

LUMENA BORONI VALADARES

PROPRIEDADES DA MADEIRA E DO CARVÃO VEGETAL DE *Artocarpus heterophyllus* Lamk.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
SETEMBRO – 2013

LUMENA BORONI VALADARES

PROPRIEDADES DA MADEIRA E DO CARVÃO VEGETAL DE *Artocarpus heterophyllus* Lamk.

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do curso de graduação em Engenharia Florestal.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
SETEMBRO – 2013

LUMENA BORONI VALADARES

PROPRIEDADES DA MADEIRA E DO CARVÃO VEGETAL DE *Artocarpus heterophyllus* Lamk.

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do curso de graduação em Engenharia Florestal.

APROVADA em Setembro de 2013

Prof. Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho
(ORIENTADORA)

Bárbara Luíza Corradi Pereira

Aylson Costa Oliveira

AGRADECIMENTOS

As professoras Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho e Angélica de Cássia Oliveira Carneiro pela constante orientação e incentivos.

A Deus, por proporcionar tantas alegrias em minha vida!

Aos meus pais, Jesus Valadares Filho e Rossélis Elias Soares ,ao meu irmão Guilherme Boroni Valadares e familiares.

Aos funcionários do Laboratório de Propriedades da Madeira (LPM – DEF/UFV), Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM – DEF/UFV).

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Florestal, pelas oportunidades.

Aos meus amigos, pelo companheirismo e amizade.

Aos doutorandos e amigos, Bárbara Luísa Corradi Pereira e Aylson Costa Oliveira, por todos os ensinamentos e compreensão.

BIOGRAFIA

Lumena Boroni Valadares, filha de Jesus Valadares Filho e de Rossélis Elias Soares, nasceu em 10 de março de 1989, em Uruçânia, Minas Gerais.

Em 2006, concluiu o 2º grau no Colégio Salesiano Dom Helvécio em Ponte Nova, Minas Gerais. Iniciou em 2008 o curso de Engenharia Florestal, na Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em setembro de 2013.

CONTEÚDO

LISTA DE TABELAS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
EXTRATO.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Caracterização da Espécie.....	3
2.2.1. Histórico.....	3
2.1.2. A Espécie.....	4
2.2. Propriedades da Madeira.....	5
2.3. Carbonização da Madeira.....	8
2.4. Propriedades do Carvão Vegetal.....	9
3. OBJETIVOS.....	12
3.1. Objetivos específicos.....	12
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	13
4.1. MATERIAL.....	13
4.2. MÉTODOS.....	14
4.2.1. Propriedades da madeira.....	14
4.2.1.1. Anatomia qualitativa e quantitativa.....	14

4.2.1.2. Composição química e Poder calorífico superior da madeira.....	15
4.2.1.3. Densidade básica	16
4.2.1.4. Propriedades mecânicas	16
4.2.2. Carbonização da madeira.....	17
4.2.3. Propriedades do Carvão Vegetal.....	17
4.2.3.1. Densidade Relativa Verdadeira	18
4.2.3.2. Densidade Relativa Aparente	18
4.2.3.3. Porosidade.....	18
4.2.3.4. Poder Calorífico Superior (PCS).....	18
4.2.1.5. Composição Química Imediata.....	19
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5.1. Propriedades da madeira.....	20
5.2. Propriedades do Carvão Vegetal.....	25
6. CONCLUSÃO.....	28
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Valores médios referentes aos parâmetros anatômicos de fibras e vasos da madeira de *Artocarpus heterophyllus*21

TABELA 2 – Valores médios de densidade básica, poder calorífico superior e composição química da madeira de *Artocarpus heterophyllus*.....22

TABELA 3 – Valores médios referentes as propriedades da madeira de *Artocarpus heterophyllus*.....24

TABELA 4 – Valores médios de rendimento gravimétrico, densidade verdadeira, densidade aparente e porosidade do carvão vegetal de *Artocarpus heterophyllus*.....25

TABELA 5 - Valores médios de materiais voláteis, carbono fixo, cinzas e poder calorífico superior do carvão vegetal de *Artocarpus heterophyllus*.....26

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Seção transversal (A), tangencial (B) e radial (C) da madeira de <i>Artocarpus heterophyllus</i>	20
---	----

EXTRATO

VALADARES, Lumena Boroni Valadares, Universidade Federal de Viçosa, Setembro de 2013. **Propriedades da madeira e do carvão vegetal de *Artocarpus heterophyllus* Lamk.** Orientadora: Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho.

A espécie *Artocarpus heterophyllus* (Lamk.), conhecida popularmente como jaqueira é originária da Índia e foi introduzida em território brasileiro no Estado da Bahia. Sua madeira tem sido utilizada na construção civil e naval, além de serrarias para a fabricação de móveis, porém as árvores não são plantadas com a finalidade de conduzi-las para a movelaria, assim sendo ocorre grande quantidade de geração de resíduos. O objetivo deste trabalho foi determinar as propriedades da madeira de *Artocarpus heterophyllus* e do carvão vegetal proveniente desta. Determinou-se densidade básica, poder calorífico superior (PCS), composição química, caracterização anatômica qualitativa e quantitativa, além das seguintes propriedades mecânicas: compressão, flexão estática e cisalhamento da madeira. As carbonizações foram realizadas em forno laboratorial tipo mufla, com temperatura final de 400 °C, e com ciclo de carbonização de duração de 4,5 horas. Depois determinou o poder calorífico superior (PCS), a densidade aparente e verdadeira, a composição química

imediate e a porosidade do carvão vegetal. A densidade básica média da madeira foi de 0,55 g/cm³ e o PCS de 4816,00 kcal/kg. Os valores de lignina total, holoceluloses, extrativos e cinzas, foram respectivamente 31,25; 53,40; 15,35 e 1,87%. Para as propriedades mecânicas obteve-se os seguintes valores médios 4303,87, 3889,18 e 878,08 MPa, para compressão, flexão estática e cisalhamento. O rendimento gravimétrico em carvão vegetal foi de 42,24%, valor relativamente alto e o rendimento em gases não condensáveis (31,25%) superior ao rendimento em gases condensáveis (26,51%). Os valores de densidade aparente do carvão vegetal pelo método de imersão em mercúrio e flutuação em água foram semelhantes, 0,339 e 0,391 g/cm³, respectivamente, a densidade verdadeira foi 1,006933 g/cm³, obtendo-se uma porosidade variando de 61 a 65% . Os valores encontrados para materiais voláteis, carbono fixo e cinzas foram respectivamente 29,26%, 68,53% e 2,21% e o poder calorífico superior foi 6.844,67 kcal/kg, valores não satisfatórios para uso siderúrgico. A madeira de *Artocarpus heterophyllus* apresentou características apropriadas para a produção de carvão vegetal, porém a marcha de carbonização utilizada não resultou em um carvão vegetal com propriedades adequadas, sendo recomendados estudos para determinar a marcha de carbonização ideal.

1. INTRODUÇÃO

O gênero *Artocarpus* (Moraceae) compreende aproximadamente 1.500 espécies, com ampla distribuição em regiões tropicais e subtropicais ocorrendo naturalmente na Ásia e no Brasil, sendo que a família Moraceae constitui cerca de 27 gêneros incluindo árvores, arbustos, ervas ou lianas (SOUZA *et al.*, 2005).

A espécie *Artocarpus heterophyllus* (Lamk.), é uma frutífera exótica, originária da Índia, introduzida em território brasileiro nos tempos coloniais na metade do século XVII, no Estado da Bahia, sendo conhecida popularmente como jaqueira. Atualmente é amplamente cultivada em pomares domésticos de todas as regiões tropicais do país.

A espécie *Artocarpus heterophyllus* apresenta segundo Braz *et al.* (2010) porte ereto, altura variando de 20 a 25 metros, normalmente com diâmetro médio acima de 1m, além de uma copa densa e irregular.

A madeira proveniente de *Artocarpus heterophyllus* tem sido utilizada na construção civil e naval, além de serrarias para a fabricação de móveis. O intenso uso na fabricação de móveis rústicos, nos últimos anos, levou ao aumento do número de carpintarias na Bahia (CUNHA, 2006).

A madeira possui cerne amarelo brilhante, é resistente, com boa durabilidade natural e de fácil trabalhabilidade. A madeira é considerada de

primeira qualidade no setor mobiliário, em construções civis (portas, janelas, vigas de telhado), postes, remos e instrumentos musicais, como o violino (GUNASENA, 1993).

