

Propriedades da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus* sp. cultivados na região do Recôncavo da Bahia

¹Clair Rogério da Cruz, ²Renan Silva Ferreira, ¹José Mauro Almeida, ¹João Guilherme Bittencourt Silva

¹ Universidade Federal do Recôncavo das Bahia. Campus Universitário. Rua Rui Barbosa, 710, CEP: 44380000. Cruz das Almas, BA, Brasil. E-mails: claircruz@yahoo.com.br, jmauro.almeida@gmail.com, joão_ufrb@yahoo.com.br.

² Fazenda Reunidas Rio de Contas, Zona Rural de Serra da Pipoca, S/N, Distrito de Catingal. CEP 45240-000. Manoel Vitorino, BA, Brasil. e-mail: renanfloresta@hotmail.com

Resumo: Uma das opções disponíveis para atender a demanda de matéria-prima para o consumo doméstico e para as indústrias de madeira serrada e de energia de algumas regiões do estado da Bahia é a utilização da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus* sp. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus* sp. plantados em 1964 e cultivado no campus da UFRB no município de Cruz das Almas – BA. Para isso, utilizaram-se cinco árvores que foram amostradas em cinco pontos distribuídos sistematicamente no tronco para a determinação da densidade básica, contrações tangencial, radial e coeficiente de anisotropia. Para a produção do carvão foram retiradas toras de 50 cm próximas à base das árvores. O processo de pirólise foi conduzido na temperatura máxima de 450^o C. Foram determinados o rendimento gravimétrico, densidade relativa aparente e análise química imediata do carvão. A madeira possui densidade básica média de 0,750 g/cm³, a média das contrações tangenciais foi de 8,87% e a média das contrações radiais foi de 8,40%, resultando em um coeficiente de anisotropia médio de 1,06. O rendimento gravimétrico da produção do carvão foi de 29%, a densidade relativa aparente foi de 0,470 g/cm³, o rendimento de licor pirolenhoso foi de 45% e o de alcatrão foi de 7%. O teor de cinzas foi de 1,33%, o teor de materiais voláteis foi de 20,54% e o carbono fixo médio foi de 78,13%. Existe uma forte correlação entre o rendimento em alcatrão e a umidade da madeira. Teores de cinzas e de materiais voláteis exibiram correlações inversas com o teor de carbono fixo. Correlação inversa foi observada entre as contrações na madeira e o rendimento gravimétrico. A densidade básica da madeira possui correlações intermediárias com rendimento gravimétrico. Tanto a madeira quanto o carvão produzido possuem boas características para utilização como energia e/ou madeira serrada.

Palavras chave: Carvão vegetal, Eucalipto, Propriedades da madeira.

Properties of wood and charcoal from *Eucalyptus* sp. grown in the Reconcavo region of Bahia

Abstract: One of the available options to meet the demand of raw materials for domestic consumption and for the lumber and energy industries of some regions of the Bahia state is wood and charcoal use from *Eucalyptus* sp. This study aimed to evaluate the wood and charcoal qualities of *Eucalyptus* sp. planted and cultivated since 1964 at UFRB campus in Cruz das Almas - BA. For this, was used five trees that were sampled at five distributed systematically points along the trunk for basic density, contraction tangentials and radial anisotropy coefficient determinations. For the charcoal production were obtained small logs 50 cm length each near the base of the trees. The pyrolysis process was conducted at 450^oC. The gravimetric yield, the apparent specific gravity and chemical analysis of charcoal were determined. The wood has an average specific gravity of 0.750 g / cm³, the tangential contractions average was 8.87% and the radial contractions average was 8.40%, resulting in an average anisotropy coefficient of 1.06. The gravimetric yield of charcoal was 29%, the apparent relative density was 0.470 g/cm³, pyrolignous yield was 45%, the tar yield was 7%. The ash content was 1.33%, the content of volatile materials was 20.54% and fixed carbon average was

78.13%. For wood tests disc samples were obtained at 0%, 25%, 50%, 75% and 100% of commercial height along the trunk. There is a strong correlation between the yield of tar and wood moisture content. Ash content and volatiles showed inverse correlations with the of fixed carbon content. The wood contractions showed an inverse correlation with the gravimetric yield. The wood basic density showed intermediate correlations with gravimetric yield. Both the timber and the charcoal produced have good characteristics for use as energy and, or, as lumber.

Key word: Charcoal, Eucalyptus, Wood properties.

Introdução

Em algumas regiões do estado da Bahia, grande parte da madeira utilizada na produção de serrados e de energia, ainda é proveniente de floresta nativa. Diante dessa realidade deve-se buscar a substituição dessa madeira por madeiras de reflorestamento e uma das opções viáveis para atender essa demanda de matéria-prima da região é a utilização da madeira e do carvão de *Eucalyptus*.

