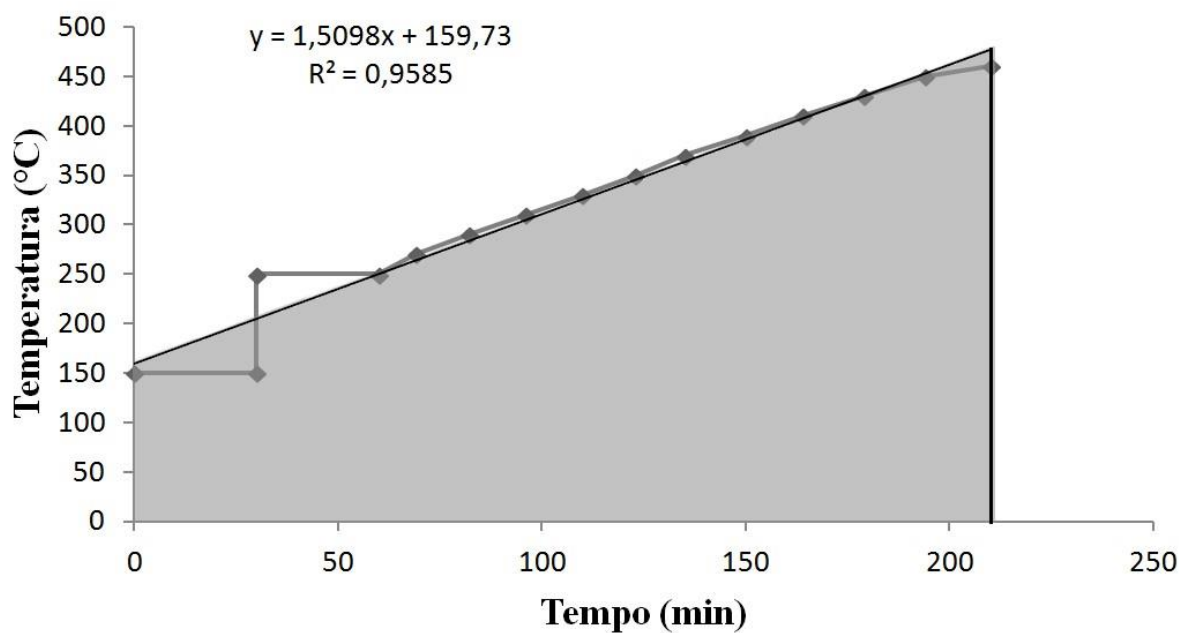
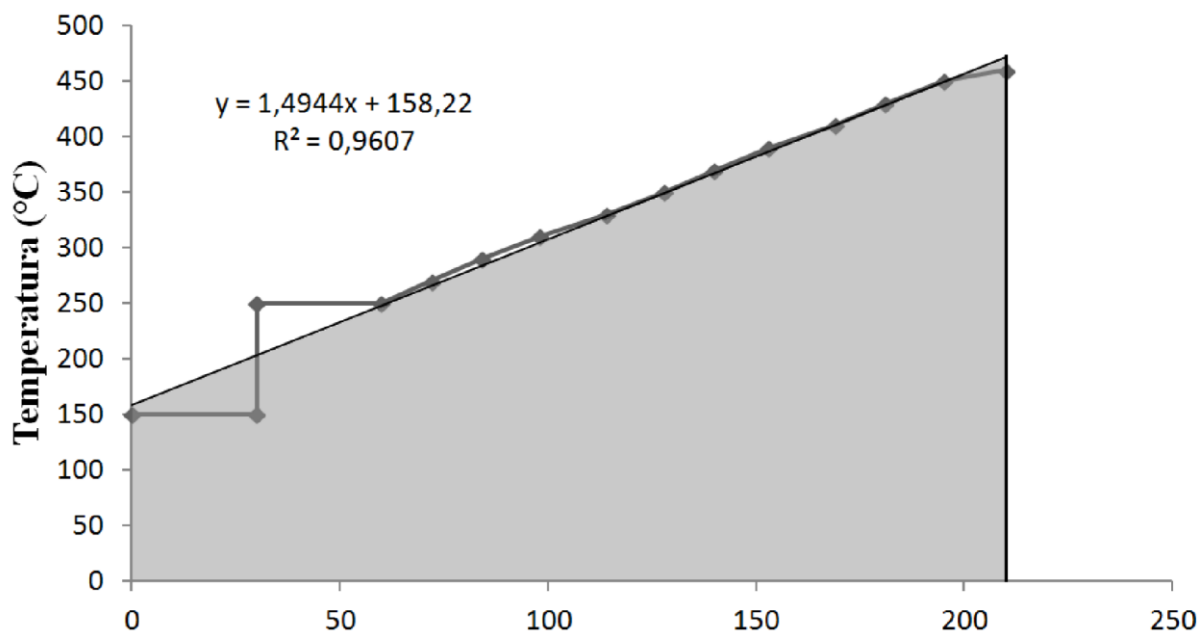