A madeira de *Artocarpus heterophyllus* tem sido muito utilizada para a produção de móveis rústicos no nordeste do país, porém não há condução apropriada das árvores para a movelaria.

Normalmente as árvores são plantadas para a produção de frutos. Assim sendo ocorre grande quantidade de geração de resíduos que poderão ser utilizadas para a produção de carvão vegetal, juntamente com outras madeiras, principalmente do gênero *Eucalyptus*, sem que o lote de carvão vegetal produzido seja prejudicado, caso as características do carvão vegetal de *Artocarpus heterophyllus* sejam satisfatórias e próximas as do carvão vegetal produzido com madeira de *Eucalyptus*.

Há escassez de trabalhos com a madeira da referida espécie, apesar de ser a espécie mais difundida do gênero *Artocarpus*, sendo que os trabalhos encontrados na literatura referem-se aos seus frutos (BARBOSA, *et. al.*, 2011).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Caracterização da Espécie

2.1.1. Histórico

Os registros mais antigos da ligação da jaqueira, *Artocarpus heterophyllus*, à cultura humana remontam à civilização Harappana e englobam o período entre 2500 a 1000 aC, incluindo os sítios de Mohenjo-Daro, Kalibangan, Banawali e Nausharo, localizados ao longo do vale do rio Indo, uma região atualmente localizada entre o Paquistão e noroeste da Índia. Para aquela civilização, a espécie *A. heterophyllus* era a planta do mês solar Mithuna que marcava o início da estação Grīsmá, o verão (CALAZANS, 2005).

Esta espécie é nativa das florestas tropicais da região de Ghats ocidental na Índia, crescendo entre altitudes de 450-1200 m. É cultivada em todo o sudeste asiático (THOMAS, 1980), em especial na Índia, onde ocupa uma área de cultivo de, aproximadamente, 26.000 ha (WARRIER *et al.*, 2009).

As grandes navegações que desencadearam o processo europeu de expansão colonialista, permitiram a disseminação de *A. heterophyllus* pelas novas colônias tropicais na América e na África, atendendo a determinações do

rei de Portugal, pelas quais os vice-reis da Índia deveriam enviar à metrópole e às suas colônias as plantas de interesse utilitário para viabilizar seu cultivo (FERRÃO,1993). No Brasil ela foi introduzida no nordeste em meados do século XVII (MORTON, 1965), sendo que o primeiro registro remessas de jaqueiras ao país foi em janeiro de 1683 (FERRÃO, 1993), sendo a chegada na província da Bahia (DEAN, 2002).

A jaqueira passou a fazer parte da relação das muitas espécies exóticas empregadas no paisagismo, tendo sido amplamente utilizada pelo francês Auguste Glaziou, contratado por D. Pedro II, em meados do século XIX (SANTOS *et al.*, 2008).

Hoje não é mais utilizada no paisagismo, pois ela representa uma ameaça às espécies nativas devido à agressividade de sua propagação, caracterizando um processo de bioinvasão (ABREU *et al.*, 2005; SANTOS *et al.*, 2008).

2.1.2. A Espécie

O nome genérico e o epíteto *Artocarpus* têm origem grega: ártos – alimento e karpós – fruto. O epíteto *heterophyllus* significa “diferentes folhas”, tais folhas são inteiras na árvore adulta, mas recortadas nos indivíduos juvenis (CHAVES,1967).

A jaqueira (*Artocarpus heterophyllus*) pertence à família *Moraceae*. Além do uso na alimentação, diversos autores têm indicado o potencial medicinal desta espécie, pela sua ação, por exemplo, na atividade hipoglicêmica (FERNANDO, 1990) e no metabolismo ligado à produção de melanina (ARUNG *et al.*, 2006), dentre outros.

Considerada uma árvore de grande porte, atinge mais de 10 m de altura, seu tronco pode ultrapassar 1 m de diâmetro. Possuem folhas alternas, que amarelecem no próprio indivíduo, antes de caírem. As flores masculinas e femininas são vistas em inflorescências distintas, saindo diretamente do tronco. O fruto da jaqueira, um dos maiores que se conhece, é na realidade uma infrutescência formada pelo agregado dos ovários de centenas de flores

femininas, cada uma delas contendo uma semente. Uma jaqueira bem desenvolvida chega a produzir até 100 frutos por ano, alguns deles chegando a pesar mais de 30 quilos. Sua madeira é utilizada para construções navais devido a sua capacidade de resistência em meio líquido e na Bahia fazem-se móveis com as variedades de jaqueiras cultivadas (CHAVES,1967).

2.2. Propriedades da Madeira

A madeira é um material heterogêneo, possuindo diferentes tipos de células, adaptadas a desempenharem funções específicas. As variações nas composições químicas, físicas, anatômicas e mecânicas da madeira são grandes entre espécies, embora dentro da mesma espécie elas também ocorram, em função principalmente da idade, fatores genéticos e ambientais. Dentro de uma mesma espécie, ocorrem variações significativas na altura do tronco e na direção da medula até a casca. Além disso, existem diferenças entre o cerne e o alburno, madeira de início e fim de estação de crescimento e, em escala microscópica, entre células individuais (TRUGILHO , *et al.* 1996).

As fibras são células peculiares das angiospermas, constituindo geralmente a maior porcentagem de seu lenho (20-80%), no qual normalmente desempenham a função de sustentação (BURGER & RICHTER, 1991).

Paula (2005) afirmou que a análise morfológica das fibras fornece informações auxiliares na indicação de espécies potenciais para produção de carvão vegetal, recomendando madeiras caracterizadas pela presença de fibras com fração parede alta, acima de 60%, característica que está aliada à ocorrência de alta densidade básica.

A espessura da parede das fibras está intimamente relacionada com a densidade da madeira, e as variações na espessura da parede entre e dentro das árvores são similares ao padrão de variação da densidade (MALAN, 1995).

Os elementos de vasos desempenham no lenho funcional das árvores (alburno) a função de condução de seiva mineral das raízes até a copa das árvores. Os vasos variam quanto à frequência, diâmetro, forma e arranjo dentro da árvore. No sentido medula-casca, ocorre aumento no diâmetro dos

elementos de vasos e redução na sua freqüência ao longo dos anéis sucessivos de crescimento, tendendo à estabilização na madeira adulta (SILVA *et al.*, 2007).

A composição química da madeira é complexa. Os tecidos das madeiras são constituídos de muitos componentes químicos que estão distribuídos desuniformemente.

Cada componente está presente em quantidades específicas e possui características bem definidas, que podem ser influenciadas pelas condições sob as quais a madeira está submetida. A celulose é o principal componente da parede celular dos vegetais, e o mais abundante composto orgânico da natureza. Nos vegetais superiores aparece, principalmente, sob a forma de fibras, ao lado de outros componentes fundamentais e acidentais (ROWELL , *et al.* 2005).

As hemiceluloses juntamente com a celulose formam a fração da madeira denominada holoceluloses. As hemiceluloses são os principais polissacarídeos não-celulósicos da madeira, estando sempre associados à lignina e à celulose. Ocorrem ao longo de toda a parede celular desde a lamela média, até a camada S3 da parede secundária. Entretanto, o seu teor é maior nas camadas S1 e S3 e menor em S2 (ROWELL , *et al.* 2005).

A lignina é um polímero de natureza aromática e tridimensional, com alto peso molecular, que tem como base estrutural unidades de fenil-propano ligadas a grupos metoxílicos e hidroxílicos, dependendo do tipo de madeira (ROWELL , *et al.* 2005).

Segundo Sjöstrom (1993), as unidades de fenil-propano são mantidas juntas, tanto por ligações éter (C-OC) como ligações carbono-carbono (C-C). A ligação éter é dominante, apresentando aproximadamente 2/3 ou mais das ligações da lignina, e o restante é do tipo carbono-carbono.

A lignina encontra-se intimamente associada aos carboidratos da madeira, não só através de entrelaçamento físico, mas também, através de ligações químicas (BARRICHELO *et al.*, 1985). A lignina se apresenta como o componente mais hidrofóbico da madeira, atuando como material cimentante

ou adesivo entre as fibras (PETTERSEN, 1984) além de conferir dureza e rigidez à parede celular.

Segundo Barrichelo *et al.* (1985), os extrativos são componentes que não fazem parte da estrutura química da parede celular. Incluem um elevado número de compostos, sendo que a maioria são solúveis em água quente, álcool, benzeno e outros solventes orgânicos neutros. Apresentam baixo ou médio peso molecular, exceto alguns, como por exemplo os taninos.

