

## Caracterização anatômica e qualidade do carvão vegetal da madeira de pau-jacaré (*Piptadenia gonoacantha*)

Renato Augusto Pereira Damásio<sup>1</sup>, Bárbara Luísa Corradi Pereira<sup>1</sup>, Aylson Costa Oliveira<sup>1</sup>, Marco Túlio Cardoso<sup>1</sup>, Benedito Rocha Vital<sup>1</sup>, Ana Márcia Ladeira Macedo Carvalho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Viçosa, Av. PH Rolfs, CEP 36570-000, Viçosa, MG, Brasil

\*Autor correspondente:  
damasiorenato@gmail.com

**Termos para indexação:**  
Poder calorífico  
Fibras  
Densidade da madeira

**Index terms:**  
Heating value  
Fibers  
Wood density

**Histórico do artigo:**  
Recebido em 01/04/2013  
Aprovado em 10/09/2013  
Publicado em 30/09/2013

doi: 10.4336/2013.pfb.33.75.505

**Resumo** - Diante da carência de informação sobre as propriedades da madeira e do carvão de espécies nativas esse trabalho foi desenvolvido com os objetivos de caracterizar a estrutura anatômica da madeira de *Piptadenia gonoacantha* e determinar o rendimento e propriedades do carvão vegetal. Para a madeira, foram realizadas a descrição anatômica, determinação das dimensões de fibras e vasos, densidade básica e poder calorífico superior (PCS). Para o carvão, foram determinados a densidade aparente, análise química imediata e PCS. O diâmetro médio dos vasos foi igual a 121,30  $\mu\text{m}$ , em número de 15 vasos  $\text{mm}^{-2}$ . Para as fibras, verificou-se um comprimento de 0,82 mm, largura de 17,54  $\mu\text{m}$ , diâmetro do lume de 8,02  $\mu\text{m}$ , espessura da parede de 4,76  $\mu\text{m}$ , e fração parede de 54,28%. A densidade básica da madeira foi igual a 590  $\text{kg m}^{-3}$  e PCS, 4650  $\text{kcal kg}^{-1}$ . O rendimento em carvão foi igual a 37,10%. Foram verificados 23,26% de materiais voláteis, 2,39% de cinzas, 74,35% de carbono fixo no carvão vegetal, PCS foi igual a 7.719,27  $\text{kcal kg}^{-1}$  e densidade aparente de 460  $\text{kg m}^{-3}$ . A madeira apresentou qualidade satisfatória para a produção de carvão, que atende as exigências do setor siderúrgico.

### **Wood anatomy and charcoal quality of *Piptadenia gonoacantha***

**Abstract** - Due to the lack of information about wood properties and charcoal quality from native species, this work was carried out aiming at to characterize the wood anatomical structure of *Piptadenia gonoacantha* and determine the yield and properties of charcoal. The wood anatomy was described, and it was determined the fibers and vessels dimensions, basic density and higher heating value (HHV). Bulk density, chemical analysis, and HHV were determined for charcoal. The average vessel diameter was 121.30  $\mu\text{m}$ , with 15 vessels  $\text{mm}^{-2}$ . The fiber dimensions were: length, 0.82 mm, width, 17.54  $\mu\text{m}$ , lumen diameter, 8.02  $\mu\text{m}$ , wall thickness, 4.76  $\mu\text{m}$ , and wall fraction of 54.28%. The basic wood density was 590  $\text{kg m}^{-3}$  and HHV was 4650  $\text{kcal kg}^{-1}$ . The charcoal yield was 37.10%. The content of volatile matter, ash and fixed carbon were 23.26%, 2.39% and 74.35%, respectively. Charcoal HHV was 7.719.27  $\text{kcal kg}^{-1}$  and bulk density was 460  $\text{kgm}^{-3}$ . Wood showed satisfactory quality for charcoal production, and this meets the requirements of the steel industry.

## Introdução

A preocupação com a qualidade e a homogeneidade da madeira que entra em qualquer processo de transformação tem sido foco de diversos estudos, uma vez que as propriedades do produto final são inerentes à matéria-prima que lhe deu origem (Pereira et al., 2012). As variações nas propriedades da madeira são grandes entre espécies e para sua conversão em carvão vegetal, são ainda mais intensas quando se utiliza madeira originária de florestas nativas.