Figura 8 - Comportamento do regime de carbonização adotado para as amostras de Cabatã



A umidade da madeira do Sabiá e do Cabatã foi de 14,77% e 37,23%, respectivamente. De acordo com Pereira et al. (2009), a umidade da madeira influencia diretamente no poder calorífico da mesma. Onde a presença de água na madeira reduz o poder calorífico, por conta do tempo que a água leva para evaporar.

A carbonização das duas madeiras resultou em um rendimento gravimétrico do carvão vegetal de 44,34%, para o Sabiá e 44,12%, para o Cabatã (Tabela 2), que não diferiram estatisticamente quando

submetidos ao teste f (Anexo 2). Sendo esse resultado superior ao encontrado por Gonçalves, Fernandes e Andrade (1999), que relataram o Rendimento Gravimétrico (RG) de 32,04% para a *Mimosa caesalpiniaefolia*. Já para a *Cupania racemosa* não foram encontrados outros trabalhos com essa espécie para comparação dos dados. Os valores de rendimento dessas espécies demonstram um grande potencial das mesmas para produção energética. Os valores de rendimento gravimétrico encontrados neste trabalho demonstram um potencial energético das espécies estudadas, já que os valores dos rendimentos podem ser considerados altos. Na Tabela 1, encontram-se os teores obtidos resultante do processo de análise imediata do carvão das duas espécies.

Tabela 1 – Valores obtidos no processo de carbonização e análise imediata do carvão vegetal de *Mimosa caesalpiniaefolia* e *Cupania racemosa*.

Espécies		Amostra	DA (g/cm³)	RG (%)	MV (%)	CZ (%)	CF (%)
		6	0,84				
	Média		0,87				
	DP		0,08				
	CV		0,09				
Cabatã		1	0,83				
		2	0,88				
		3	0,76				
		4	0,84				
		5	0,81				
		6	0,81				
Sabiá		1	0,83	44,06	58,52	1,69	39,79
		2	1,01	46,1	53,05	2,00	44,95
		3	0,85	43,09	49,36	1,78	48,86
		4	0,80	46,7	38,11	2,69	59,20
		5	0,90	43,13	41,05	0,89	58,06

		42,99	41,28	1,40	57,32	
		44,05	46,90	1,74*	51,36	0,16
		46,26	60,28		1,65	39,12
					8,02	0,60
		8,04				
		0,35				
		0,60				
		43,33	64,41	0,30	35,29	
		42,02	51,05	0,01	48,85	
		46,7	45,28	0,20	54,52	
		45,41	45,99	0,20	53,81	
		41,03	52,00	0,20	47,80	
Média	0,82	44,13	53,17	0,25*	46,57	
DP	0,04	2,34	7,70	0,19	7,81	
CV	0,05	0,05	0,14	0,76	0,17	

DA = Densidade Aparente; RG = Rendimento Gravimétrico; MV = Materiais Voláteis; CZ = Cinzas; CF = Carbono fixo; DP = Desvio Padrão; CV = Coeficiente de Variação.

*diferença significativa

Brito e Barrichelo (1977) afirmam que na escolha de uma espécie para produção de carvão, devem-se escolher as madeiras que possuem baixo teor de cinzas, alto rendimento gravimétrico e madeiras com densidades altas. Santos (2008) relata que para uso siderúrgico o carvão deve ter menos de 1% de teor de cinzas. Além disso, altos teores de cinzas no carvão podem torna-lo inviável para a utilização do mesmo. O teor de cinzas encontrado para a *Mimosa caesalpiniaefolia* foi semelhante ao encontrado na literatura (1,74% para 1,71% de acordo com Gonçalves, Fernandes e Andrade, 1999), porém o teor de cinzas da *Cupania racemosa* foi sete vezes menor que o da *Mimosa caesalpiniaefolia*, apresentando diferença significativa pelo teste f (Anexo 3). Logo, em relação às cinzas, o carvão vegetal do Cabatã é de melhor qualidade quando comparado ao Sabiá e pode ser indicada para uso siderúrgico. Relacionado ao rendimento gravimétrico das duas espécies, ambas apresentaram valores semelhantes e foram elevados, quando comparados a outros valores encontrados na literatura.