Entre as florestas plantadas que abastecem a indústria madeireira nacional, as do gênero *Eucalyptus* estão entre as mais importantes. Essa importância é atribuída à velocidade de desenvolvimento de suas árvores, facilidade de implantação em grandes maciços e versatilidade de aplicação de sua madeira. A criação de híbridos e clones é uma realidade na silvicultura nacional, na qual o melhoramento genético busca, sobretudo, maiores incrementos volumétricos e resistência às condições extremas de implantação, tais como ataques de pragas, secas, geadas e baixa fertilidade do solo (Batista et al., 2010).

O grande desafio é encontrar espécies do gênero *Eucalyptus* que se adaptem a região e que apresentem propriedades da madeira desejáveis para suprir as necessidades do setor madeireiro. Para isso devem ser implantados plantios experimentais de espécies e/ou procedências para testar a adaptação e as propriedades da madeira desses materiais genéticos. Também devem ser determinadas as propriedades da madeira e do carvão produzido por materiais genéticos encontrados na região, cuja boa adaptação pode ser comprovada pelo bom desenvolvimento silvicultural (diâmetro e altura). A determinação das propriedades dessas madeiras irá determinar o melhor aproveitamento dessa matéria-prima.

De modo geral, os produtos de madeira podem ganhar qualidade se for utilizada matéria-prima com características adequadas para cada utilização. Essas características estão diretamente ligadas às características anatômicas e, conseqüentemente, às propriedades de cada madeira.

Entre as propriedades físicas da madeira, a densidade básica merece destaque. A densidade básica é determinada quando a relação é entre a massa absolutamente seca de madeira e seu respectivo volume saturado e pode ser expressa em g/cm^3 ou kg/m^3 . A densidade básica influencia na utilização da madeira serrada já que, quanto maior a densidade, mais pesados os produtos de madeira serrada como telhados, móveis. Para a utilização energética, madeiras de maiores densidades liberam mais energia durante a queima e produzem carvões mais densos, com maior concentração de carbono por área.

Uma outra propriedade física de grande relevância da madeira é a retratibilidade ou variação dimensional da madeira diante da aquisição e perda de água. As contrações e a anisotropia são características que podem limitar a utilização da madeira serrada. Apesar disso, o efeito da diminuição das dimensões da madeira pode ser minimizado por meio de técnicas de processamento da madeira. De acordo com Oliveira et al. (2010) o princípio da retratibilidade se deve ao fato de as moléculas de água estarem ligadas por pontes de hidrogênio às microfibrilas dos polissacarídeos que formam a madeira, e quando estas são forçadas a sair, deixam um espaço, e as forças de coesão tendem a reaproximar as microfibrilas,

Chaves (2007) relatou que o estudo das propriedades do carvão vegetal também é de importância fundamental na seleção de clones que possuam um melhor desempenho para energia. O conhecimento dos rendimentos e das

propriedades ligadas ao carvão vegetal vai direcionar a escolha do material que se destina à conversão energética.

O processo de produção de carvão vegetal consiste na concentração do elemento carbono existente na madeira por meio da liberação dos seus demais elementos químicos, pela ação da energia térmica (Thibau, 2000). Brito e Barrichelo (1977) concluíram que a escolha de madeira para obtenção de carvão, com melhores propriedades químicas, ou seja, maiores teores em carbono fixo e menores teores em substâncias voláteis e cinzas, deve basear-se naquelas que possuam altos teores de lignina e elevada massa específica básica. Tal fato possibilita maior rendimento gravimétrico em carvão, aumenta a quantidade de matéria seca colocada no forno e torna possível à obtenção de maior rendimento volumétrico.

O carbono fixo é definido como a quantidade de carbono presente no carvão. O rendimento em carbono fixo possui uma relação diretamente proporcional aos teores de lignina, extrativos e massa específica da madeira e inversamente proporcional ao teor de holocelulose (Oliveira, 1988).

De acordo com Carmo (1988) os materiais voláteis podem ser definidos como substâncias que são desprendidas da madeira como gases durante a carbonização e/ou queima do carvão. As cinzas são componentes minerais provenientes dos componentes minerais do lenho e da casca (Cotta, 1996). Em algumas espécies e, principalmente na casca, o teor de cinzas é elevado. Segundo o mesmo autor, quanto maior a proporção de materiais minerais na madeira, maior a produção de cinzas no carvão.

