SCIENTIA
FORESTALIS

Análise da qualidade da madeira e do carvão vegetal produzido a partir da espécie *Miconia cinnamomifolia* (De Candolle) Naudin (Jacatirão-açu) na agricultura familiar, em Biguaçu, Santa Catarina

Analysis of the quality of wood and charcoal produced from the species *Miconia cinnamomifolia* (De Candolle) Naudin (Jacatirão-açu) in family farming, in Biguaçu, Santa Catarina, Brazil

Martha Andreia Brand[1], Alexsandro Bayestorff da Cunha [1], Adriel Furtado de Carvalho[2], Denys Roberto Brehmer[3] e Larissa Cardoso Küster[4]

Resumo

Este trabalho teve o objetivo de avaliar a qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Miconia cinnamomifolia*, utilizada para produção de carvão vegetal na agricultura familiar, comparando sua qualidade com a madeira e carvão de alguns *Eucalyptus* e outras espécies utilizadas para este fim. Foram coletadas quatro árvores de *M. cinnamomifolia* (Jacatirão-açu) na localidade de Três Riachos, no município de Biguaçu, em Santa Catarina. Na madeira foram determinados: teor de umidade, densidade básica, poder calorífico superior, teor de carbono fixo, voláteis, e cinzas. Corpos de prova de 2 cm x 2 cm x 2 cm foram carbonizados e o carvão foi avaliado quanto ao rendimento gravimétrico e volumétrico, teor de umidade, densidade aparente, poder calorífico e análise imediata. Os resultados indicaram que a madeira de *M. cinnamomifolia* possui densidade básica de 552 kg/m^3, apresentado valor similar a outras espécies, como alguns *Eucalyptus*, utilizadas para a produção de carvão vegetal. As propriedades físicas da madeira indicam a aptidão da espécie para energia e produção de carvão. A densidade aparente do carvão (290 kg/m^3) pode ser considerada baixa, quando comparada ao carvão de algumas espécies de *Eucalyptus* e outros carvões comerciais de origens diversas. O teor de umidade (5,52%) e o teor de cinzas (1,35%) foram baixos, e o rendimento gravimétrico (36%) foi alto, superior ao de alguns *Eucalyptus*, da *Mimosa scabrella* e da *Melia azedarach*. O carvão teve menor poder calorífico superior (6267 kcal/kg) e menor teor de carbono fixo (68,18%) em relação ao carvão de outras espécies nativas da região, alguns *Eucalyptus* e outros carvões comerciais.

Palavras-chave: agricultura itinerante, carbonização, rendimento gravimétrico.

Abstract

This work aimed at evaluating the quality of wood and charcoal of *Miconia cinnamomifolia*, used for charcoal production on family farms; comparing its quality with the wood and charcoal of some *Eucalyptus* and other species used for this purpose. Were collected four trees of *M. cinnamomifolia* (Jacatirão-açu) in the town of Três Riachos, in the municipality of Biguaçu in Santa Catarina. In the wood we determined: moisture content, basic density, calorific value, fixed carbon content, volatiles and ash. Specimens of 2 cm x 2 cm x 2 cm were carbonized and charcoal was evaluated for gravimetric and volumetric yield; moisture content; bulk density; calorific value and immediate analysis. The results showed that the wood *M. cinnamomifolia* has a basic density of 552 kg/m³, similar to other species, as some *Eucalyptus*, used for the production of charcoal. The physical properties of the wood indicate the suitability of the species for energy and charcoal production. As to the charcoal, the bulk density (290 kg/m³) can be considered low when compared to charcoal of some species of *Eucalyptus*, and other commercial charcoal of various origins. The moisture content (5.52%) and ash content (1.35%) were low, and the gravimetric yield (36%) was high, higher than some *Eucalyptus*, *Mimosa scabrella* and *Melia azedarach*. With respect to the energetic properties, charcoal had lower calorific value (6267 kcal/kg) and lower fixed carbon content (68.18%) compared to charcoal from other native species, *Eucalyptus* and some other commercial charcoals.

Keywords: itinerant agriculture, carbonization, gravimetric yield.

[1]Professor(a) Doutor (a). UDESC - Universidade do Estado de Santa Catarina - Departamento do Engenharia Florestal. Luiz de Camões, 2090, Bairro Conta Dinheiro, CEP 88520-000, Lages – SC. E-mail: a2mab@cav.udesc.br; a2abc@cav.udesc.br

[2]Engenheiro Agrônomo, Mestrando do Curso de Pós Graduação em Engenharia Florestal. UDESC - Universidade do Estado de Santa Catarina - Departamento do Engenharia Florestal. Luiz de Camões, 2090, Bairro Conta Dinheiro, CEP 88520-000, Lages – SC. E- mail: adrielfurtado@yahoo.com.br

[3]Engenheiro florestal. E-mail: denysbrehmer@florestal.eng.br

[4]Acadêmica do Curso de Engenharia Florestal. Universidade do Estado de Santa Catarina - Departamento do Engenharia Florestal. Luiz de Camões, 2090, Bairro Conta Dinheiro, CEP 88520-000, Lages – SC. E-mail: larissakuster@hotmail.com

INTRODUÇÃO

Dados do censo de 2006 indicam que a agricultura familiar no estado de Santa Catarina corresponde a 87% dos estabelecimentos agropecuários (IBGE, 2006). Este elevado percentual de participação mostra a relevância da atividade no estado.