De acordo com Pettersen (1984), a presença de alguns desses componentes influencia a resistência ao ataque de fungos e insetos, a coloração, o odor, a permeabilidade, a densidade e a dureza da madeira. Podem constituir até 8% do peso seco de madeiras normais de espécies de clima temperado, podendo chegar a até 20% em madeiras normais de espécies de clima tropical.

O conteúdo dos componentes minerais da madeira é normalmente pequeno, formado principalmente por óxidos minerais, tais como: óxidos de cálcio, de magnésio, de fósforo, de silício, de potássio, dentre outros. De acordo com Tsoumis (1991), o conteúdo de cinzas raramente é menor que 0,2% ou maior que 1% do peso seco das madeiras. A presença de alguns desses componentes, como o cálcio, o fósforo e o enxofre, em dosagens elevadas, são prejudiciais e até mesmo limitantes, para determinadas finalidades industriais.

A densidade básica é uma característica resultante da interação entre as propriedades químicas e anatômicas da madeira, sendo uma propriedade fácil de ser determinada e um excelente índice para a análise da viabilidade de seu emprego para diversas finalidades (PANSHIN & DeZEENW, 1980).

A densidade é uma das propriedades da madeira mais importante e mais estudada, podendo variar de 0,13 a 1,40 g/cm³ (BURGER & RICHTER, 1991). Está diretamente relacionada ao volume vazio dos poros e, com outras propriedades físicas e mecânicas como resistência a compressão, flexão estática e cisalhamento. A densidade básica é definida como a massa seca por unidade de volume saturado (BOWYER, *et al.*, 2003) sendo a forma mais utilizada, entre várias, para expressar essa característica física da matéria.

Sabe-se que as propriedades mecânicas da madeira são dependentes, principalmente, da densidade básica, da porcentagem de madeira juvenil, da largura dos anéis, do ângulo das microfibrilas, da inclinação da grã, da quantidade de extrativos, do teor de umidade, do tipo e da localização e quantidade de nós, dentre outros fatores (EVANS *et al.*, 2000).

Em geral, a madeira de árvores mais jovens, constituída de alta porcentagem de lenho juvenil na seção do tronco, possui propriedades mecânicas inferiores que nas árvores maduras. Pearson & Gilmore (1980) demonstraram que o Módulo de Ruptura (MOR) em árvores de quinze anos de idade foi em média 76% menor quando comparado a árvores com 41 anos de idade.

O poder calorífico define-se como a quantidade de energia na forma de calor liberada pela combustão de uma unidade de massa da madeira (JARA, 1989). No Sistema Internacional o poder calorífico é expresso em joules por grama ou quilojoules por quilo, mas pode ser expresso em calorias por grama ou quilocalorias por quilograma, segundo Briane & Doat (1985).

O poder calorífico divide-se em superior e inferior. O poder calorífico superior é aquele em que a combustão se efetua a volume constante e no qual a água formada durante a combustão é condensada e o calor que é derivado desta condensação é recuperado (BRIANE & DOAT, 1985).

O poder calorífico inferior é a energia efetivamente disponível por unidade de massa de combustível após deduzir as perdas com a evaporação da água (JARA, 1989).

2.3. Carbonização da madeira

A madeira, quando submetida a ação do calor, em temperaturas acima de 200°C, sofre um processo de transformação no qual todos os seus componentes são exaustivamente modificados (GOMES & OLIVEIRA, 1982).

Carbonização é um processo de decomposição térmica da madeira, que ocorre na ausência ou presença de quantidades controladas de oxigênio, gerando um resíduo sólido, chamado carvão vegetal (WENZL, 1970). O

processo, além do carvão, gera vapor d'água, líquidos orgânicos e gases não-condensáveis, ficando o carvão vegetal como resíduo sólido (GOMES & OLIVEIRA, 1982).

A carbonização da madeira envolve, portanto, fenômenos demasiadamente complexos que possibilitam a geração de um elevado número de compostos. Ela pode ser dividida em quatro etapas conforme As faixas de temperatura (MEDEIROS & RESENDE, 1983; OLIVEIRA *et. al.*, 1982c): a) abaixo de 200° C - praticamente só ocorre a secagem da madeira; b) de 200 a 280° C - predominância de reações endotérmicas, com liberação de ácido acético, metanol, água, CO₂ e outros; c) de 280 a 500° C - predominância de reações exotérmicas, que levam à liberação de gases combustíveis (CO, CH₄ e outros) e alcatrões; e d) acima de 500° C - liberação de pequenas quantidades de voláteis, em especial H₂.

Essas etapas podem ocorrer de modo simultâneo durante a carbonização. Em cada faixa de temperatura ocorre maior degradação de determinado componente da madeira, gerando diferentes produtos. A temperatura de carbonização é, portanto, uma das variáveis responsáveis, juntamente com a espécie, pela qualidade final do carvão vegetal. Ela desempenha um papel fundamental nas diversas reações durante o processo de carbonização, levando à geração de produtos com características físicas e químicas diferentes (TRUGILHO & SILVA, 2001).

2.4. Propriedades do Carvão Vegetal

Segundo Trugilho & Silva (2001), as propriedades do carvão vegetal estão diretamente relacionadas às características físicas, químicas e anatômicas da madeira utilizada na sua produção. Entre todas as características físicas da madeira, a densidade básica é a que tem maior influência sobre a qualidade do carvão e entre as características químicas o destaca-se o teor de lignina.

As características usualmente determinadas no carvão vegetal, para definir sua qualidade são os teores de umidade, de materiais voláteis, de

cinzas e de carbono fixo; densidade; porosidade; poder calorífico superior; friabilidade; reatividade; e rendimento gravimétrico (OLIVEIRA *et al.*, 1982c).

O carbono fixo corresponde à quantidade de carbono presente no carvão vegetal e está relacionado com o poder calorífico, sendo uma das características químicas de maior influência na sua utilização (OLIVEIRA *et al.*, 1982b; BRITO, 1993).

As cinzas são provenientes dos componentes minerais presentes na madeira e na casca e podem ser prejudiciais no processo siderúrgico de alguns metais (VITAL *et al.*, 1986).

O teor de materiais voláteis pode afetar a estrutura do carvão vegetal, pois a porosidade, o diâmetro médio dos poros, a densidade e outras características físicas do carvão podem ser alterados pela eliminação dos voláteis (OLIVEIRA, 2003; OLIVEIRA *et al.*, 2006).

A taxa de aquecimento ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$), que é o quanto se aumenta a temperatura em um intervalo de tempo, expressa este binômio tempo-temperatura. Maiores taxas de aquecimento acarretam em diminuição no rendimento em carvão, nos teores de materiais voláteis e nos valores de densidade aparente (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

Enquanto que para teores de carbono fixo e cinzas, maiores taxas de aquecimento, implicam em aumento desses valores. A razão de tal comportamento parece estar relacionada com a eliminação rápida dos gases formados no leito de carbonização quando a velocidade é maior (VELLA *et al.*, 1989).

A qualidade da madeira e o processo de carbonização influenciam o rendimento gravimétrico do carvão vegetal, apresentando valores entre 30 e 34%, em base seca na produção comercial.

Densidade aparente é a massa contida de um dado material em uma unidade de volume, é expressa em kg de carvão/ m^3 ou kg de carbono/ m^3 . A densidade verdadeira é a medida da densidade da substância que compõe o carvão vegetal, isto é, a densidade aparente, descontando-se o volume da porosidade interna (OLIVEIRA *et al.* 2010)

Quando se relaciona a densidade verdadeira com a aparente, tem-se a medida da porosidade do carvão (OLIVEIRA *et al.*2010). A porosidade é a medida de espaço vazio em um material, é uma característica singular do carvão vegetal influenciando na densidade, higroscopicidade e reatividade (ASSIS, 2008).

3. OBJETIVOS

Caracterizar a madeira de *Artocarpus heterophyllus* para a produção de carvão vegetal e para outros usos potenciais.

3.1. Objetivos específicos

- Determinar as propriedades anatômicas, químicas, físicas e mecânicas da madeira.
- Determinar o rendimento gravimétrico em carvão vegetal, gases condensáveis e não condensáveis.
- Determinar as propriedades físicas e químicas do carvão vegetal.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Material

Selecionaram-se oito árvores da espécie de *Artocarpus heterophyllus*, com aproximadamente 35 anos de idade, de cada árvore foi coletada uma amostra de torete de 90cm de altura do fuste, na região do DAP (diâmetro à altura do peito), para a caracterização da madeira e também produção do carvão vegetal proveniente da mesma.