O conhecimento das propriedades da madeira e do carvão de uma espécie é

fundamental para se determinar a melhor utilização e orientar programas de melhoramento. Dessa forma, o presente trabalho visou determinar as propriedades da madeira e do carvão vegetal de uma espécie de *Eucalyptus*, plantada nos meados da década de 60, no campus da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB). Essa espécie possui um bom desenvolvimento e pode ser encontrada na região do Recôncavo da Bahia, plantadas às margens de rodovias e em pequenos plantios florestais.

Material e métodos

Material experimental

Utilizou-se nesse experimento a madeira de cinco árvores *Eucalyptus* sp. provenientes de um plantio experimental, na UFRB, localizada no município de Cruz das Almas, Ba. Inicialmente as árvores foram plantadas em espaçamento de 1,5 x 1,5 metros e ao longo do tempo foram desbastadas sem critério definido, comprometendo o espaçamento atual. Os dados de altura e diâmetro na altura do peito (DAP), a 1,30 metros do solo, das árvores amostradas estão na Tabela 1. No momento da coleta as árvores tinham 46 anos do plantio.

Em cada uma das cinco árvores foram retirados dois discos de 3 cm de espessura nas alturas correspondentes a 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial, considerado 10 cm de diâmetro mínimo do tronco. Um disco de cada posição foi utilizado para as determinações de densidade básica e o outro, para determinações de contrações lineares. Além disso, foi retirada uma tora de 50 cm na base de cada árvore para a produção de carvão em laboratório.

Tabela 1 – Valores de altura e diâmetro à altura do peito (DAP) de cinco árvores amostradas de *Eucalyptus* sp.

ÁRVORE	ALTURA (m)	DIÂMETRO (cm)
1	22,9	26,1
2	29,6	45,2
3	21,8	38,2
4	26,5	40,6
5	23,5	28,4

Densidade básica da madeira

De cada disco destinado às determinações de densidade básica foram retiradas duas cunhas, diametralmente opostas. As amostras foram saturadas em água e seus volumes determinados por imersão por meio da massa do volume de água deslocado. Após isso, as amostras foram levadas para estufa a $105 \pm 2^\circ \text{C}$, para secagem até massa constante, quando foram pesadas em balança com precisão de 0,01 g. A densidade foi dada pela relação entre o peso seco da amostra e seu volume verde, método proposto por Vital (1984) e Associação Brasileira de Normas Técnicas [ABNT] (1997). A densidade básica do disco foi obtida pela média das densidades das cunhas e a densidade básica da árvore, pela média das densidades dos discos. A variação radial das propriedades não foram analisadas nesse trabalho.

Variação dimensional da madeira

As contrações lineares foram determinadas de acordo com a norma da American Society For Testing and Materials [ASTM-D-143] (1997), sendo que as dimensões dos corpos-de-prova foram de 2 x 2 x 3 cm. Em cada disco foram retiradas amostras localizadas na parte mais externa do disco (próximo à casca) e na parte mais interna do disco (próximo à medula). As medições foram realizadas com paquímetro digital com precisão de 0,01 mm. Em maiores alturas na árvore, pelo pequeno diâmetro dos discos, foi retirada apenas uma amostra de cada lado da medula.

Carbonização e recuperação dos gases condensáveis

Para o procedimento de carbonização as cascas foram removidas das toras. Cada tora foi serrada em discos e depois cada disco foi picado com facão em pedaços menores. As amostras foram secas ao ar livre, até permanecerem na umidade de equilíbrio com o ambiente, constatado por meio de determinações diárias de peso.

As carbonizações foram realizadas em um forno elétrico mufla adaptado. Colocou-se a madeira dentro de um compartimento metálico no interior do forno de carbonização conectado a um sistema de recuperação. Esse sistema funciona por meio de condensadores, em que a fumaça canalizada passa e se resfria, promovendo a

recuperação de licor pirolenhoso e alcatrão. Após o processo de recuperação sobram os gases não condensáveis e uma parte desses gases podem ser queimados.

A taxa de aquecimento foi de 2°C por minuto. A temperatura inicial foi de 100°C e a temperatura máxima final foi de 450°C , permanecendo estabilizada nesta temperatura por um período de 30 minutos. Foram utilizados em cada ensaio aproximadamente 5 kg de madeira. A umidade da madeira foi determinada com base no seu peso seco.

Rendimentos das carbonizações

Os rendimentos gravimétrico, de alcatrão e de licor pirolenhoso foram calculados pela porcentagem de peso entre essas características e o peso seco de madeira.