Na região de Biguaçu, SC, a agricultura familiar utiliza, como complementação de renda, a produção de carvão vegetal a partir de espécies da floresta ombrófila densa (ULLER-GÓMEZ; GARTNER, 2008). No entanto, a qualidade do carvão vegetal ainda não foi analisada, não podendo ser utilizada como subsídio para defender a continuidade de realização desta atividade pelos agricultores.

A produção anual de carvão vegetal no estado de Santa Catarina é de 2.561 t (IBGE, 2011), porém o mesmo órgão que apresenta estes dados não relata a produção de carvão vegetal na Microrregião de Florianópolis. Para esclarecer esta controvérsia está sendo desenvolvido o projeto "Rede Sul Florestal", no qual se insere a presente pesquisa.

O objetivo geral do projeto "Rede Sul Florestal" é desenvolver tecnologias apropriadas ao contexto da agricultura familiar para a produção sustentável de carvão vegetal na Grande Florianópolis, visando a conservação das florestas nativas e à melhoria da qualidade de vida dos agricultores (RECH et al., 2010).

Uller-Gómez; Gartner (2008) e Fantini et al. (2010) apresentaram informações por meio de estudos desenvolvidos na região de Biguaçu, demonstrando que ocorre a produção de carvão, a qual apresenta um grande significado econômico para os agricultores familiares desta região.

O carvão vegetal produzido provém de um sistema de corte e queima, ou roça-de-toco, que ocorre de formas variadas. Esta prática é comumente empregada pelas populações em sistemas de regiões tropicais (LUCA et. al., 2012). A prática consiste na retirada da floresta nativa para o uso da terra. Planta-se mandioca, milho, feijão, batata doce, por um período de 6 a 8 anos. Em seguida vem o "pousio" onde esta área fica de 15 a 20 anos inexplorada, permitindo que a floresta se regenere.

A biomassa florestal retirada das áreas permite a produção de carvão vegetal para uso doméstico, o qual é comercializado em Biguaçu. O uso doméstico, para churrasco, é exclusivo para o carvão produzido na região, visto que não são praticadas outras atividades, como siderurgia ou aplicação do carvão para ativação.

A receita oriunda da venda do carvão é de suma importância para o complemento da renda das famílias e movimenta a economia local, permitindo a permanência da população na zona rural. Segundo Uller-Gómez; Gartner (2008), cerca de 30% dessas famílias têm como principal fonte de renda a produção de carvão, porém a população ainda desconhece a importância desta atividade como complemento de renda, para a manutenção da população agrícola e redução do êxodo rural.

Os dados do IBGE (2011) informam que o estado de Santa Catarina é o 14º produtor de carvão vegetal do Brasil, porém o município de Biguaçu é excluído deste cenário, onde sequer os dados de Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura são mencionados e muito menos apresentados entre as principais fontes de Energia de Santa Catarina (FIESC, 2013). Desta forma, constata-se que os dados do IBGE são subestimados em relação a real produção de carvão no município; pois não existem parâmetros que dimensionem a produção e muito menos a importância econômica deste para geração de renda nas propriedades familiares.

Para a produção de carvão vegetal, os agricultores utilizam várias espécies florestais que compõem a floresta nativa. A partir de informações obtidas com os produtores locais, os mesmos destacaram que o Jacatirão-açu, além de compor boa proporção do carvão produzido nas propriedades, juntamente com outras espécies como *Hyeronima alchorneoides* e *Mimosa scabrella*, gera um carvão mais denso e com melhor qualidade de queima, comparativamente a outras espécies utilizadas na região como *Cecropia glaziovi* e *Pera glabrata*.

Grande parte das formações florestais onde os agricultores estão inseridos são florestas secundárias onde, segundo Schuch et. al (2008), a *M. cinnamomifolia* (De Candolle) Naudin é uma das principais espécies dominantes.

A *M. cinnamomifolia* ocorre desde a Bahia até Santa Catarina, em altitudes que variam de 600 m até o nível do mar. Espécie característica da Floresta Ombrófila Densa (Floresta Atlântica), pode ser encontrada nas formações Baixo - Montana e Submontana (KLEIN, 1979).

Árvore perenifólia pertencente à família Melastomataceae. Sua altura é de 15 a 20 m, apresenta fuste reto, com diâmetro à altura do peito de 30 a 40 cm. A copa é arredondada, de cor verde clara. Árvore típica encontrada em clareiras possui grande capacidade para se tornar uma

pioneira antrópica e de formar densos aglomerados chamados de *Miconietum*, com longevidade de 30 a 50 anos (REITZ et al., 1978).

A madeira é moderadamente pesada, esbranquiçada ou amarelada, com alburno e cerne indistintos, dura, leve e macia para pregar. Apresenta boa durabilidade natural, contudo não é resistente à umidade e ao ataque de cupins (REITZ et al., 1978). A densidade aparente da madeira varia de 0,70 a 0,76 g/cm^3 a 12% de umidade, com densidade básica de 0,58 g/cm^3 (CARVALHO, 2003).

O Jacatirão-açu é excelente para ser aproveitado em serrarias por ter um crescimento retilíneo (monopodial) do tronco, além disso, as ramificações possuem grande potencial para produção de carvão vegetal e lenha (SCHUCH et. al., 2008).

No entanto, na região de estudo, os agricultores utilizam as árvores com diâmetros menores. Isso porque o ciclo de corte no sistema de pousio é curto, e o uso para madeira serrada não é uma realidade na região. Assim, os agricultores se concentram no uso dos troncos e deixam os galhos e ramificações no campo, para promover a cobertura do solo.