O material utilizado para a realização deste estudo foi coletado na cidade de Cruz das Almas, Bahia. A altitude é de 200 m, clima “Aw” e “Am”, tropical quente e úmido, segundo a classificação de Köppen. A pluviosidade média anual é de 1224 mm. A umidade relativa do ar é de aproximadamente 80% e a temperatura média anual é de 24,5°C.

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Propriedades da Madeira e no Laboratório de Painéis e Energia do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

4.2. Métodos

4.2.1. Propriedades da madeira

4.2.1.1. Anatomia qualitativa e quantitativa

Neste estudo, a caracterização anatômica quantitativa da madeira de *Artocarpus heterophyllus*, foi realizada através da avaliação das regiões de cerne, alburno e transição entre cerne e alburno. As amostras foram confeccionadas com formato retangular, apresentando dimensões de 2,0 x 2,0 x 3,0 cm, sendo a última no sentido longitudinal.

Primeiramente, das amostras de madeira, foram retirados pequenos fragmentos (palitos muito finos) ao longo do sentido radial, correspondente às partes mais periféricas e superficiais dos corpos-de-prova e, em seguida, colocados num tubo de ensaio, com solução de peróxido de hidrogênio, segundo método preconizado por Dadswell (1972). A mistura foi deixada na estufa, à temperatura de 60°C, por um período médio de setenta e duas horas, até a completa dissociação da madeira. Após a individualização das fibras, utilizou-se o corante azul de astra, na concentração de 1%, e depois este material foi armazenado em água destilada e devidamente identificado. Posteriormente, montaram-se lâminas temporárias e mediram-se trinta fibras, individualmente, medindo-lhes o comprimento, a largura e o diâmetro do lume.

A espessura da parede foi obtida por cálculo matemático, relacionado à metade da diferença entre a largura e o diâmetro do lume, através da seguinte fórmula, descrita pela Equação 1:

$$EP = (LF - DP) / 2 \quad \text{(Equação 1)}$$

em que: EP= Espessura da parede da fibra(μm); LF= Largura da fibra(μm); DL= Diâmetro do lume da fibra(μm).

A fração parede (FP) foi estimada conforme Foelkel *et al.* (1975), , através da seguinte fórmula, descrita pela Equação 2:

$$FP = \{(2 * EP) / DF\} * 100$$

(Equação 2)

em que: FP = Fração Parede; EP= Espessura da parede da fibra(μm); e DF= Diâmetro de fibra, em μm .

Após a retirada dos fragmentos de madeira usados para a maceração, as amostras foram colocadas em água quente em ebulição, por um período de 48 horas, para amolecimento e, em seguida, levadas ao micrótomo para a retirada de finas seções nos três planos de observação, com cerca de 16 μm de espessura, para a realização da medição do diâmetro e frequência de vasos e também da descrição anatômica qualitativa.

Para a análise da frequência e diâmetro dos vasos foram montadas lâminas permanentes com as seções transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial da região de transição entre cerne e alburno, as quais foram utilizadas também para a descrição anatômica qualitativa da madeira de *Artocarpus heterophyllus*. Os cortes anatômicos foram desidratados em série alcoólica crescente, corados com solução de safranina, na concentração de 1% e, finalmente, as lâminas foram montadas com Entelan.

Para as medições anatômicas de fibras e vasos, as lâminas foram analisadas em microscópio ótico de luz, dotado de um sistema de captura de imagens, que possibilitou a visualização das fibras diretamente no monitor. Com o auxílio do software Axio-Vision, foram realizadas as medições, bem como o registro fotográfico das lâminas produzidas.

A descrição anatômica qualitativa da madeira de *Artocarpus heterophyllus* foi realizada conforme as recomendações da International Association of Wood Anatomists (IAWA COMMITTEE, 1989).

4.2.1.2. Composição química e poder calorífico superior da madeira

As amostras de madeira foram transformadas em serragem, utilizando-se um moinho de laboratório tipo Wiley, de acordo com a norma TAPPI 257 om-52 (TAPPI, 1998).

Para determinação da composição química da madeira foram empregadas as amostras de madeira já moídas, formando uma amostra composta por árvore, utilizando-se a fração que passou pela peneira com malha de 40 mesh e ficou retida na peneira com malha de 60 mesh.

A determinação do teor absolutamente seco da madeira foi realizada conforme a norma TAPPI 264 om-88 (TAPPI, 1998).

Os teores de extrativos da madeira foram determinados em duplicatas, de acordo com a norma TAPPI 204 om-88 (TAPPI, 1996), utilizando-se o método de determinação de extrativos totais, apenas substituindo o etanol/benzeno, pelo etanol/tolueno.

Os teores de lignina insolúvel foram determinados em duplicata pelo método Klason, modificado de acordo com o procedimento proposto por Gomide & Demuner (1986). A lignina solúvel foi determinada por espectrometria, conforme Goldschimid (1971), a partir da diluição do filtrado proveniente do procedimento para obtenção da lignina insolúvel. O teor de lignina total foi obtido por meio da soma dos valores de lignina solúvel e insolúvel.

O teor de holoceluloses foi obtido pelo somatório dos teores de extrativos e lignina total, decrescido de 100.

A porcentagem de cinzas na madeira foi determinada de acordo com a norma ABNT NBR 8112 (ABNT, 1986), substituindo-se o cadinho de platina por cadinho de porcelana e a temperatura de 750°C para 600°C.

O poder calorífico superior da madeira foi determinado de acordo com a metodologia descrita pela norma da ABNT NBR 8633 (ABNT, 1984), em duplicatas, utilizando-se uma bomba calorimétrica adiabática IKA300.

4.2.1.3. Densidade básica

A densidade básica da madeira foi determinada pelo método de imersão em água, de acordo com a norma ABNT NBR 11941 (ABNT, 2003).

4.2.1.4. Propriedades mecânicas

Para determinar as propriedades mecânicas foram confeccionados corpos de provas da madeira de cerne, secos ao ar livre, isto é, sem utilizar estufas, onde a umidade local onde a média era de 12,5%.

Para a realização dos ensaios utilizou-se uma máquina universal de ensaio da marca Losenhausenwerk, com capacidade de 6 toneladas. Foram determinadas as seguintes propriedades mecânicas: resistência ao cisalhamento tangencial aos anéis de crescimento, módulo de resistência à flexão estática e resistência à compressão paralela às fibras, conforme a norma NBR 7190 (ABNT, 1997).

4.2.2. Carbonização da madeira

Para carbonização, foram retiradas amostras de cada disco ao longo da altura comercial da árvore, obtendo-se uma amostra composta. Esta amostra foi, então, seca em estufa, a $103\pm 2^{\circ}\text{C}$, por 24 horas, até massa constante.

As carbonizações foram realizadas em um forno elétrico tipo mufla, utilizando-se aproximadamente de 300g de madeira, que foram inseridas em um recipiente metálico com dimensões nominais de 0,3 m de comprimento, 0,12m de diâmetro e um volume de aproximadamente $0,003\text{m}^3$. O controle de aquecimento foi feito manualmente, com incrementos de 50°C a cada 30 minutos, o que corresponde a uma taxa de aquecimento média de $1,67^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$. A temperatura inicial foi de 50°C e a temperatura final de 400°C , permanecendo estabilizada nesta última por um período de 60 minutos, sendo, portanto, o tempo de carbonização de 4,5 horas. Os gases condensáveis foram recuperados por meio de um condensador tubular adaptado à saída de gases do recipiente metálico..

Ao final da carbonização determinou-se as massas de carvão vegetal, líquidos (gases condensáveis) e gases não condensáveis, com base na massa seca da madeira, sendo estes últimos obtidos por diferença.

4.2.3. Propriedades do Carvão vegetal

4.2.3.1. Densidade Relativa Verdadeira

A densidade verdadeira foi determinada através do método picnométrico de acordo com a norma ABNT NBR 9165 (1985), adaptada. A análise é feita com finos de carvão com menos de 0,075 mm de espessura e fornece a densidade do carvão, desprezando o volume dos poros.

4.2.3.2. Densidade relativa aparente

A densidade relativa aparente do carvão foi determinada pelo método hidrostático, por meio da imersão em mercúrio, conforme descrito por Vital (1984). As amostras de carvão estavam com umidade na base seca igual a 5%, aproximadamente.

O cálculo da densidade aparente também foi realizado baseado na medição gravimétrica do volume de água deslocado pelo carvão no recipiente, através do método preconizado por Eira & Sousa (1984).