O rendimento gravimétrico da carbonização foi determinado pela relação entre o peso seco de carvão e o peso seco de madeira, dado por:

$$RG = \frac{psc}{psm} \times 100$$

em que:

RG = rendimento gravimétrico de carvão (%);

psc = peso seco do carvão (g); e

psm = peso seco da madeira (g).

Os rendimentos de alcatrão e de licor pirolenhoso foram determinados utilizando-se os pesos dos respectivos líquidos e o peso de madeira seca de cada carbonização e foi calculado por:

$$RA = \frac{pA}{psm} \times 100 \quad e$$

$$RLP = \frac{pLP}{psm} \times 100$$

em que:

RA = rendimento de alcatrão (%);

RLP = rendimento de licor pirolenhoso (%);

pA = peso do alcatrão, (g);

pLP = peso do licor pirolenhoso (g); e

psm = peso seco de madeira (g).

Densidade relativa aparente

Para a determinação desta propriedade as amostras de carvão foram imersas em água e depois tiveram seus volumes determinados pelo método proposto por Vital (1984), no qual o volume é determinado pela massa da água

deslocada na imersão em água. A massa seca foi determinada após as amostras serem secas em estufa até massa constante.

Análise química imediata

Os procedimentos adotados para a análise química imediata foram realizados segundo a ABNT NBR 8112/83. De cada carbonização foi retirada uma amostra de carvão que foi triturado e depois peneirado nas peneiras de 20 e 100 mesh. Foi utilizado o material que ficou retido na peneira de 100 mesh.

Umidade

Foram retiradas amostras do carvão peneirado e classificado (1 g aproximadamente), pesadas, secas em estufa a $105 \pm 2^\circ \text{C}$ e pesadas novamente. As amostras foram pesadas em uma balança analítica de precisão 0,0001g. A umidade foi determinada por:

$$TU = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100$$

em que:

- TU = teor de umidade, (%);
- M_0 = massa inicial (g);
- M_1 = massa seca (g).

Teor de cinzas

Utilizou-se 1 grama a.s. (absolutamente seco) do carvão triturado, alocado em cadinho de porcelana e levado a mufla, aquecida à temperatura de 750°C até a queima completa do carvão, em torno de 4 horas. Em seguida os cadinhos foram colocados em dessecadores, com sílica gel azul em seu interior, até o resfriamento e depois, foram pesados. Os teores de cinzas foram obtidos por meio da equação:

$$CZ = \frac{m_0}{m_1} * 100$$

em que:

- CZ = teor de cinzas (%);
- m_0 = peso de cinzas (g); e,
- m_1 = peso a.s. de carvão triturado (g).

Teor de matérias voláteis

Utilizou-se 1 grama a.s. de carvão moído que foi colocado em cadinho de porcelana. Os cadinhos foram fechados com tampas e colocados na porta da mufla a uma temperatura de 950°C por 3 minutos, depois os mesmos

foram colocados dentro da mufla por um período de 7 minutos. A equação para obtenção do teor de materiais voláteis foi:

$$MV = \frac{m_0}{m_1} * 100$$

em que:

- MV = materiais voláteis (%);
- m_0 = peso a.s. da amostra de carvão – peso a.s. da amostra de carvão após queima na mufla (g) e,
- m_1 = peso a.s. do carvão (g).

Carbono fixo

O teor de carbono fixo é uma medida indireta, calculada de acordo com a equação abaixo:

$$CF = 100 - (CZ + MV)$$

em que:

- CF = teor de carbono fixo (%)
- Cz = teor de cinzas, (%)
- MV = teor de materiais voláteis (%).

Delineamento experimental

Na avaliação do experimento utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com cinco tratamentos e três repetições. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) a 5% de significância e analisados pelo teste F. Foi determinada a correlação de Pearson entre as características da madeira e do carvão. As análises estatísticas foram realizadas por meio do programa SISVAR (Ferreira, 2011).

Resultados e discussão

Análises da madeira

As médias gerais da densidade básica, da contração radial total, da contração tangencial total e do coeficiente de anisotropia são observadas na Tabela 2.

De acordo com a média da densidade básica, a madeira em estudo pode ser considerada moderadamente pesada. Lemos et al. (2012) encontraram valores médios de $0,601 \text{ g/cm}^3$, para a densidade básica em árvores de *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson com 15 anos de idade.

Tabela 2 – Médias gerais da densidade básica (DB), da contração radial total (CRT), da contração tangencial total (CTT) e do coeficiente de anisotropia da madeira (CA) de *Eucalyptus* sp.