Sabe-se que hoje grande parte do carvão vegetal produzido é proveniente de madeira nativa, nas quais não se tem controle do processo de produção e da qualidade da matéria-prima, ocorrendo grande variabilidade do material produzido. Segundo Costa (2011), são necessárias pesquisas sobre as propriedades energéticas de espécies nativas para que os resultados destas possam dar subsídios a futuros planos de manejo florestal, mantendo, com isto, o equilíbrio ecológico ou ainda, incentivar a implantação de florestas comerciais com espécies nativas. A utilização racional e eficiente dos recursos de biomassa, mediante o emprego de tecnologias modernas e a utilização de resíduos, também é uma alternativa viável.

A espécie *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) Macbr, popularmente conhecida como pau jacaré, pertence à família Leguminosae-Mimosoidae. Ocorre naturalmente na floresta pluvial da encosta atlântica, distribuindo-se pelos Estados da Bahia, Rio de Janeiro, São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, até Santa Catarina (Lorenzi, 2002). É uma espécie pioneira a secundária inicial, com crescimento em vários tipos de solo, desde férteis a pobres. A espécie é semicaducifólia, podendo atingir quando adulta até 30 m de altura e 90 cm de DAP (diâmetro a 1,30 m do solo), seu tronco pode ser reto ou tortuoso com cristas aculeadas em toda a extensão (Carvalho, 2003).

De acordo com Marques et al. (2009), a madeira de *P. gonoacantha* é considerada moderadamente pesada, sendo preferida a outras madeiras de espécies nativas para produção de carvão e queima direta, devido à sua facilidade para entrar em combustão. Sua madeira é empregada para diversos fins, como embalagens, construção civil, armação de móveis, miolos de portas, painéis, acabamentos internos e produção de carvão vegetal (Carvalho, 1994; Lorenzi, 2002).

Para compreender as principais características morfológicas da madeira, a sua estrutura anatômica é

estudada, conhecendo-se a estrutura e a organização dos elementos celulares. Segundo Oliveira et al. (2006), o conhecimento da estrutura anatômica da madeira é de fundamental importância para prever sua utilização, prever e compreender seu comportamento, visto que as dimensões, frequências e o arranjo dos elementos anatômicos tem grande influência sobre as propriedades da madeira.

O presente trabalho teve como objetivo caracterizar a estrutura anatômica da madeira de *Piptadenia gonoacantha*, bem como determinar o rendimento e propriedades do carvão vegetal proveniente da madeira dessa espécie.

## Material e métodos

### Material biológico

A madeira de *Piptadenia gonoacantha* foi obtida a partir de três árvores, com idade desconhecida, provenientes da Mata da Silvicultura, uma floresta estacional semidecidual localizada no município de Viçosa, Minas Gerais, cujas coordenadas geográficas são 20°45 'S e 42°55 'W.

A Mata da Silvicultura situa-se em altitudes entre 670 e 730 m e é um fragmento florestal de 17 ha resultante de regeneração natural. Foi adquirida pela Universidade Federal de Viçosa em 1936 e, desde então, encontra-se protegida de cortes e extração de madeira (Mariscal-Flores, 1993), o que tem garantido a manutenção do adiantado estágio sucessional, que conta atualmente com mais de 70 anos.

As árvores foram seccionadas em pequenas toras de aproximadamente 70 cm de comprimento. De cada árvore foram retirados três toretes, correspondendo às duas extremidades da tora e ao centro. Da porção mediana de cada torete foram retirados discos de 5 cm de espessura, e em seguida subdivididos em quatro partes, em forma de cunha, passando pela medula.

Foram selecionadas duas partes opostas de cada disco para determinação da densidade básica da madeira. O restante foi destinado à determinação do poder calorífico superior e carbonização em mufla e posteriores análises do carvão vegetal. Para as análises anatômicas, selecionou-se um disco do torete central de cada árvore.

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Propriedades da Madeira (LPM) e Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM), do Departamento de Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Viçosa.