4.2.3.3. Porosidade

Relacionando a densidade verdadeira com a aparente, ter-se-á, então, uma medida da porosidade do carvão. A porosidade pode ser definida como a quantidade de poros que o carvão possui é calculado pela seguinte fórmula (MENDES *et al.*, 1982), descrita pela Equação 3 :

$$P = 100 - 100*(DA / DV) \quad \text{(Equação 3)}$$

em que: P = Porosidade em %; DA = Densidade relativa aparente; DV = Densidade relativa verdadeira.

4.2.3.4. Poder calorífico superior (PCS)

O poder calorífico superior do carvão vegetal foi determinado de acordo com a metodologia descrita pela norma da ABNT NBR 8633 (ABNT, 1984), em duplicatas, utilizando-se uma bomba calorimétrica adiabática IKA300. Para essa análise foram utilizadas amostras trituradas de carvão vegetal, que passou pela peneira com malha de 40 mesh e ficou retida na peneira com malha de 60 mesh. As amostras foram secas em estufa a $103\pm 2^{\circ}\text{C}$, até massa constante, para determinação do poder calorífico superior.

4.2.3.5. Composição química imediata

A composição química imediata do carvão vegetal foi obtida em amostras moídas e peneiradas que passaram pela peneira com malha de 40 mesh e ficaram retidas na peneira com malha de 60 mesh. Foram realizadas duas repetições por carbonização.

A composição química imediata do carvão vegetal, que corresponde aos teores de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo, em base seca, foi determinada de acordo com a norma ABNT NBR 8112 (ABNT, 1986), substituindo-se o cadinho de platina por cadinho de porcelana e a temperatura para determinação do teor de cinzas de 750°C para 600°C .

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Propriedades da Madeira

Na Figura 1 são apresentadas as seções transversal, tangencial e radial da madeira de *Artocarpus heterophyllus*.

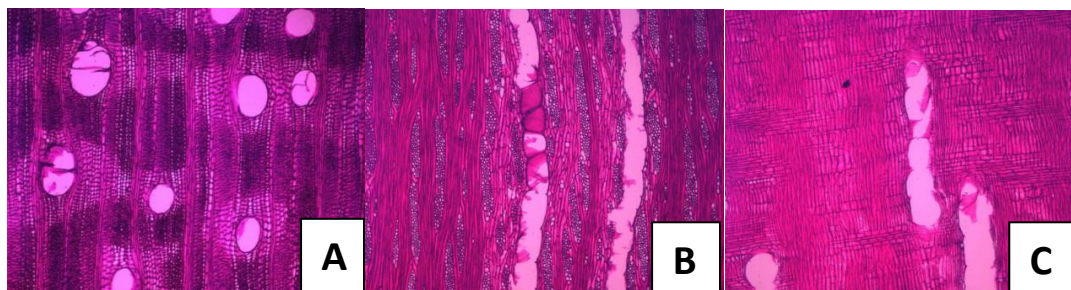


FIGURA 1 - Seção transversal (A), tangencial (B) e radial (C) da madeira de *Artocarpus heterophyllus*.

A madeira de *Artocarpus heterophyllus* macroscopicamente apresenta anéis de crescimento indistintos, microscopicamente porosidade e arranjo difusos, presença de vasos solitários, múltiplos de 2, 3 e 4 e também presença de agrupamentos em cachos, além de vasos solitários em formato oval e parênquima axial predominantemente paratraqueal confluyente, com a ocorrência de pequenas faixas em algumas regiões. É constatada a rara ocorrência de tilose.

A madeira de *Artocarpus heterophyllus* apresenta fibras libriformes com pontuações simples e de pequeno tamanho ocorrendo nas paredes radiais, pontuações intervasculares opostas, raios em sua maioria multisseriados, entretanto há ocorrência de uni e bisseriados, ambos formados por células de formato procumbente e quadrado de corpo em geral, formado por 8 ou mais camadas de células procumbentes, associados a uma ou duas camadas marginais de células quadradas.

Os valores médios para os parâmetros relacionados à anatomia da madeira estão apresentados na Tabela 1.

TABELA 1 – Valores médios referentes aos parâmetros anatômicos de fibras e vasos da madeira de *Artocarpus heterophyllus*

Fibras	Média
Comprimento (mm)	1,35 ^(0,22)
Largura (µm)	28,50 ^(5,73)
Diâmetro do lume (µm)	20,14 ^(5,37)
Espessura da parede (µm)	4,18 ^(1,35)
Fração parede (%)	41,5
Vasos	Média
Diâmetro do lume (µm)	184,98 ^(26,24)
Frequência (vasos/ mm ²)	3,3

Os valores médios encontrados para o comprimento das fibras estão dentro da faixa de variação citada por Burger & Richter (1991), ao relatarem que as fibras presentes na madeira de folhosas têm comprimento variando entre 0,75 e 1,30 mm.

A espessura de parede das fibras influencia diretamente na densidade e no grau de alteração volumétrica e indiretamente nas propriedades energéticas da madeira.

Observa-se que a fração parede avaliada neste estudo está em 41,5%. Madeiras caracterizadas pela presença de fibras com fração parede alta, acima de 60%, são potenciais para a produção de carvão vegetal (PAULA, 2005),

apresentando maior massa para sustentar a decomposição térmica da madeira, favorecendo o rendimento e a qualidade do carvão vegetal. Ressalta-se que nenhum dos clones avaliados apresentou fração parede superior a 60%, como recomendado por Paula (2005).

O diâmetro médio dos vasos foram 184,98 μm . De acordo com Evangelista *et al.* (2010) e Lima *et al.* (2011), maiores diâmetros tangenciais dos vasos normalmente estão associados a menores frequências, como observado neste trabalho. A frequência média de poros 3,3 vasos/ mm^2 .

Para a produção de carvão vegetal é desejável o menor conteúdo de espaços vazios, caracterizados pelos lumes das fibras e vasos, uma vez que estes não contribuem com o rendimento gravimétrico em carvão, além de influenciarem negativamente a qualidade do mesmo (PEREIRA, 2012).

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios das propriedades físicas e químicas da madeira de *Artocarpus heterophyllus*.

TABELA 2 – Valores médios de densidade básica, poder calorífico superior e composição química da madeira de *Artocarpus heterophyllus*

Propriedades Analisadas	Valores Médios
Densidade Básica (g/cm^3)	0,55 ^(0,071)
Poder calorífico superior (Kcal/Kg)	4816 ^(1,41)
Lignina Total (%)	31,25 ^(1,68)
Holoceluloses (%)	53,40 ^(1,55)
Extrativos (%)	15,35 ^(0,42)
Cinzas (%)	1,87 ^(0,078)

(...) Desvio padrão.

A densidade da madeira pode variar entre diversas espécies devido às diferenças das espessuras da parede celular, das dimensões das células, das inter-relações entre esses dois fatores e da quantidade de extrativos presentes por unidade de volume (PANSHIN & DE ZEEUW, 1980).

A densidade básica da madeira de *Artocarpus heterophyllus* é de 0,55 g/cm³ (Tabela 2), considerada pesada de acordo com o Forest Products Laboratory (1974). Hossain & Nath [s.d] em estudo com a mesma espécie encontrou uma densidade básica de 0,69 g/cm³.

De acordo com Arganbrighth (1971), a densidade é uma das propriedades físicas de maior importância na caracterização tecnológica da madeira, uma vez que sua variação afeta a resistência mecânica e a estabilidade dimensional da madeira. Em relação à produção de carvão vegetal, uma maior densidade da madeira também resulta em um carvão de maior densidade, com vantagens para alguns de seus usos (BRITO, 1993).

Trugilho *et al.* (2001), estudaram o potencial energético da madeira de clones de eucalipto aos sete anos de idade, e encontraram valores para densidade básica variando de 0,52 a 0,59 g/cm³, sendo estas, consideradas pelos autores, potenciais para a produção de carvão. Neste trabalho valores próximos de densidade básica foram encontrados para a madeira de jaqueira.

Por meio da Tabela 2, é possível observar o poder calorífico superior da madeira de *Artocarpus heterophyllus*, sendo 4816,00 Kcal/kg, a possível explicação para tal resultado seria o alto teor de lignina aliado ao alto teor de extrativos.

Resultados inferiores foram obtidos por Santos *et al.* (2011), que estudaram quatro clones híbridos de *Eucalyptus* sp., aos 7 anos, e obtiveram valores que variaram de 4.274 a 4.585 kcal.kg⁻¹.

Devido à natureza fenólica de diversos extrativos, esses componentes são ricos em carbono, podendo contribuir com o aumento do poder calorífico da madeira e se não forem degradados durante a carbonização, podem também contribuir com o aumento do poder calorífico e do rendimento gravimétrico em carvão (FREDERICO, 2009a).