Assim, este trabalho teve o objetivo de avaliar a qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Miconia cinnamomifolia*, utilizada para produção de carvão vegetal na agricultura familiar, comparando sua qualidade com a madeira e carvão de alguns *Eucalyptus* e outras espécies utilizadas para este fim.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletadas quatro árvores de *M. cinnamomifolia* (De Candolle) Naudin na localidade de Três Riachos, no município de Biguaçu, em Santa Catarina, com idade inferior a 10 anos, em função do sistema de manejo adotado pelos agricultores na roça de toco. Os agricultores praticam corte, queima e agricultura nas áreas de manejo da floresta nativa em ciclos de conte geralmente inferiores a 10 anos.

Do lote de madeira que seria carbonizada, duas árvores foram coletadas, em duas propriedades rurais da região. Portanto, estas duas árvores já estavam derrubadas por algum tempo e passaram por um período de secagem antes da coleta. Em cada tora, que tinha em torno de 1 m de comprimento, foram retirados três discos, a 30 cm da extremidade e na porção central da tora, para a confecção dos corpos de prova para as análises de laboratório.

Os outros dois indivíduos foram cortados para a realização da análise da qualidade energética da madeira, juntamente com exsicatas para a confirmação da identificação da espécie. Nestes, foram retirados três discos na altura do peito (DAP) para a confecção dos corpos de prova. Em ambos os casos, os discos foram acondicionados separadamente em sacos plásticos devidamente identificados e enviados ao laboratório para as análises.

As propriedades físicas analisadas foram: o teor de umidade na base úmida, conforme NBR 14929 (ABNT, 2003b) e a densidade básica, conforme NBR 11491 (ABNT, 2003a). O restante do material foi acondicionado em câmara climatizada para estabilização da umidade. A análise energética da madeira consistiu da determinação das propriedades de: teor de cinzas (700°C), porcentagem de carbono fixo e porcentagem de voláteis (900°C) em Termobalança Gravimétrica (TGA), conforme a norma ASTM 1762 (ASTM, 2007) e o poder calorífico superior (PCS) em calorímetro, conforme a norma DIN 51900 (DIN, 2000).

Para análise da qualidade do carvão foi realizado o procedimento de carbonização. Para tanto, foram confeccionados 7 corpos de prova para cada árvore, com dimensões aproximadas de 2 cm x 2 cm x 2 cm. As amostras foram pesadas e medidas antes da carbonização, para a determinação da densidade aparente e do rendimento gravimétrico e volumétrico do carvão. Três corpos de prova, além dos utilizados para carbonização, foram selecionados para a determinação do teor de umidade antes da carbonização.

Posteriormente, os corpos de prova foram envolvidos com papel alumínio, identificados, e colocados em mufla, para carbonização, conforme rampa de aquecimento, utilizada em trabalhos anteriores destinados a análise da estrutura anatômica do carvão vegetal. Neste estudo não foi avaliada a influência da taxa de aquecimento na qualidade do carvão ou da umidade da madeira no processo de carbonização. A rampa de aquecimento pode ser visualizada na Tabela 1.

Após a carbonização e resfriamento, os corpos de prova foram novamente medidos e pesados para a determinação do rendimento volumétrico e gravimétrico. O rendimento gravimétrico foi determinado a partir da relação entre a massa seca do carvão e a massa seca da madeira, antes da carbonização. O rendimento volumétrico foi determinado a partir da relação entre o peso seco do carvão e o volume da madeira antes da carbonização (BRITO; BARRI-

CHELO, 1977). Também foi calculada a perda de massa da madeira durante o processo de carbonização, considerando como massa inicial a massa seca da madeira antes da carbonização e o peso seco do carvão, após a carbonização, em termos percentuais.

Tabela 1. Parâmetros utilizados para carbonização da madeira de *M. cinnamomifolia*
Table 1. Parameters used for *M. cinnamomifolia* wood carbonization

Tempo (minutos)	Temperatura (ºC)	Taxa de aquecimento (ºC/min)
00	25	
20 (0:00 h)	150	7,50
87 (1:27 h)	200	2,30
184 (3:04 h)	250	1,36
288 (4:48 h)	350	1,22
362 (6:02 h)	450	1,24
394 (6:32 h)	450	

As propriedades analisadas do carvão foram: teor de umidade na base úmida segundo NBR 14929; porcentagem de voláteis, teor de cinzas e porcentagem de carbono fixo (análise imediata), por meio de Termobalança Gravimétrica (TGA), utilizando-se a norma ASTM *D 1762*, com temperaturas de 900°C para a determinação dos voláteis e 700°C para cinzas. O poder calorífico superior (PCS) foi determinado em calorímetro, segundo a norma DIN 51900.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Propriedades Físicas da Madeira de *M. cinnamomifolia*

As propriedades físicas da madeira da espécie *M. cinnamomifolia*, estão representadas na Tabela 2.

Tabela 2. Propriedades físicas da madeira de *M. cinnamomifolia.*
Table 2. Physical Properties of *M. cinnamomifolia* wood

Árvore	Teor de umidade (Base úmida - %)	Densidade básica (g/cm³)
1	49[b]	0,547[b]
2	18[d]	0,622[a]
3	47[c]	0,564[b]
4	57[a]	0,485[c]
Média	**44**	**0,552**

Nota: Médias seguidas da mesma letra, na linha, não apresentam variação estatística significativa entre si pelo Teste de Tukey ($p > 0,05$).