### Caracterização anatômica

Foram retirados pequenos fragmentos ao longo do sentido radial nas regiões do cerne, do cerne periférico e do albúrnio de cada disco, formando uma amostra composta por árvore.

Para individualização das fibras, as amostras foram acondicionadas com solução de peróxido de hidrogênio e ácido acético glacial, segundo o método preconizado por Dadswell (1972). Posteriormente, montaram-se lâminas temporárias e mediram-se a largura, comprimento e diâmetro do lume de 30 fibras por árvore. Foram utilizados um microscópio óptico com câmera acoplada, sistema de aquisição de imagens, e o *software* Axio-Vision. A espessura da parede celular da fibra foi determinada matematicamente pela metade da diferença entre a largura da fibra e o diâmetro do lume. A fração parede (FP) foi estimada conforme Foelkel et al. (1975):

Onde: Ep = espessura de parede, em  $\mu\text{m}$ ; e, Lf = largura de fibra, em  $\mu\text{m}$ .

$$\text{Fração parede} = \frac{2 * Ep}{Lf} * 100$$

Para medição do diâmetro e da frequência dos vasos foram utilizadas amostras da região do cerne periférico de cada árvore, provenientes da parte superior do disco selecionado. De cada amostra foram realizados cortes nos planos transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial, com espessura média de 16  $\mu\text{m}$ , utilizando um micrótomo de deslize horizontal. De cada amostra foram realizados cortes nos planos transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial. Os cortes anatômicos foram desidratados em uma série alcoólica, corados com solução de safranina, e as lâminas foram fixadas com Entelan. A descrição da madeira estudada foi realizada em microscópio óptico, seguindo normas da IAWA Committee (1989). Foram realizadas as medições do diâmetro de 30 vasos para cada árvore e a frequência foi mensurada em cinco micrografias por árvore (IAWA, 1989).

### Densidade básica da madeira

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

### Poder calorífico superior (PCS) da madeira

O poder calorífico superior (PCS) da madeira de *P. gonoacantha* foi determinado de acordo com a

metodologia descrita pela norma da ABNT NBR 8633 (ABNT, 1984), utilizando-se uma bomba calorimétrica adiabática IKA300. As amostras foram secas em estufa a  $103 \pm 2$  °C, até apresentar massa constante, para determinação do poder calorífico superior.

### Carbonização da madeira

Para carbonização, as amostras de madeira foram previamente secas em estufa, a  $103 \pm 2$  °C, por 24 h ou até apresentar massa constante, conforme descrito por Pereira et al. (2012).

As carbonizações foram realizadas em um forno elétrico tipo mufla, utilizando-se aproximadamente 350 g de madeira, que foram inseridas em um recipiente metálico com dimensões nominais de 0,3 m de comprimento, 0,12 m de diâmetro e um volume de aproximadamente 0,003 m<sup>3</sup>. O controle de aquecimento foi feito manualmente, com incrementos de 50 °C a cada 30 min, o que corresponde a uma taxa de aquecimento média de 1,67 °C min<sup>-1</sup>. A temperatura inicial foi de 50 °C e a temperatura final de 400 °C, permanecendo estabilizada nesta última por um período de 60 min, sendo, portanto, o tempo de carbonização de 4 h. Os gases condensáveis foram recuperados por meio de um condensador tubular adaptado à porta da mufla.

Após as carbonizações, os rendimentos gravimétricos em carvão e gases condensáveis e não condensáveis, sendo estes últimos obtidos por diferença, foram determinados, com base na massa seca da madeira.

### Propriedades do carvão vegetal

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, aproximadamente, 5% de umidade na base seca.

Para o poder calorífico superior e composição química imediata, as amostras de carvão foram moídas e peneiradas, utilizando-se a fração que passou pela peneira com malha de 40 mesh e ficou retida na peneira com malha de 60 mesh (ASTM, 1982).

O poder calorífico superior do carvão vegetal foi determinado de acordo com a metodologia descrita pela norma da ABNT NBR 8633 (ABNT, 1984), utilizando-se uma bomba calorimétrica adiabática IKA300. As amostras foram secas em estufa a  $103 \pm 2$  °C, até massa constante, para determinação do poder calorífico superior.