Os teores de carbono fixo do Sabiá e do Catabã (51,36 e 46,57%) não foram muito alto quando comparado com valores da literatura e pode estar relacionado ao alto teor de materiais voláteis. Ainda assim o teor de carbono fixo do Cabatã foi maior que a do Sabiá, mas estatisticamente os teores de carbono fixo não apresentaram diferença significativa (Anexo 4). Além dos rendimentos gravimétricos e das densidades dessas espécies, o teor de carbono fixo também está relacionado com a quantidade de lignina presente na estrutura da madeira. O que explicado pela estrutura da lignina

ser formada por grande quantidade de carbono. Como o teor de carbono fixo indica o grau de pureza do carvão (LIMA et al., 2007), pode-se dizer que o carvão das espécies analisadas é do tipo turfa.

O teor de materiais voláteis do Sabiá foi de 46,89%, sendo superior ao encontrado por Gonçalves, Fernandes e Andrade (1999), que registraram 19% de materiais voláteis. O teor de matérias voláteis do Cabatã foi de 55,26%, o que foi consideravelmente alto. Esses altos valores de materiais voláteis podem ter influenciado nos teores de carbono fixo da madeira, já que o cálculo para obtenção de carbono fixo é feito pela subtração dos valores de cinzas e de voláteis. Estatisticamente os teores de matérias voláteis das duas espécies não apresentam diferenças significativas (Anexo 5).

Comparando as espécies estudadas, observa-se que a *Cupania racemosa* possui maior percentagem de carbono fixo e menor valor de teor de cinzas. Já *Mimosa caesalpiniaefolia*, apresenta uma menor percentagem de materiais voláteis e uma maior densidade básica. Ainda com as diferenças relatadas neste trabalho, pode-se considerar que ambas possuem carvão vegetal de boa qualidade, pois estatisticamente o carvão das duas espécies é muito semelhante, diferindo apenas no teor de cinzas. Logo, a madeira das duas espécies é indicada para produção de carvão para fins energéticos.

Em comparação com outras espécies nativas, que são utilizadas para produção de carvão vegetal, os carvões das espécies analisadas apresentaram teores de materiais voláteis superior (Tabela 2). O carvão do Cabatã apresentou o menor teor de cinzas quando comparado com as outras quatro espécies relatadas na Tabela 2. O rendimento gravimétrico do Sabiá e do Cabatã foi superior ao das espécies relatadas por Medeiros e Oliveira (2014) e Paes et al. (2012), já os teores de carbono fixo foram inferiores (Tabela 2).

Tabela 2 - Dados de outras espécies nativas brasileiras usadas para produção de carvão vegetal.

Autor	Espécie	MV(%)	CZ(%)	RG(%)	CF(%)
Medeiros e Oliveira (2014)	<i>Caesalpinia pyramidalis</i> Tul (Catingueira)	34,15	5,27	43,03	60,58
	<i>Tabebuia áurea</i> (Mart.) Bur (Craibeira)	30,36	1,91	37,90	67,67
Paes et al (2012)	<i>Anadenanthera macrocarpa</i> Benth (Angico vermelho)	29,85	3,88	27,00	65,99
	<i>Mimosa tenuiflora</i> (Mart.) Benth. (Jurema preta)	26,27	1,38	28,52	72,36

Autor (2018)	<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i> Benth (Sabiá)	46,89	1,74	44,34	44,49
	<i>Cupania racemose</i> (Vell.) Radlk (Cabatã)	55,26	0,25	44,12	51,36

MV = Materiais voláteis; CZ = Cinzas; RG = Rendimento gravimétrico; CF = Carbono Fixo

6. CONCLUSÃO

Conclui-se que o carvão gerado a partir da carbonização da madeira de *Mimosa caesalpiniaefolia* e *Cupania racemosa* apresentam características satisfatórias para fins energéticos, podendo ser indicadas para geração de energia e são estatisticamente muito semelhantes. Contudo, o carvão advindo da madeira da *Cupania racemosa* apresenta características melhores que o carvão da madeira da *Mimosa caesalpiniaefolia*, pois apresenta um teor de cinzas muito baixo, o que é preferível para produção energética.