Teor de Umidade na Base Úmida

Houve variação significativa para o teor de umidade na base úmida (TU), pela comparação das médias pelo Teste de Tukey (0,05% de probabilidade estatística) entre as árvores. A amostra 1 (49% de TU) estava estocada na pilha de toras ao lado do forno a céu aberto, desta forma sofrendo a ação do clima. A amostra 2 (18%) apresentou o menor teor de umidade, pois estava estocada sob cobertura, dentro de um galpão, encontrando-se protegida de intempéries. As amostras 3 (44%) e 4 (57%) foram obtidas no momento da coleta, desta forma mantendo a sua umidade natural.

Segundo os agricultores, a toras coletadas nos pontos de carbonização (amostras 1 e 2) já estavam aptas para a produção de carvão, e seriam já utilizadas por eles na forma como se encontravam, para o carregamento dos fornos.

O teor de umidade da madeira protegida estava adequado para a carbonização, pois segundo Valente (1986) deve ser inferior a 20 ou 30% (base seca), que corresponde a 25% (base úmida) (BRAND, 2010). Porém, a tora estocada ao lado do forno, sem cobertura, apresentava alto teor de umidade, o que segundo Arruda et al. (2011) faz com que a taxa de aquecimento seja muito lenta e que a temperatura máxima média não seja constante, devido ao excesso de vapor de água liberado pela madeira, e consequentemente, aumentando o tempo de ignição e de carbonização.

Arruda et al. (2011) observaram a influência direta do teor de umidade da lenha sobre os parâmetros de rendimento gravimétrico, tempo de ignição, temperatura média e taxa de aquecimento, no processo de produção de carvão. Figueroa; Moraes (2009) destacaram ainda que as taxas de carbonização das madeiras variam conforme o seu teor de umidade, além da interferência de outros fatores como a densidade básica, da espécie de madeira, das dimensões das peças, da forma da seção transversal e da intensidade do fluxo de calor. Com relação ao teor de umidade, quanto maior a quantidade de água na madeira menor a taxa de carbonização, aumentando o tempo necessário para a produção de carvão.

Klitzke (1998), avaliando a influência do teor de umidade e da idade no rendimento do carvão de bracatinga, em diferentes temperaturas de carbonização, concluiu, com relação à influência da umidade, que o aumento desta ocasiona uma redução significativa do rendimento do carvão, onde o valor médio mais elevado do rendimento foi obtido na temperatura de 450°C a 0% de umidade. Já o menor valor para o rendimento foi observado na temperatura final de 550°C a 30%. Pode-se observar que há uma tendência do rendimento em carvão diminuir com o aumento do teor de umidade da madeira.

Desta forma, a umidade da madeira afeta significativamente o rendimento em carvão, causando uma diminuição do mesmo com o aumento do seu teor, pois a água contida na madeira fará parte do líquido condensado, tendo como consequência um aumento deste. Na prática, quanto maior a umidade mais material lenhoso é consumido no forno para a secagem da mesma, reduzindo com isso seu rendimento em carvão (KLITZKE, 1998).

Segundo Earl (1975), citado por Cunha et al. (1989), o teor de umidade tem grande influência na qualidade da madeira para fins energéticos. Assim, é de suma importância que o teor de umidade da madeira seja menor que 30%, pois desta forma o manejo e os custos com transporte são reduzidos e a qualidade energética é otimizada.

Densidade básica

A densidade básica média obtida foi de 0,552 g/cm³, aproximado ao valor informado por Carvalho (2003), de 0,58 g/cm³. Houve diferença significativa para a densidade básica entre os indivíduos analisados, variando de 0,485 a 0,622 g/cm³. Esta variação, no entanto, é esperada por tratar-se de uma espécie nativa, onde a idade dos indivíduos não foi determinada e as condições de crescimento são variáveis.

A densidade básica da madeira de *M. cinnamomifolia* (0,552 g/cm³), apresentou valor aproximado quando comparada com espécies como *Eucalyptus saligna* (0,548 g/cm³) e *E. urophylla* (0,564 g/cm), também utilizadas para produção de carvão(BRITO; BARRICHELO, 1978).

No trabalho desenvolvido por Vale et al. (2001), com 12 espécies provenientes do cerrado, os autores observaram uma forte correlação entre a densidade básica da madeira e a densidade aparente do carvão vegetal. Esta tendência também foi observada neste trabalho, pois a árvore com maior densidade básica produziu o carvão com densidade aparente mais elevada.

Propriedades químicas e energéticas da madeira de *M. cinnamomifolia*

Na Tabela 3 estão os resultados das propriedades químicas e energéticas da madeira de *M. cinnamomifolia.*

Para Brito (1993), o valor para poder calorífico superior (PCS) de folhosas tropicais situa-se entre 3.500 a 5.000 kcal/kg, sendo que a média dos valores encontrados para *M. cinnamomifolia* no presente trabalho encontra-se nesta faixa.

Houve diferença significativa entre os valores de poder calorífico superior (PCS) para as árvores analisadas. No entanto, de acordo com Brand (2010), para efeito prático de uso da biomassa para geração de energia são consideradas relevantes apenas diferenças superiores a 300 kcal/kg.

Os teores de voláteis e carbono fixo da madeira estão de acordo com Brito; Barrichelo (1982), que mencionaram que os teores de voláteis da madeira se encontram entre 75% a 85% e o carbono fixo entre 15% a 25%.

Houve diferença significativa entre as árvores para teor de voláteis, carbono fixo e cinzas. De forma geral, nas árvores que apresentaram maior teor de voláteis, o teor de cinzas foi mais elevado, indicando que o aumento do teor de cinzas está relacionado ao aumento do teor de voláteis.