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.

O rendimento gravimétrico em carbono fixo foi obtido multiplicando-se o rendimento gravimétrico em carvão vegetal pelo teor de carbono fixo.

## Resultados e discussão

### Caracterização anatômica

A espécie florestal *P. gonoacantha* apresenta anel de crescimento distinto, delimitado por zona fibrosa no final do lenho tardio. A porosidade é difusa, tendendo à porosidade em anel semi-circular (Figura 1A), com ausência de um arranjo específico.

Os vasos são predominantemente solitários, com ocorrência de vasos múltiplos de 2 ou 3 (Figura 1A), ocasionalmente obstruídos e apresentam placas de perfuração simples.

A madeira apresenta fibras libríformes não-septadas com pontoações simples, mas há ocorrência de fibras septadas.

O parênquima axial é predominantemente paratraqueal confluyente e unilateral, ocasionalmente ocorrendo vasicêntrico e aliforme (Figura 1A). Verificou-se a presença de cristais prismáticos no parênquima axial.

O parênquima radial é predominantemente bisseriado e trisseriado, com ausência de estratificação (Figura 1B). As células do parênquima radial são exclusivamente procumbentes (Figura 1C).

Longui et al. (2009) encontraram valores médios de diâmetro dos vasos igual a 139,4 e 143,9 µm, para a madeira de *P. gonoacantha*, em dois locais distintos

e frequência de 9 e 7 vasos mm<sup>-2</sup>, sendo semelhante as características anatômicas observadas nesse trabalho.

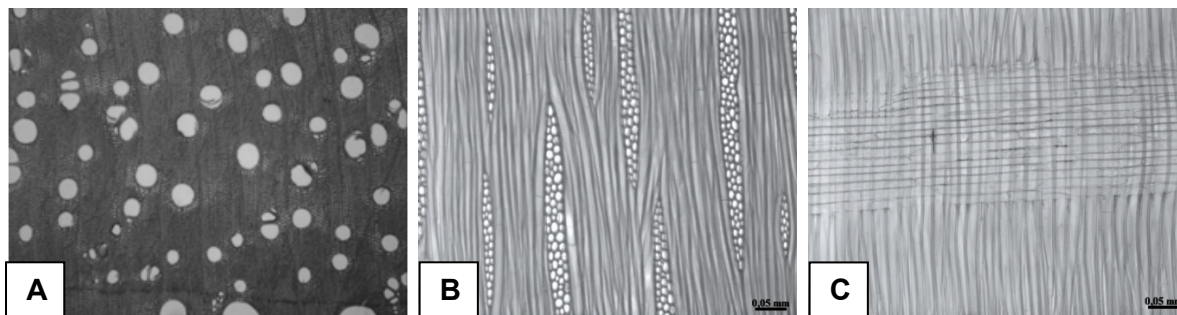
Quanto maior a fração parede das fibras há tendência de que menos espaços vazios sejam encontrados na madeira. De acordo com Paula (2005), quanto maior a fração parede, as fibras terão maior quantidade de massa por unidade de volume e, conseqüentemente, maior capacidade de liberação de energia durante a decomposição térmica. Esse autor indica que a fração parede deve ser superior a 60% para utilização de madeira para energia. Portanto, madeiras ricas em fibras de alta fração parede devem ser recomendadas para a geração de energia, seja pela queima direta ou pela produção de carvão vegetal.

### Densidade básica e poder calorífico superior (PCS) da madeira

A madeira avaliada de *P. gonoacantha* apresentou uma densidade básica média igual a 590 kg m<sup>-3</sup>, valor superior ao verificado na literatura para esta espécie que, segundo Carvalho (2003), normalmente, varia entre 540 a 580 kg m<sup>-3</sup>. Segundo Pereira et al. (2012), a densidade da madeira é uma propriedade importante para produção de carvão vegetal, sendo recomendados valores superiores a 500 kg m<sup>-3</sup>.

O valor elevado de densidade básica da madeira de *P. gonoacantha*, quando comparado com estudos realizados com madeira de eucalipto para produção de carvão vegetal, a exemplo do trabalho desenvolvido por Pereira et al. (2012), pode estar associado à alta fração parede das fibras e poros de menores diâmetros e maiores frequências (Tabela 1).