7. REFERÊNCIAS

ABBASI, T.; ABBASI, S.A. Biomass energy and the environmental impacts associated with its production and utilization. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. V. 14, Issue 3, 2012. P. 919-937. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032109002688>>. Acesso em: 05 mar. 2018.

ABRAF. Anuário Estatístico Abraf 2013. **Associação de Produtores de Florestas Palntadas**. Disponível em: <http://www.sifloresta.ufv.br/bitstream/handle/.../anuario-ABRAF-2013.pdf?>> Acesso em: 04 mar. 2018.

AKPINAR, A. et al. Energy situation and renewables in Turkey and environmental effects of energy use. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. V.12, Issue 8, 2008, p.2013–2039. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032107000640>>. Acesso em: 05 mar. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 8112: Carvão vegetal: análise imediata. Rio de Janeiro: ABNT, 1986, 5p.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: I., densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, n. 14, p. 9-20, 1977.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: I., densidade da madeira x densidade do carvão. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, n. 20, p. 101-113, 1980

BRITO, José Otávio; BARRICHELO, Luiz e G. **Série Técnica**: Considerações sobre a produção de carvão vegetal com madeiras da amazônia. Disponível em:

<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/carvaovegetal3_000g7dup2ob02wx5ok0wtedt3oik6pqb.pdf>. Acesso em: 23 dez. 2017.

CARVALHO, Paulo Ernani Ramalho. **Sabiá Mimosa caesalpinifolia**. Circular técnica n. 135, EMBRAPA, Nov. 2007.

CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS Processo de carbonização contínua da madeira. In: Produção e utilização de carvão vegetal. Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC. 1982. 393 p.

COLOMBO, Sueli de Fátima de Oliveira; PIMENTA, Alexandre Santos; HATAKEYAMA, Kazuo. Produção de carvão vegetal em fornos cilíndricos verticais: um modelo sustentável. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XIII, 2006, Bauru - Sp. **Anais**.

CPRH. **Árvores da Mata Atlântica**: Caboatã. Disponível em: <<http://www.cprh.pe.gov.br/rbma/ctudo-arvores-mata-caboata.asp>>. Acesso em: 12 jan. 2018.

DRUMOND, Marcos Antonio. **Plantas com potencial madeireiro e de múltiplo uso**. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1046659/1/cadernosmadeireirodrumond.pdf>>. Acesso em: 9 jan. 2018.

EMBRAPA. **Mapa exploratório**: Reconhecimento de solos do município de Chã Grande, PE. Disponível em: <<http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/pe/chagrande.pdf>>. Acesso em: 21 dez. 2017.

GADELHA, Fernando Henrique de Lima. **Desempenho Silvicultural e avaliação econômica de clones híbridos de eucaliptos plantados em diferentes regimes de manejo para fins energéticos**. 147 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Florestais, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2014.

GARIGLIO, Maria Auxiliadora et al. Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga. In: RIEGELHAUPT, E. M.; PAREYN, F. G. C.(Org.). **Questão energética**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. p. 65-75.

GONÇALVES, Celso de Almeida; FERNANDES, Milton Marques; ANDRADE, Azarias

Machado de. Celulose e carvão vegetal de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth (Sabiá). **Floresta e Ambiente**, v. 6, n. 1, p.51-58, jan./dez. 1999.

GUARIM NETO, Germano; SANTANA, Santana Rodrigues; SILVA, Josefa Bezerra da. Notas Etnobotânicas de espécies de Sapindaceae jussieu. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte - MG, v. 14, n. 3, p.327-334, mai. 2000.

GUEDES, Carmen Luisa Barbosa et al. Avaliação de Biocombustível derivado do Bio-óleo obtido por pirólise rápida de biomassa lignocelulósica como aditivo para gasolina. **Química Nova**, São Paulo - Sp, v. 33, n. 4, p.781-786, 2010.

INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório 2017**. 2017. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2018.