O teor de cinzas da madeira foi considerado baixo, inferior a 5%, o que é positivo para o uso energético da madeira, tanto na forma de lenha como para a produção de carvão vegetal.

Qualidade do carvão vegetal de *M. cinnamomifolia*

O carvão vegetal para ser considerado de boa qualidade para o uso doméstico deve reunir algumas características como: alta densidade aparente, alto teor de carbono fixo, alto poder calorífico, baixa umidade, baixo teor de materiais voláteis e baixo teor de cinzas (RIBEIRO; VALE, 2006).

As propriedades físicas da madeira antes da carbonização, as propriedades físicas do carvão, os rendimentos da carbonização e a perda de massa ocorrida após o processo de carbonização estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 3. Propriedades energéticas da madeira de *M. cinnamomifolia.*
Table 3. Energetic properties of *M. cinnamomifolia* wood

Árvore	Poder calorífico superior (kcal/kg)	Teor de voláteis (%)	Teor de cinzas (%)	Teor de carbono fixo (%)
1	4.121[c]	79,55[b]	0,80[b]	19, 65[a]
2	4.224[a]	79,17[b]	0,71[c]	20, 12[a]
3	4.204[abc]	79,81[b]	0,82[b]	19, 37[a]
4	4.163[bc]	81,87[a]	1,04[a]	17, 09[b]
Média	**4.178**	**80,17**	**0,84**	**19, 99**

Nota: Médias seguidas da mesma letra, na linha, não apresentam variação estatística significativa entre si pelo Teste de Tukey ($p > 0,05$).

Tabela 4. Propriedades físicas do carvão produzido com *M. cinnamomifolia*.
Table 4. Physical properties of charcoal produced from *M. cinnamomifolia*.

Árvore	1	2	3	4	Média
Teor de umidade da madeira (%)	15	10	14	14	-
Densidade aparente da madeira (g/cm³)	0,665[a]	0,679[a]	0,642[a]	0,479[b]	
Teor de umidade do carvão (%)	5,34[b]	6,21[a]	4,95[c]	5,55[ab]	5,52
Densidade aparente do carvão (g/cm³)	0,268[b]	0,341[a]	0,324[a]	0,231[b]	0,290
Rendimento gravimétrico (%)	36[a]	36[ab]	37[a]	34[b]	36
Rendimento volumétrico (%)	20[b]	22[a]	20[b]	14[c]	19
Perda de massa (%)	64[b]	64[ab]	63[b]	66[a]	64

Nota: Médias seguidas da mesma letra, na linha, não apresentam variação estatística significativa entre si pelo Teste de Tukey ($p > 0,05$).

A árvore 2 foi carbonizada com o menor teor de umidade (10%), estando as demais com valores entre 14 e 15%. A densidade aparente média da madeira foi mais elevada para a árvore 2, para o teor de umidade de 10% (679 kg/m³), a qual gerou o carvão com maior densidade aparente, 341 kg/m³ (0% TU).

A análise individual de todos os corpos de prova carbonizados indicou que houve relação direta entre as massas específicas aparentes da madeira e do carvão e o rendimento volumétrico, sendo que quanto maior a densidade aparente da madeira e do carvão, maior o rendimento volumétrico (Figura 1).