O aumento da densidade básica da madeira, associado a maiores teores de lignina, proporciona a produção um carvão de melhor qualidade, com aumento do rendimento gravimétrico, do teor de carbono fixo e da densidade aparente do carvão (PEREIRA *et al.*, 2000a).

Apesar das propriedades da madeira exercerem influência sobre a qualidade do carvão vegetal em aspectos como porosidade, composição química, densidade, poder calorífico, entre outros (OLIVEIRA *et al.*, 1982a; SANTOS, 2008a; VITAL *et al.*, 1989).

Na Tabela 3, estão apresentados os valores médios, os respectivos valores de coeficiente de variação e desvio padrão, obtidos para as propriedades mecânicas da madeira de jaqueira.

TABELA 3 – Valores médios referentes as propriedades da madeira de *Artocarpus heterophyllus*

Propriedades Mecânicas	Valores médios
Compressão (MPa)	4303,87 ^(843,51)
Flexão Estática (Mpa)	3889,18 ^(1907,69)
Cisalhamento (Mpa)	878,08 ^(202,10)

(...) Desvio padrão.

A resistência a compressão paralela das fibras apresentou média de 878,08 MPa, o módulo de resistência à flexão estática apresentou média de 3889,18 MPa e a resistência ao cisalhamento apresentou média de 878,08 MPa.

Com estes valores, a espécie foi classificada como de alta resistência a compressão, ao módulo de resistência a flexão estática e ao cisalhamento, de acordo com a classificação proposta pelo IPT (1985).

A possível explicação para estes altos valores das propriedades mecânicas é a maturidade das árvores. A idade pode exercer um efeito considerável sobre as propriedades da madeira, podendo ser decisiva para sua utilização econômica. Com o aumento da idade, aumentam o comprimento da fibra, a espessura da parede dos elementos anatômicos, a porcentagem de madeira madura, o conteúdo de extrativos e a densidade básica (GIORDANO, 1961; BOYD, 1967; HARRIS, 1969).

A densidade representa a quantidade de material lenhoso por unidade de volume da madeira, e por tal razão está bem relacionada com a maioria de

suas propriedades mecânicas, em geral, quanto maior for a massa específica da madeira, maiores serão suas propriedades mecânicas. Neste trabalho observamos uma correlação entre a densidade básica da madeira e suas propriedades mecânicas, sendo a madeira classificada como pesada apresentou alta resistência mecânica.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados encontrados para os rendimentos em carvão vegetal, gases condensáveis e gases não condensáveis para uma carbonização com taxa de aquecimento de 1,67 °C/min.

5.2. Propriedades do Carvão Vegetal

TABELA 4 – Valores médios de rendimento gravimétrico, densidade verdadeira, densidade aparente e porosidade do carvão vegetal de *Artocarpus heterophyllus*.

Rendimento Gravimétrico (%)	Valores médios
Carvão vegetal	42,24 ^(0,45)
Gases condensáveis	31,25 ^(0,76)
Gases não-condensáveis	26,51 ^(1,21)
Densidade Aparente pelo método de imersão no mercúrio (g/cm³)	0,391
Densidade Aparente pelo método de flutuação em água (g/cm³)	0,339
Densidade Verdadeira (g/cm³)	1,006933 ^(0,45)
Porosidade (%)	61

(...) Desvio padrão.

Observa-se na Tabela 4 que o rendimento gravimétrico em carvão vegetal foi de 42,24%, valor relativamente alto, explicado pelo fato da carbonização ter sido realizada de forma mais branda e valores baixos de temperatura final, e o rendimento em gases não condensáveis (31,25%) foi superior ao rendimento em gases condensáveis (26,51%). Este alto rendimento

em carvão vegetal implica que a madeira de *Artocarpus heterophyllus* foi mal carbonizada.

Di Blasi *et al.* (1999) relataram, a partir da carbonização da madeira, maiores rendimentos gravimétricos provenientes de madeiras ricas em extrativos, em comparação com espécies com pouco extrativos, ao estudarem espécies nativas da região norte. Esse fato também foi observado por Frederico (2009b) ao estudar madeira de clones de eucalipto.

O tempo e a temperatura final de carbonização têm grande influência nas propriedades do carvão vegetal. A decomposição depende da quantidade de energia disponível e, portanto, do binômio tempo/temperatura (TRUGILHO *et al.*, 2001). Neste trabalho, entretanto, utilizou-se um baixo tempo de carbonização aliado a uma baixa temperatura, através dos resultados obtidos dever-se-ia aumentar esses fatores para atingir resultados satisfatórios de qualidade referente a rendimentos de carvão vegetal.

Os valores médios de densidade aparente do carvão vegetal de *Artocarpus heterophyllus* pelo método de imersão em mercúrio e flutuação em água apresentaram valores próximos, como pode ser observado na Tabela 4. O carvão vegetal de *Artocarpus heterophyllus* apresenta média densidade verdadeira, 1,006933 g/cm³.

A porosidade do carvão vegetal de *Artocarpus heterophyllus* apresentou valores abaixo do encontrado para madeiras do gênero *Eucalyptus*.

TABELA 5 - Valores médios de materiais voláteis, carbono fixo, cinzas e poder calorífico superior do carvão vegetal de *Artocarpus heterophyllus*.

Composição Química Imediata	Valores médios
Materiais Voláteis (%)	29,26
Carbono Fixo (%)	68,53
Cinzas (%)	2,21
Poder Calorífico Superior (Kcal/Kg)	6.844,67

Trugilho *et al.* (2001) observaram, a partir do carvão vegetal produzido com a madeira de *Eucalyptus grandis* aos sete anos de idade, teores de

materiais voláteis variando entre 18,0% e 21,9%. Entretanto neste trabalho foram encontrados maiores teores de materiais voláteis.

Os fatores que influenciam os materiais voláteis no carvão são: a temperatura de carbonização, taxa de aquecimento e composição química da madeira.

O carbono fixo pode ser definido como a quantidade de carbono presente no carvão. O rendimento em carbono fixo apresenta uma relação diretamente proporcional aos teores de lignina, extrativos e densidade da madeira e inversamente proporcional ao teor de holoceluloses (DAMÁSIO *et al.*, 2010).

Segundo Santos (2008b), a faixa desejada de carbono fixo no carvão para uso siderúrgico está compreendida entre 75% e 80%, no entanto, maiores teores de carbono fixo contribuem para o aumento na produtividade dos altos-fornos para o mesmo consumo redutor. Observa-se, portanto, que o teor de carbono fixo no carvão encontrado no presente trabalho não atende às condições citadas como ideais para uso siderúrgico. Recomenda-se, portanto, maior temperatura de carbonização ajustando assim o rendimento gravimétrico e aumentando o teor de carbono fixo já que esses são interligados.

As cinzas são um resíduo mineral proveniente dos componentes minerais do lenho e da casca (COTTA, 1996). Segundo Cotta (1996), citando Collet (1955), o carvão produzido para fins siderúrgicos, deve ter uma menor proporção de materiais, pois quanto maior a proporção de materiais minerais na madeira, maior a produção de cinzas no carvão.

O carvão vegetal de *Artocarpus heterophyllus* apresenta poder calorífico superior 6.844,67 Kcal/Kg, valor relativamente baixo.

Pereira *et al.* (2000b), ao estudarem as características do carvão de cinco espécies de eucalipto, aos dez anos e meio de idade, encontraram valores para o poder calorífico superior do carvão entre 6.626 e 8.088 kcal/kg. Carvão vegetal com maior poder calorífico proporciona, especialmente para o emprego siderúrgico, menor consumo de insumo redutor, considerando uma mesma produtividade. Provavelmente, o menor poder calorífico superior do carvão, observado neste estudo, se deve aos baixos teores de carbono fixo.

6. CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento desse trabalho foi possível inferir as seguintes conclusões:

- Conclui-se que a madeira de *Artocarpus heterophyllus* pode ser utilizada para a produção de móveis, levando em consideração sua densidade básica e suas propriedades mecânicas.
- Devido ao seu alto teor de extrativos, recomenda-se a qualificação destes, para verificar a viabilidade técnica e econômica da exploração desta madeira para extração destes componentes.
- A madeira de *Artocarpus heterophyllus* apresentou características apropriadas para a produção de carvão vegetal, porém a marcha de carbonização utilizada não resultou em um carvão vegetal com propriedades adequadas, sendo recomendados estudos para determinar a marcha de carbonização ideal.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, R.C.R.; RODRIGUES, P.J.F.P. Estrutura de populações de jaqueiras, subsídios para manejo e conservação da Mata Atlântica. In: **I Simpósio Brasileiro sobre Espécies Exóticas Invasoras**. Brasília, 2005 .