KIMURA, Lygia Maestri. **Uma contribuição à pirólise de biomassa: avaliação de alguns resíduos da agroindústria como fonte de energia alternativa**. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG, 2009.

MEDEIROS, P. N. N., OLIVEIRA, E, PAES, J. B. **Vegetal de duas Espécies da Caatinga (Pósgraduação em Ciências Florestais, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, Jerônimo Monteiro/ES, Brasil Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal – UFCG, Patos/PB 2014.**

OLIVEIRA, Elisabeth et al. Estrutura anatômica da madeira e qualidade do carvão de *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 30, n. 2, p.311-318, 2006.

PAES, J. B. LIMA C. R., OLIVEIRA E. SANTOS, H. C. M. **Rendimento e Caracterização do Carvão Vegetal de Três Espécies de Ocorrência no Semiárido Brasileiro - Ciência da Madeira (Braz. J. Wood Sci.)**, Pelotas/RS, v. 03, n. 01, Maio de 2012.

PAULA, José Elias de. Madeiras que produzem álcool, coque e carvão. **Atualidades do Conselho Nacional do Petróleo**, Rio de Janeiro, ano 12, n. 72, p.31-45, jun./jul./ago. 1980.

PEDROZA, Marcelo Mendes. **Bio-óleo e Biogás da degradação termoquímica de lodo de esgoto doméstico em cilindro rotativo**. 236 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN, 2011.

PINHEIRO, P. C. C. et al. A produção de carvão vegetal: teoria e prática. Belo Horizonte, 2006.

RIBASKI, Jorge et al., **Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) Árvore de Múltiplo uso no Brasil**. Colombo, PR: EMBRAPA, 2003. 4 p. (EMBRAPA. Comunicado técnico, 104).

SANTOS, André Luiz da Silva. **Integração de comunidades rurais com recursos vegetais: o caso dos remanescentes de floresta estacional do município de Junqueiro (AL-Brasil)**. 134 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

SANTOS, I. D. **Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica, contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado.** 2008. 57 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade de Brasília, Brasília.

SANTOS, Rosimere Cavalcante dos. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto.** 173 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência e Tecnologia da Madeira, Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG, 2010.

SANTOS, S. F. O. M.; HATAKEYAMA, K. Processo sustentável de produção de carvão vegetal quanto aos aspectos: ambiental, econômico, social e cultural. **Produção**, v.22, n.2, p.309-321, 2012.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga.** 2010. Disponível em:

<http://www.mma.gov.br/estruturas/sfb/_arquivos/web_uso_sustentvel_e_conservao_dos_recursos_florestais_da_caatinga_95.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2017.

SOARES, Vássia Carvalho. **Comportamento térmico, químico e físico da madeira e do carvão de Eucalyptus urophylla X Eucalyptus grandis em diferentes idades.** 109 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência e Tecnologia da Madeira, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

SOMNER, G.V.; FERRUCCI, M.S.; ACEVEDO-RODRÍGUEZ, P. 2015 *Cupania* in **Lista de Espécies da Flora do Brasil.** Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em:

<<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB20896>>. Acesso em: 09 jan. 2018.

8. ANEXOS

Anexo 1 - Tabela da ANOVA para as densidades aparentes.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,0075	1	0,0075	2,073733	0,180417	4,964603
Dentro dos grupos	0,036167	10	0,003617			
Total	0,043667	11				

2 - Tabela da ANOVA para os rendimentos gravimétricos.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,1452	1	0,1452	0,035349	0,854628	4,964603
Dentro dos grupos	41,0767	10	4,10767			
Total	41,2219	11				

3 - Tabela da ANOVA para os teores de cinzas.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	6,6603	1	6,6603	33,26214	0,000181	4,964603
Dentro dos grupos	2,002367	10	0,200237			
Total	8,662667	11				

4 - Tabela da ANOVA para os teores de carbono fixo.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	69,07201	1	69,07201	1,099606	0,319035	4,964603
Dentro dos grupos	628,1523	10	62,81523			
Total	697,2243	11				

5 - Tabela da ANOVA para os teores de materiais voláteis.

Anexo

Anexo

Anexo

Anexo

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	118,0641	1	118,0641	1,908796	0,197182	4,964603
Dentro dos grupos	618,5268	10	61,85268			
Total	736,591	11				