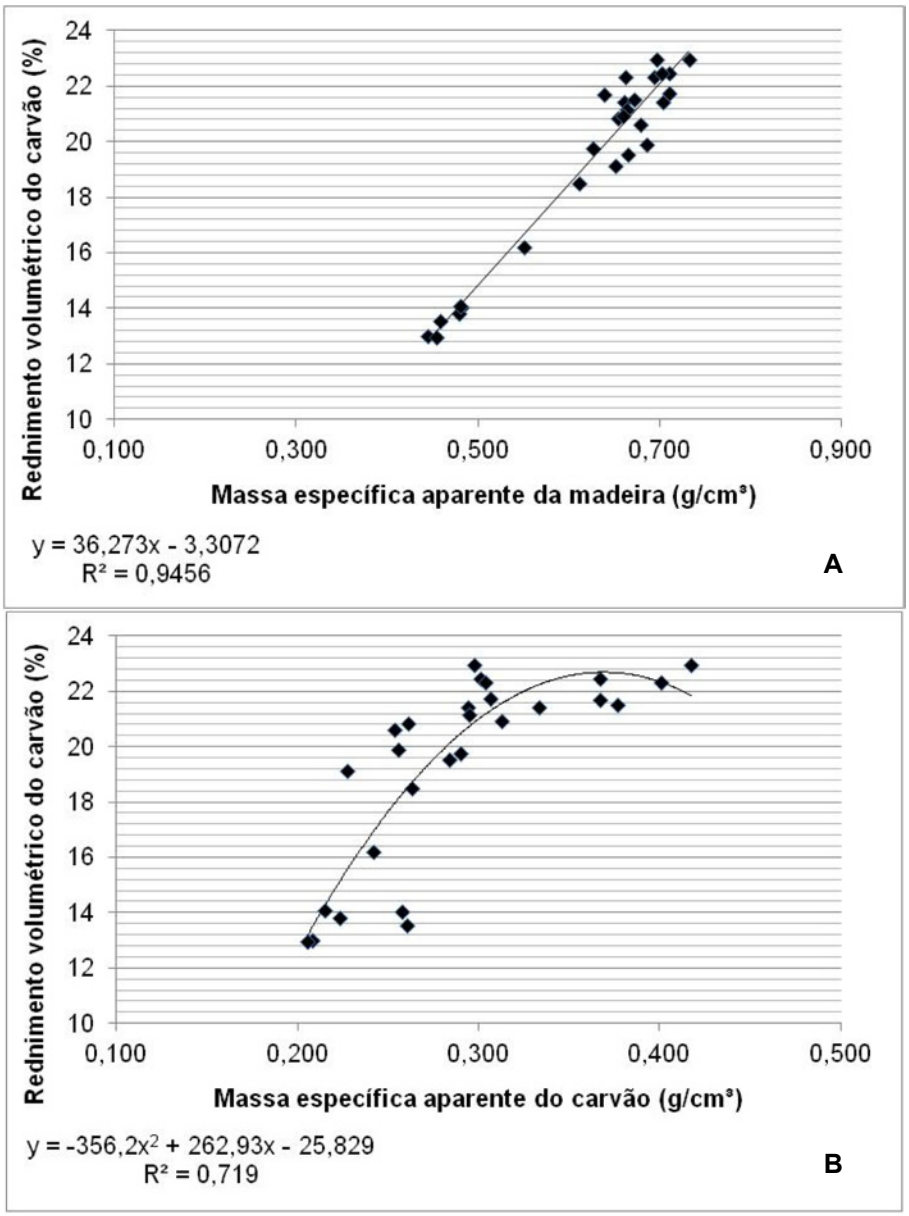

Figura 1. Relação entre a massa específica aparente da madeira de *M. cinnamomifolia* e o rendimento volumétrico do carvão vegetal (A), e a densidade aparente do carvão e o seu rendimento volumétrico (B).
Figure 1. Correlation between the apparent density of the wood and volumetric efficiency of charcoal of *M. cinnamomifolia* (A), and bulk density of charcoal and its volumetric efficiency (B).

Houve diferença quanto à densidade aparente do carvão, sendo que foram formados dois grupos de similaridade, um grupo composto pelas árvores 1 e 4 e o outro pelas árvores 2 e 3. A densidade aparente média do carvão foi de 290 kg/m³, sendo inferior aos valores dos carvões de clones de *Eucalyptus grandis* e *E. saligna* com 7 anos de idade, que foi em média de 448 kg/m³ (TRUGILHO et al, 2001), aos valores obtidos por Botrel et al (2007) para clones híbridos de *Eucalyptus* com 78 meses de idade (336 kg/m³) e aos valores obtidos por Rosa et al. (2012) que avaliou amostras de carvão vegetal comercializados no estado do Espírito Santo, obtendo valores de 377, 373 e 379 kg/m³, para várias procedências do carvão.

Portanto, a densidade aparente do carvão foi baixa, o que acarreta em carvão leve e menos apreciado pelos consumidores do uso doméstico do carvão.

Teor de Umidade do Carvão

O teor de umidade médio do carvão após resfriamento e acondicionamento em embalagem plástica foi de 5,5%, sendo similar ao teor de umidade obtido por Rosa et al. (2012) para amostras de carvão vegetal de várias origens que variaram entre 4,17; 4,25 e 5,57%. O Selo Premium, promulgado pela a Resolução n° 10 SAA, de 11 de julho de 2003, no estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2003) determina que a umidade do carvão vegetal deve estar abaixo de 5%.

Houve variação significativa para o teor de umidade entre as amostras. Porém, estas diferenças não excederam 2% de umidade, sendo que, de forma geral, os valores obtidos ficaram próximos àquele desejado para o uso doméstico.

Rendimento gravimétrico e perda de massa na carbonização

O rendimento gravimétrico da espécie avaliada foi em média de 36%, havendo variação significativa entre as árvores avaliadas. Considerando o teor de umidade das árvores no momento da carbonização, com teor de umidade na base úmida de 10%, o rendimento gravimétrico (RG) foi de 36%; 14% (RG = 34 e 37%) e 15% (RG= 36%). Assim, os valores de rendimento gravimétrico obtidos foram elevados, quando comparados aos valores encontrados em literatura.

Neves et al. (2011), avaliando a qualidade do carvão obtido de clones de *Eucalyptus* obtiveram valores de 30,89% a 32,08% de rendimento gravimétrico. Chagas (2010), trabalhando com carbonização de *Eucalyptus* com diferentes diâmetros e teores de umidade concluiu que o rendimento gravimétrico diminui com o aumento do teor de umidade. O autor obteve rendimentos de 38,7% para madeira com teor de umidade entre 0 a 5% na base seca (0 – 10% de na base úmida); 38,3% de rendimento para teores de umidade entre 25 a 30% (21 – 23% de na base úmida); de umidade da madeira e 37,7% para madeira com 45% a 50% de teor de umidade (30 – 32% de na base úmida).

Klitzke (1998), carbonizando bracatinga obteve rendimento gravimétrico médio de 28,83% para madeira com 15% de umidade e 25,74% para madeira com 30% de umidade. Silva; Machado (2011), carbonizando cinamomo com 13% de umidade na base seca, obtiveram rendimento de 32,96%.

Por outro lado, o aumento do rendimento gravimétrico não se mostra relacionado ao incremento da densidade básica da madeira e da densidade aparente do carvão (VALE et al., 2001), que é consequência da primeira, o que também foi constatado neste trabalho.

Propriedades energéticas do carvão vegetal

A Tabela 5 apresenta as propriedades energéticas do carvão vegetal de *M. cinnamomifolia.*

Tabela 5. Propriedades energéticas do carvão produzido com *M. cinnamomifolia.*
Table 5. Energetic properties of charcoal produced from *M. cinnamomifolia*.