ARUNG, E.T.; SHIMIZU,K.; KONDO, R. Inhibitory effect of artocarpanone from *Artocarpus heterophyllus* on melanin biosynthesis. **Biological Pharmaceutical Bulletin**. V. 29,n. 9, 1966-1969, 2006.

ARGANBRIGHT, D.G. Influence of extractives on bending strenght of redwood (*Sequoia sempervirens*). **Wood and Fiber**, v.2, n.4, p.367-372, 1971.

ASSIS, C. F. C. **Caracterização de carvão vegetal para sua injeção em altos-fornos a carvão vegetal de pequeno porte**113F. dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto-MG, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Projetos de estruturas de madeira. **NBR 7190**. Rio de Janeiro: 1997. 107p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. Normas técnicas **NBR 8112**. Carvão vegetal: Análise Imediata. Rio de Janeiro, 1986. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. Normas técnicas **NBR 8633**. Carvão vegetal: Determinação do Poder Calorífico. Rio de Janeiro, 1984. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT Normas técnicas **NBR 9165**: Carvão vegetal - Determinação da densidade relativa aparente, relativa verdadeira e porosidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1985. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT. Normas técnicas **NBR 11941**: Madeira: Determinação da Densidade Básica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

BARBOSA, H.R; ASCHERI, D.P.R; ASCHERI, J.L.R; CARVALHO, C.W.P. Permeabilidade , estabilidade e funcionalidade de filmes biodegradáveis de amido do caroço de jaca (*Artocarpus heterophyllus*). **Revista Agrotecnologia**, Anápolis, v.2, n.1, p.73–88, 2011.

BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O. **Química da madeira**. Piracicaba, SP, ESALQ, 1985. 125p

BOYD, J.D. Effect of plantation conditions on wood properties and utilization. In: **FAO WORLD SYMPOSIUM ON MAN-MADE FORESTS AND THEIR INDUSTRIAL IMPORTANCE**, Canberra, 1967. **Documents. Rome: FAO**, 1967. v.1, p.789-821.

BOWYER, J. L.; SHMULSKY, R.; HAYGREEN, J. G. **Forest products and wood science. An Introduction**. New York: Blackwell Publishing, 2003. 554 p.

BRAZ, R.F.; DUARTE, A.P.C.; MOTTA, J.P.; OLIVEIRA, J.T.S.; MAURI, R. Caracterização anatômica e tecnológica da madeira de jaca *Artocarpus heterophyllus* Lamk.XII Embramem. **Anais..Lavras/ MG**, Julho, 2010.

BRIANE, D.; DOAT, J. **Guide technique de la carbonisation: la fabrication du charbon de bois**. Aix-en-Provence, ÉDISUD, 1985. 180p.

BRITO, J.O. Reflexões sobre a qualidade do carvão vegetal para uso siderúrgico. **IPEF**, Piracicaba, 6p.1993. (Circular técnica nº 181).

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. Anatomia da madeira. São Paulo: **Nobel**, 1991. 154 p.

CALAZANS, J.C. Iconografia de Khnum e iconografia de Harappã: exemplo de um mito de criação importado ou simples coincidência? **Revista Lusófona de Ciência das Religiões** 4; 173-189, 2005.

CHAVES, C.M.; MARTINS, H.F.; CARAUTA, J.P.P.; LANNA, S.J.P.; VIANNA, M. C.; SILVA, S.A.F. **Arboreto Carioca 3**. Centro de Conservação da Natureza – Rio de Janeiro – Brasil – 28p, 1967.

COLLET, F. Estudo comparativo, em escala de laboratório, de diversas madeiras utilizadas na fabricação de carvão vegetal - **Boletim da Associação Brasileira de Metais**, 42 (12): 5-14, 1955.

COTTA, A. M. G. **Qualidade do carvão vegetal para siderurgia**. 1996. 35 f.. Monografia – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG.

CUNHA, L. Embrapa distribui muda de jaqueira. **Informativo Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical**. 2006. Disponível em http://www.cnpmf.embrapa.br/ultimas_noticias/r048-mudas_jaqueira.pdf. Acesso em: junho.2013.

DADSWELL, H.E. The anatomy of eucalypt wood. **CSIRO Forest Products Laboratory**, Melbourne, n.66, p.1-28, 1972.

DAMÁSIO, R. A. P.; CARDOSO, M. T.; CARNEIRO, A. C. O.; OLIVEIRA, A. C.; PEREIRA, B. L. C.; LASMAR, C. P. Qualidade do carvão vegetal de *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) Macbr. . **Anais..XII Embramem.Lavras/ MG**, Julho, 2010.

DEAN, W. A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira. São Paulo: **Companhia das Letras**, 2002.

DI BLASI, C. D.; SIGNORELLI, G.; DI RUSSO, C.; REA, G. Product distribution from pyrolysis of wood and agricultural residues: Indian engeneering. **Chemistry Research**, New Delhi, v.38, n.12, p.2216-2224, 1999.

EIRA, A.F. SOUSA, N.L. - Aparato de precisão para medição do volume para blocos de madeira de formato irregular. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, 10(1/2): 34, jan/jun.,1984.

EVANGELISTA, W.V.; SILVA, J.C.; VALLE, M.L.A.; XAVIER, B.A. Caracterização anatômica quantitativa da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla*S.T. Blake. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 273-284, jun. 2010.

EVANS, J.L.W.; SENFT, J. F.; GREEN, D. W. Juvenile wood effect in red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones. **Forest Products Journal**, v.50, n.7/8, p.75-87, 2000.

FERNANDO M. R., THABREW M. I., KARUNANAYAKE E. H. Hypoglycaemic activity of some medicinal plants in Sri-Lanka. **General Pharmacology: the vascular system**. V. 21, n. 5, p.779-782, 1990.

FERRÃO, J. E. M. A aventura das plantas e os descobrimentos portugueses. 2 ed., Lisboa: **Instituto de Investigação Científica Tropical**, 1993.

FREDERICO, P.G.U. **Efeito da região e da madeira de eucalipto nas propriedades do carvão vegetal**. 2009. 86p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009b.

FREDERICO, P. G. U. **Influência da densidade e composição química da madeira sobre a qualidade do carvão de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e de híbridos de *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake.** 2009. 75f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009a.

FOELKEL, C.E.B., BARRICHELO, L.E.G., MILANEZ, A.F. Estudo comparativo das madeiras de *E. saligna*, *E. paniculata*, *E. citriodora*, *E. maculata* e *E. tereticornis* para produção de celulose sulfato. **IPEF**, Piracicaba, n.10, p.17-37, 1975.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. Classificação da densidade básica da madeira, 1974.

GIORDANO, G. Aptude au travail du bois d' *Eucalyptus*. In: CONFERÊNCIA MUNDIAL DO EUCALIPTO, 2, São Paulo, 1961. Relatórios e documentos. São Paulo: **FAO**, 1961. v.2, p.1138-1146.

GOLDSCHMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. Lignins: occurrence, formation, structure and reactions. New York: **John Wiley Interprice**, p. 241-298. 1971.

GOMES, P. A.; OLIVEIRA, J. B. Teoria da carbonização da madeira. In: PENEDO, W. R. (Ed.) **Uso da madeira para fins energéticos**. Belo Horizonte: CETEC, 1982. p. 27-41.

GOMIDE, J. L. ; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método klason modificado. **O Papel**, v. 47, n. 8, p. 36–38. 1986.

GUNASENA, H.P.M. Forest policies of Sri Lanka. In FAO, Forestry policies of selected countries in Asia and the Pacific. **Rome: FAO Forestry Paper**, 1993.

HARRIS, J.M. Mejoramiento genético de arboles para elevar la calidad de la madeira: oportunidades y ventajas practicas. In: WORLD CONSULTATION ON FOREST TREE BREEDING, 2, Washington, 1969. Proceedings. **Rome: FAO**, 1969. v.1, cap.4/1

HOSSAIN, M. K.; NATH, T.K. *Part II—Species Descriptions • *Artocarpus heterophyllus* Lam.* **Institute of Forestry and Environmental Sciences Chittagong University**, Bangladesh,(s/d).