A densidade depende da proporção de vasos e da espessura da parede celular das fibras (Oliveira & Silva, 2003). De acordo com os autores, o aumento da densidade pode ser resultado do aumento da espessura da parede celular das fibras ou da proporção das fibras em relação à proporção de vasos.



**Figura 1.** Seções anatômicas transversal (A), longitudinal tangencial (B) e longitudinal radial (C) da madeira de *Piptadenia gonoacantha*.

De acordo com Brito (1993), quanto maior a densidade da madeira, maior será a produção em massa de carvão vegetal, para um determinado volume de madeira enfiada. Além disso, maior densidade da madeira

resultará em carvão vegetal como maior densidade e maior resistência mecânica, propriedades almeçadas na maioria dos usos aos quais se prestam esse insumo.

**Tabela 1.** Valores médios referentes aos parâmetros anatômicos de fibras e vasos da madeira de *Piptadenia gonoacantha*.

Estatística descritiva	Fibras			Vasos	
	Comprimento (mm)	Largura (µm)	Diâmetro do lume (µm)	Espessura da parede (µm)	Diâmetro (µm)
<b>Média</b>	0,82	17,54	8,02	4,76	121,30
<b>Maior valor</b>	1,13	23,40	13,82	6,65	193,00
<b>Menor valor</b>	0,55	12,29	4,50	2,85	70,30
<b>Desvio padrão</b>	0,17	2,83	2,48	0,85	31,20
<b>Coefficiente de variação</b>	20,72	16,14	30,98	17,78	25,70

Em relação ao poder calorífico superior (PCS) da madeira de *P. gonoacantha* (4650 kcal kg<sup>-1</sup>), verificou-se valor próximo ao obtido para a madeira de diferentes espécies de eucalipto que foram avaliados visando a produção de carvão vegetal (Neves et al., 2011; Pereira et al., 2012).

### Carbonização da madeira e propriedades do carvão vegetal

O rendimento gravimétrico em carvão vegetal da madeira de *P. gonoacantha* foi igual a 37,1%, valor relativamente alto, que pode ser explicado pela carbonização ter sido realizada de forma mais branda, com temperatura final de 400 °C.

O rendimento de gases condensáveis (29,2%) foi inferior ao rendimento de gases não condensáveis (33,7%). Pereira et al. (2012), avaliando diferentes clones de eucalipto sob carbonização à temperatura final de 450 °C encontraram rendimentos gravimétricos em carvão vegetal variando de 34,3 a 35,8%. Os mesmos autores verificaram rendimento médio em gases condensáveis igual a 35,6% e para gases não condensáveis o rendimento médio foi de 29,4%. Neves et al. (2011) avaliando clones de eucaliptos em diferentes locais obtiveram rendimentos em carvão vegetal variando entre 30,26 e 32,47% para carbonização com temperatura final igual a 450 °C, valores inferiores ao verificado neste trabalho.

O tempo e a temperatura final de carbonização exercem grande influência nas propriedades do carvão

vegetal. Temperaturas finais inferiores a 400 °C associadas a curto tempo de carbonização proporcionam maior rendimento em carvão devido à incompleta decomposição térmica do material. A decomposição depende da quantidade de energia disponível e, portanto, do binômio tempo-temperatura (Trugilho et al., 2001).

O carvão vegetal produzido com madeira de *P. gonoacantha* apresentou umidade média igual a 2,45%. Este valor está em conformidade com o exigido pelo setor siderúrgico brasileiro, maior consumidor do carvão vegetal como termorreduzidor, que segundo Carneiro et al. (2013), aceita variação do teor de umidade do carvão de 1 a 6%, sendo 4% o valor ideal.

Em relação à análise química imediata, o carvão vegetal de *P. gonoacantha* apresentou um teor de materiais voláteis igual a 23,26% e carbono fixo igual a 74,35%. A faixa desejada de carbono fixo no carvão para uso siderúrgico está compreendida entre 75 e 80%, porque maiores teores de carbono fixo contribuem para o aumento na produtividade dos altos-fornos para o mesmo consumo de carvão vegetal (Carneiro et al., 2013).