Árvore	Poder calorífico superior (kcal/kg)	Teor de voláteis (%)	Teor de cinzas (%)	Teor de carbono fixo (%)
1	6.465[a]	29, 37[a]	0,80[b]	69,83[a]
2	6.479[a]	32, 78[a]	0,71[b]	66,51[a]
3	6.078[b]	31,10[a]	1, 73[a]	67,17[a]
4	6.047[b]	29, 07[a]	2,07[a]	68,86[a]
Média	6.267	30,47	1,35	68,18

Nota: Médias seguidas da mesma letra, na linha, não apresentam variação estatística significativa entre si pelo Teste de Tukey ($p > 0,05$).

Poder Calorífico Superior (PCS)

O poder calorífico superior (PCS) médio do carvão da espécie foi de 6267 kcal/kg, havendo diferença significativa entre as árvores analisadas. Neves et al. (2011) encontraram valores de 7643 e 7665 Kcal/Kg para o carvão de clones de *Eucalyptus* de diferentes procedências, enquanto Rosa et al. (2012) para amostras de carvão vegetal de várias origens encontraram valores entre 7400 a 7800 kg/kg.

Os valores obtidos neste estudo podem ter sido inferiores aos observados em literatura em função do menor teor de carbono fixo (68,18%).

Análise imediata

Os valores médios obtidos foram de 68,18% de carbono fixo, teor voláteis de 30,47%, e 1,35% de teor de cinzas, com diferença entre as amostras para teor de cinzas. Aquelas que apresentaram maior PCS tiveram também maior teor de voláteis e menor teor de cinzas.

Neves et al. (2011) obtiveram valores entre 79,92 a 80,29% de carbono fixo, 18,92 a 19,43% para voláteis e teor de cinzas entre 0,65 a 0,80% para carvão de clones de *Eucalyptus*. Enquanto Botrel et al. (2007), também trabalhando com *Eucalyptus*, encontraram valores de 74,25%, 25,5% e 0,25% e Rosa et al. (2012) também obtiveram valores entre 75 a 83%; 15 a 23% e 0,68 a 1,65% para teor de carbono fixo, voláteis e cinzas, respectivamente.

O Selo Premium também destaca que o teor de carbono fixo (TCF) deve ser superior a 75%; teor de materiais voláteis (TMV) e o teor de cinzas devem ser inferiores a 23,5% e 1,5%, respectivamente (SÃO PAULO, 2003).

CONCLUSÕES

A densidade básica da madeira de *M. cinnamomifolia* foi similar àquela de algumas espécies de *Eucalyptus*, utilizadas para a produção de carvão vegetal.

As propriedades físicas, químicas e energéticas da madeira indicam sua aptidão para o uso energético e para produção de carvão.

O carvão produzido a partir de *M. cinnamomifolia* apresentou densidade aparente baixa, quando comparado a espécies de *Eucalyptus* e outros carvões comerciais, sendo menos apreciado por consumidores de carvão doméstico.

O teor de umidade foi baixo, sendo adequado ao uso doméstico.

A espécie apresentou bom rendimento gravimétrico, superior ao de espécies de *Eucalytus*, *Mimosa scabrella* e *Melia azedarach*.

O carvão apresentou menores poder calorífico superior e carbono fixo em relação ao carvão de outras espécies nativas da região de estudo, *Eucalyptus* e outros carvões comerciais.

O teor de cinzas foi baixo, sendo adequado ao uso doméstico.

AGRADECIMENTOS

Artigo pertencente ao Projeto de Pesquisa REDE SUL FLORESTAL: PD&I em sistemas florestais e produção de energia na agricultura familiar (Edital MCT/CNPq/MEC/CAPES/CT AGRO/CT HIDRO/FAPS/EMBRAPA Nr 22/2010). Agradecimentos ao Cnpq e a FAPESC pelo apoio financeiro e as instituições participantes do projeto em rede: EPAGRI/ E.E.Lages; EPAGRI/CEPA; NPFT/CCA/UFSC; CAV/UDESC; UFPR/Floresta; ICMBio/PR.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 11491** - Determinação da Densidade Básica. Rio de Janeiro, 2003a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14929**: Madeira - Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa. Rio de Janeiro, 2003b.

ARRUDA, T. P. M.; PIMENTA, A. S.; VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R. M.; ACOSTA, F. C. Avaliação de duas rotinas de carbonização em fornos retangulares. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 949-955, 2011.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL **Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal. D 1762 – 84, 2001** (2007). West Conshohocken, PA: ASTM International, 2007, DOI: 10.1520/D1762-84R07. http:// www.astm.org.

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**, v. 31, n. 3, p. 391-398, 2007.

BRAND, M. A. **Energia de Biomassa Florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 114 p.

BRITO, J. O. Expressão da produção florestal em unidades energéticas. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., PAN AMERICANO, 1., 1993, Curitiba, **Anais**... Curitiba: SBS, 1993. p. 280-282.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis. In: SEMINÁRIO DE ABASTECIMENTO ENERGÉTICO INDUSTRIAL COM RECURSOS FLORESTAIS, 2., 1982, São Paulo. **Palestras apresentadas...** São Paulo: Coordenadoria da Indústria e Comércio, 1982. p. 101-137.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. **IPEF,** Piracicaba, n. 16, p. 63-70, 1978.

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

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. v.1.

CHAGAS, L. Secagem natural da madeira no campo para produção de carvão vegetal. In: FORUM NACIONAL SOBRE CARVÃO VEGETAL, 2., 2010, Sete Lagoas: SIF, 2010. Disponível em: http://www.sif.org.br/arquivos_internos/downloads/Leonardo+Chagas.pdf. Acesso em: 13 dezembro. 2012.