IAWA COMMITTEE. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, Leiden, v.10, n.3, p.221-332, 1989.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Madeira: o que é e como pode ser processada e utilizada. **Boletim ABPM**, n.36, p.1-189, 1985.

JARA, E.R.P. **O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1989. (Comunicação Técnica, 1797)

LIMA, I.L.; GARCIA, R.; LONGUI, E.L.; FLORSHEIM, S.M.B. Dimensões anatômicas da madeira de *Tectona grandis* Linn. em função do espaçamento e da posição radial do tronco. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 89, p. 061-068, mar. 2011.

MALLAN, F.A. Eucalyptus improvement for lumber production. In: **SEMINARIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO15 PARA SERRARIA**, São Paulo, IPEF/IPT, Anais ..., São Paulo, IPEF/IPT, 05-06, abr., 1995. p.1-19.

MEDEIROS, C. A.; RESENDE, M. E. A. Alcatrão vegetal: perspectivas de produção e utilização. **Revista da Fundação João Pinheiro**, Belo Horizonte, v.13, n.9-12, p. 42-48, 1983.

MENDES, M.G.; GOMES, P.A.; OLIVEIRA, J.B. 1982. **Propriedades e controle da qualidade do carvão vegetal**. Produção e utilização de carvão vegetal. Belo Horizonte, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais- CETEC. p.77-89.

MORTON, J.F. The jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) its culture, varieties and utilization. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society** 78:336-344, 1965.

OLIVEIRA, A.C.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; ALMEIDA, W.; PEREIRA, B. L. C.; CARDOSO, M. T. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 431-439, 2010.

OLIVEIRA, E. **Características anatômicas, químicas e térmicas da madeira de três espécies de maior ocorrência no Semi-Árido Nordestino**. 2003. 122f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

OLIVEIRA, E.; VITAL, B. R.; PIMENTA, A. S.; DELLA LUCIA, R. M.; LADEIRA, A. M. M.; CARNEIRO, A. C. O. Estrutura anatômica da madeira e qualidade do carvão de *Mimosatenuiflora* (Willd.) Poir. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.2, p. 311-318, 2006.

OLIVEIRA, J. B.; GOMES, P. A.; ALMEIDA, M. R. Propriedades do carvão vegetal. In: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (Ed.). **Carvão vegetal: destilação, propriedades e controle de qualidade**. Belo Horizonte: CETEC, 1982b. p. 39-61. (Série de Publicações Técnicas, 6).

OLIVEIRA, J. B.; MENDES, M. G.; GOMES, P. A. Produção de carvão vegetal: aspectos técnicos. In: FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. **Produção e utilização de carvão vegetal**. Belo Horizonte, 1982a. p. 62-73.

OLIVEIRA, J. B.; VIVACQUA FILHO, A.; GOMES, P. A. Produção de carvão vegetal: aspectos técnicos. In: PENEDO, W.R. (Ed.). **Produção e utilização de carvão vegetal**. Belo Horizonte: CETEC, 1982c. p. 60-73. (Série de Publicações Técnicas, 8).

PANSHIN, A.J.; DE ZEEUW, C. Textbook of technology. 3. ed. New York: **McGraw Hill**. 1980. 722p.

PAULA, J. E. Caracterização anatômica da madeira de espécies nativas do cerrado, visando sua utilização na produção de energia. **Cerne**, Lavras, v. 11, n.1, p. 90-100, 2005.

PEARSON, R.G.; GILMORE, R.C. Characterization of the strength of juvenile wood of loblolly pine (*Pinus taeda*). **For. Prod. J.**, Madison, v. 21, n. 1, p. 23-30, May 1971. _____. Effect of fast growth rate on the mechanical properties of loblolly pine. **For. Prod. J.**, Madison, v. 30, n. 5, p. 47-54, May 1980.

PEREIRA, J.C.D.; STURION, J.A.; HIGA, A.R.; HIGA, R.C.V.; SHIMIZU, J.Y. Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil. Colombo:**Embrapa Florestas**, 2000b. 113p. (Embrapa Florestas. Documentos, 38).

PEREIRA, J.C.D.; SCHAITZA, E.G.; BAGGIO, A.J. Propriedades físicas e químicas e rendimentos da destilação seca da madeira de *Grevillea robusta*. Colombo: **EMBRAPA Florestas**, 2000a. 11 p. (Circular Técnica, 40).

PEREIRA, B. L. C. **Qualidade da madeira de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal**.2012. 102f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.

PETTERSEN, R.C. The chemical composition of wood. In: ROWELL, R.(ed). **The chemistry of solid wood**. Washington, American Chemical Society, 1984. p.54-126.

ROWELL, R.M., S. LEVAN-GREEN, 2005. Thermal properties. In: Hand book of wood chemistry and wood composites, Rowell, R.M. (Ed.). Boca Raton: CRC Press, p.121-138.

SANTOS, A. R.; BERGALLO, H.G.; ROCHA, C. F. D. Paisagem urbana alienígena. **Ciência Hoje** 41:68-70, 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. 57p. Dissertação -(Mestrado em Engenharia Florestal)- Universidade de Brasília, Brasília, 2008a.

SANTOS, M. A. S. Parâmetros de qualidade do carvão vegetal para uso em alto-forno. In: FÓRUM NACIONAL SOBRE CARVÃO VEGETAL, 1., 2008, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UFMG, 2008b. 1 CD-ROM.

SANTOS, R.C.; CARNEIRO, A.C.O.; CASTRO, A.F.M.; CASTRO, R.V.O.; BIANCHE, J.J.; CARDOSO, M.T. Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 90, p. 221-230, jun. 2011.

SILVA, J. C.; FILHO, M. T.; OLIVEIRA, J. T. S.; CASTRO, V. R. Influência da idade e da posição radial nas dimensões das fibras e dos vasos da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.31, n.6, p.1081-1090, 2007.

SJÖSTRÖM, E. **Wood chemistry: fundamentals and applications.** New York, Academic Press, Inc., 2ª ed., 1993. 293p

SOUZA, V.C.; LORENZI, H. Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II. São Paulo, **Instituto Plantarum**, 2005.

TAPPI-Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Solvents extractives for wood and pulp. **T 204 om-88.** Test methods. Atlanta: TAPPI Press. 1996.

TAPPI-Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Sampling and preparing wood for analysis. **T 257 om-52:** Test methods .Atlanta: Tappi Technology Park, 1998. v.1.

TAPPI-Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Preparation of wood for chemical analysis. **T 264 om-88.** Test methods. Atlanta: TAPPI Press. 1998.

THOMAS, C. A. Jackfruit, *Artocarpus heterophyllus* (Moraceae), as source of food and income. **Economic Botany** 34: 154-159, 1980.

TSOUMIS, G. Science and technology of wood: structure, properties, utilization. New York, **Van Nostrand Reinold**, 1991. 494 p.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; LINO, A. L. Avaliação de clones de *Eucalyptus* para produção de carvão vegetal. **Cerne**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 104-114, 2001.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Revista Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 94-11, 1996.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, D. A. Influência da temperatura final de carbonização nas características físicas e químicas do carvão vegetal de jatobá (*Himenea courbaril L.*). **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 2, n. 1, 2001.

VELLA, M.M.C.F.; ALENTE, O.F.; VITAL, B.R.; LELLES, J.G. Influência da velocidade de carbonização da madeira nos rendimentos e nas propriedades do carvão produzido. **Revista IPEF**, Piracicaba, n.41/42, p.64-76, 1989.

VITAL, B. R.; ANDRADE, A. M.; VALENTE, O. F.; CAMPOS, J. C. C. Influência da casca no rendimento e na qualidade do Carvão vegetal de *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, Piracicaba, v. 41/42, n. 5, p. 44-49, 1989.

VITAL, B. R.; JESUS, R. M.; VALENTE, O. F. Efeito da constituição química e da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* na produção de carvão vegetal. **Revista Árvore**, Viçosa, v.10, n.2, p. 151-160, 1986.

VITAL, B.R. Métodos de determinação da densidade da madeira. **Boletim Técnico Sociedade de Investigações Florestais**, Viçosa, n. 2, p. 1-21, 1984.

WARRIER, R. R.; GURUDEV, S. B; ANANDALAKSM R.; SIVAKUMAR,V.; GEETHA, S.; KUMAR, A.M.; HEGDE, M.T. Standardization of storage conditions to prolong viability of seeds of *Artocarpus heterophyllus* Lam. - a tropical fruit tree. **ARPJ Journal of Agricultural and Biological Science** 4: 6-9.,2009.

WENZL, H. F. J. **The chemical technology of wood**. New York: Academic Press, 1970. 692 p.