O teor de cinzas foi de 2,39%, valor considerado alto, pois no uso siderúrgico, deseja-se valores inferiores a 1%. Este valor, inerente à espécie, pode ter sido influenciado pelos níveis de adubação ou pode indicar contaminação do carvão com resíduos do solo (Pimenta & Barcelos, 2000). Outra possível explicação para o elevado teor

de cinzas do carvão vegetal de *P. gonoacantha* pode ser explicado pela utilização de madeira com casca para a carbonização. De acordo com Pimenta & Barcelos (2000), a cinza é um resíduo mineral proveniente dos componentes minerais do lenho e da casca e quanto maior sua proporção na madeira, maior será o teor de cinzas verificado no carvão.

Exceto pelo teor de cinzas, os valores de materiais voláteis e carbono fixo estão próximos ao normalmente verificado para o carvão vegetal produzido com madeira de eucalipto. Pereira et al. (2012), avaliando diferentes clones de eucaliptos encontraram como valores médios de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas, 25,55%; 74,04% e 0,41%, respectivamente. Neves et al. (2011), também avaliando clones de eucaliptos obtiveram valores médios iguais a 19,18% para materiais voláteis; 0,73% para cinzas e 80,11% para carbono fixo, sendo os dois primeiros inferiores ao verificado para o carvão de *P. gonoacantha* e o carbono fixo superior.

Observou-se o valor médio de 7.719,27 kcal kg<sup>-1</sup> para o poder calorífico superior do carvão vegetal de *P. gonoacantha*. Pereira et al. (2012) encontraram valores variando entre 7.069,70 e 7.616,30 kcal kg<sup>-1</sup> para diferentes clones de Eucaliptos, enquanto Neves et al. (2011) obtiveram valor médio para o PCS do carvão igual a 7.654,30 kcal kg<sup>-1</sup>. De acordo com Pereira et al. (2012), maior poder calorífico reflete em menor consumo do carvão vegetal (reduzidor) para uma mesma produtividade, o que reduz significativamente o consumo do insumo na atividade siderúrgica.

De acordo com Carneiro et al. (2013), para uso siderúrgico, a densidade aparente do carvão vegetal deve apresentar valores superiores a 400 kg m<sup>-3</sup>. O carvão de *P. gonoacantha* apresentou densidade aparente média igual a 460 kg m<sup>-3</sup>. Este elevado valor é devido à densidade básica elevada observada na madeira (590 kg m<sup>-3</sup>) e baixa temperatura final de carbonização (400 °C). Pereira et al. (2012) encontraram valores variando de 361 a 405 kg m<sup>-3</sup>, com média igual a 384 kg m<sup>-3</sup> para diferentes clones de eucaliptos e Neves et al. (2011) obtiveram valores de densidade aparente do carvão vegetal de eucaliptos entre 311 e 376 kg m<sup>-3</sup>, valores estes, inferiores ao observado neste trabalho para o carvão vegetal de *P. gonoacantha*.

De acordo com Pimenta & Barcelos (2000), quanto mais elevada a densidade do carvão vegetal, maior será a utilização do volume do alto-forno e maior o tempo de residência da carga metálica no equipamento, além de maior capacidade de carga em termos de carbono por volume.

O rendimento em carbono fixo para o carvão vegetal proveniente da madeira de *P. gonoacantha* foi igual a 27,56%. Este parâmetro envolve características de produtividade e qualidade relacionada ao carvão. O valor encontrado neste trabalho foi superior aos encontrados por Botrel et al. (2007) e Santos (2010), 25, 30% e 25,97%, respectivamente, avaliando clones de eucaliptos.

## Conclusões

A madeira de *P. gonoacantha* apresenta qualidade satisfatória para a produção de carvão vegetal, porém devem-se realizar estudos sobre sua composição química, a fim de se identificar as possíveis causas das características físico-químicas observadas do carvão vegetal.