CUNHA, M. P. S. C.; PONTES, C. L. F.; CRUZ, I. A.; CABRAL, M. T. F. D.; CUNHA NETO, Z. B.; BARBOSA, A. P. R. Estudo químico de 55 espécies lenhosas para geração de energia em caldeiras. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 3., 1989, São Carlos, **Anais...** São Carlos: EESC/LaMEN, v. 2, p. 93-121.

DIN - DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG e. V. **DIN 51900:** Determining the gross calorific value of solid and liquid fuels using the bomb calorimeter, and calculation of net calorific value. Berlim, 2000.

FANTINI, A. C.; ULLER-GÓMEZ, C.; GARTNER, C.; VICENTE, N. R.; SCHLINDWEIN, S. L.; BAUER, E.; MENEZES, G. T. C Produção de carvão e de saberes na agricultura familiar de SC. **Revista Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 23, n. 3, p. 13-15, nov. 2010.

FIESC – FEDERAÇÃO DA INDUSTRIA DO ESTADO DE SANTA CATARINA. **Energia. Informações sobre a Infra-Estrutura Energética do Estado de Santa Catarina, com suas principais Fontes de Energia**. 2013. Disponível em:< http://www.fiescnet.com.br/> Acesso em: 20 jul. 2013.

FIGUEROA, M. J. M.; MORAES, P. D. Comportamento da madeira a temperaturas elevadas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 157-174, out./dez. 2009.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA).** 2011. Disponível em < http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=289&z=t&o=1&i=P> Acesso em: 17 jul. 2013.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE cidades**: Biguaçu. Censo Agropecuário. 2006. Disponível em: < http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1 >. Acesso em: 12 set. 2012.

KLEIN, R. M. Ecologia da Flora e Vegetação do Vale do Itajaí. **Sellowia**, Itajaí, v. 31, n. 31, p.1-164, 1979.

KLITZKE, R. J. **Avaliação do carvão da bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham) em função da idade, do teor de umidade da madeira e da temperatura final de carbonização.** 1998. 123 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

LUCA, F. V.; FANTINI, A. C.; ULLER-GÓMEZ, C. Agricultura de corte e queima e respostas adaptativas de agricultores familiares como meio de transformação histórica da paisagem em Biguaçu/SC. In: ENCONTRO DA REDE DE ESTUDOS RURAIS, 5, 2012, Belém, **Anais...** Belém: UFPA, 2012.

NEVES, T. A.; PROTÁSIO, T. DE 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, v. 31, n. 68, p. 319-330, 2011.

RECH T. D.; MELLO M. A.; FANTINI A. C; MUNIZ, G. I. B; STEENBOCK. W.; DOROW, R.; GÓMEZ C. U. **Rede Sul Florestal**: PD&I em sistemas florestais e produção de energia na agricultura familiar. Edital MCT/CNPq/MEC/CAPES/CT AGRO/CT HIDRO/FAPS/EMBRAPA Nr 22/2010 - Redes Nacionais de Pesquisa em Agrobiodiversidade e Sustentabilidade Agropecuária – REPENSA, Florianópolis. Projeto de pesquisa.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. Projeto madeira de Santa Catarina. **Sellowia**, Itajaí, n. 28/30, p.3-320, 1978.

RIBEIRO, P. G.; VALE, A. T. Qualidade do carvão vegetal de resíduos de serraria para o uso doméstico. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 58., 2006, Florianópolis, **Anais...** São Paulo: SBPC/UFSC. 2006.

ROSA, R. A.; ARANTES, M. D. C.; PAES, J. B.; ANDRADE, W. S. DE P.; MOULIN, J. C. Qualidade do carvão vegetal para o consumo doméstico. **Journal of Biotechnology and Biodiversity.** Tocantins, v. 3, n. 2, p. 41-48, 2012.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Agricultura e Abastecimento de São Paulo. **Resolução n° 10 SAA, de 11 de julho de 2003**. São Paulo, 2003.

SCHUCH, C.; SIMINSKI, A.; FANTINI, A. C Usos e potencial madeireiro do jacatirão-açu (*Miconia cinnamomifolia* (De Candolle) Naudin) no litoral de Santa Catarina**. Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 4, p. 735-741, out./dez. 2008.

SILVA, M. M.; MACHADO, G. O. Teor de umidade da madeira e rendimento gravimétrico do carvão de cinamomo *(Melia azedarach* L.). In: ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA – EAIC, 20., ENCONTRO DE PESQUISA – EPUEPG, 10., 2011, Ponta Grossa, **Anais...** Ponta Grossa: Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2011. Disponível em: http://eventos.uepg.br/eaic/portal/. Acesso em: 12 dezembro 2012.

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.

ULLER-GÓMEZ, C., GARTNER, C. **Um caminho para conhecer e transformar nossa comunidade**. Florianópolis: Epagri/MB2, 2008, 111p. Relatório final de pesquisa vinculada ao TOR 23/2006

VALE, A. T.; COSTA, A. F.; GOLÇALVEZ, J. C.; NOGUEIRA, M. Relação entre a densidade básica da madeira, o rendimento e a qualidade do carvão vegetal de espécies do cerrado. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 25, n. 89, p. 89-95, 2001.

VALENTE, O. F. Carbonização da madeira de eucalipto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, n. 141, p. 74-79, 1986.

Recebido em 08/02/2013
Aceito para publicação em 25/07/2013