O carvão vegetal produzido atende às exigências estabelecidas para a produção de ferro-gusa no que se refere ao rendimento gravimétrico em carvão, densidade aparente, teores de carbono fixo e materiais voláteis, com exceção ao teor de cinzas.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPEMIG, ao CNPq, à CAPES, à Universidade Federal de Viçosa e aos funcionários do Laboratório de Propriedades da Madeira (LPM) e Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM).

## Referências

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM. **Standard methods of evaluating properties of wood-base fiber and particles materials**. Philadelphia: 1982.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633**: Carvão vegetal: determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 1984. 13 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112**: Carvão vegetal: análise imediata. Rio de Janeiro, 1986. 8 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: Madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.
- BOTREL, M. C. G.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. S.; SILVA, J. R. M. Melhoramento genético das propriedades do carvão vegetal de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 31, n. 3, p. 391-398, 2007.

- BRITO, J. O. Reflexões sobre a qualidade do carvão vegetal para uso siderúrgico. **IPEF**, Piracicaba, Circular Técnica, n. 181, 1993.
- CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; OLIVEIRA, A. C.; PEREIRA, B. L. C. **Pirólise lenta da madeira para produção de carvão vegetal**. In: Bioenergia & Biorrefinaria – Cana-de-Açúcar & Espécies Florestais. SANTOS, F.; COLLODETTE, J.; QUEIROZ, J. H. (Ed.). Viçosa: Os editores, 2013. p. 429-458.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Embrapa Florestas, Colombo. 2003.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: Recomendações silviculturais, potencialidades e uso da Madeira**. Brasília: EMBRAPA, 1994, p.407.
- COSTA, T. G. **Propriedades da madeira de espécies do cerrado mineiro e sua potencialidade para geração de energia**. 2011, 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2011.
- DADSWELL, H.E. The anatomy of eucalyptus wood. **CSIRO Forest Products Laboratory**, Melbourne, n.66, p.1-28, 1972.
- 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-SP, n.10, p.17-37, 1975.
- IAWA COMMITTEE. **List of microscopic features for hardwood identification**. IAWA Bulletin, Leuven, v. 10, n. 2, p. 219-332, 1989.
- LONGUI, E. L.; BUFOLO, A.; AGUIAR, O. T.; LIMA, I. L.; FLORSHEIM, S. M. B. Anatomia comparada do lenho de *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) J.F.Macbr. em dois tipos de vegetação. **Hoehnea**, v. 36, n.4, p.715-724, 2009.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras**. Nova Odessa: Plantarum, 2002. v.1. 368p.
- MARISCAL-FLORES, E. J. **Potencial produtivo e alternativas de manejo sustentável de um fragmento de Mata Atlântica Secundária, Município de Viçosa, Minas Gerais**. 1993. 165p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1993.
- MARQUES, L. S.; PAIVA, H. N.; NEVES, J. C. L.; GOMES, J. M.; SOUZA, P. H. Crescimento de mudas de jacaré (*Piptadenia gonoacantha* Macbr.) em diferentes tipos de solos e fontes e doses de nitrogênio. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.33, n.1, p.81-92, 2009.
- NEVES, T. A.; PROTÁSSIO, T. P.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; VIEIRA, C. M. M. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo-PR, v. 31, n. 68, p. 319-330, 2011.
- 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 *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.2, p.311-318, 2006.
- OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, J. C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**, v.27, n.3, 381-385, 2003.
- 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.
- PEREIRA, B. L. C.; OLIVEIRA, A. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; CARNEIRO, A. C. O.; SANTOS, L. C.; VITAL, B. R. Quality of wood and charcoal from *Eucalyptus* clones for ironmaster use. **International Journal of Forestry Research**, v. 2012, p. 1-8, 2012.
- PIMENTA, A. S.; BARCELLOS, D. C. **Curso de atualização e carvão vegetal. Centro de Produções técnicas – CPT**, 2000.76p. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- SANTOS, R. C. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto**. 2010, 173 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2010.
- TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; LINO, A. L. Avaliação de clones de *Eucalyptus* para produção de carvão vegetal. **Cerne**, Lavras-MG, v. 7, n. 2, p. 104-114, 2001.
- VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa, MG: Sociedade de Investigações Florestais, 1984. 21 p.