Variáveis	Árvore 1	Árvore 2	Árvore 3	Árvore 4	Árvore 5	Médias
DB (g/cm ³)	0,770	0,793	0,861	0,776	0,791	0,798
CTT (%)	9,23	7,90	8,90	8,86	9,46	8,87
CRT (%)	8,82	8,11	7,86	7,66	9,54	8,40
CA	1,05	0,97	1,13	1,16	0,99	1,06

Os valores médios das contrações tangenciais e radiais são próximos e dessa forma, o coeficiente de anisotropia é um valor médio próximo de um. Essa característica de coeficiente de anisotropia (CA) é interessante, tanto para a produção de móveis quanto de carvão, já que com as contrações parecidas nas duas direções, a deformação da madeira no momento da saída da água é menor em relação a madeiras com altos valores de CA, possuindo menor quantidade e intensidade de rachaduras e empenamentos. Os valores encontrados nesse trabalho para contrações tangenciais e coeficientes de

anisotropia são inferiores aos encontrados por Oliveira et al. (2010), que estudando sete espécies de *Eucalyptus* encontraram valores de contrações radiais entre 5,0 e 9,4 %, contrações tangenciais entre 9,3 e 15,5% e valores de coeficiente de anisotropia entre 1,4 e 2,1.

Silva (2002) encontrou em *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, valores de contração radial de 5,87%, contração tangencial de 10,3%, e coeficiente de anisotropia igual a 1,82. O resumo das análises de variância das propriedades da madeira em função de árvore e altura está na Tabela 3.

Tabela 3 – Resumo da análise de variância dos dados de densidade básica, contrações radiais, contrações tangenciais e o coeficiente de anisotropia em função de árvore e altura para a madeira de *Eucalyptus* sp.

DENSIDADE BÁSICA		
FV	GL	QM
ÁRVORE	4	0,00168325**
ALTURA	4	0,00541782**
RESIDUO	16	0,000242313
CONTRAÇÃO TANGENCIAL TOTAL		
FV	GL	QM
ÁRVORE	4	1,76749**
ALTURA	4	0,675897
RESIDUO	16	0,268938
CONTRAÇÃO RADIAL TOTAL		
FV	GL	QM
ÁRVORE	4	3,01546**
ALTURA	4	4,05761**
RESIDUO	16	0,484876
COEFICIENTE DE ANISOTROPIA		
FV	GL	QM
ÁRVORE	4	0,037053*
ALTURA	4	0,0762479**
RESIDUO	16	0,0104046

** significativo ao nível de 1%; * significativo ao nível de 5%

De acordo com os resultados observados, pelo menos uma árvore possui médias diferentes das demais em cada uma das propriedades

determinadas, ao nível de 1% de significância. Para o coeficiente de anisotropia, o nível de significância adotado foi de 5 %.

Observando-se a análise de variância em função de altura de amostragem, apenas a contração tangencial total não possui diferenças entre as médias obtidas. As demais propriedades possuem significância ao nível de 1% de significância em função da altura (Tabela 3).

A variação entre árvores, para as propriedades consideradas pode ser explicada pelo fato de que essas árvores foram provenientes de sementes, possuindo maior variabilidade genética entre indivíduos da mesma espécie, ao contrário de clones, onde as propriedades da madeira entre indivíduos são mais homogêneas. Vale salientar, que a clonagem desse material poderá minimizar essa variação das propriedades da madeira e com isso, melhorar a qualidade da matéria-prima.

Análises do carvão vegetal

As médias gerais das características do carvão podem ser observadas na Tabela 4.

O valor médio de rendimento gravimétrico em carvão foi de 29,39 %. Esses valores se equivalem aos encontrados por Santos et al.

(2011), que estudando quatro clones de *Eucalyptus* verificaram médias entre 28,36 e 31,60%. Os mesmos autores encontraram médias de gases condensáveis entre 42,25 e 47,45%. Somando-se os rendimentos, de licor pirolenhoso e alcatrão (gases condensáveis), encontrados nesse trabalho, observam-se médias pouco superiores.

O valor médio da densidade relativa aparente do carvão foi de 0,470 g/cm³, bem superior ao obtido por Botrel et al. (2007) que encontrou um valor médio de 0,336 g/cm³ em clones de eucalipto. Esse fato se deu pela menor densidade da madeira utilizada por esse autor e pela relação positiva entre a densidade do carvão e da madeira de origem. Em relação à qualidade do carvão para siderurgia, é evidenciada a importância da densidade, pois essa característica está diretamente ligada com a resistência mecânica do carvão. Quanto maior a densidade do carvão, menores os custos de transporte e de armazenamento, além de melhorar o aproveitamento do volume do alto-forno siderúrgico.

Tabela 4 – Valores médios das características do carvão encontrados para amostras de cinco árvores de *Eucalyptus* sp.

Variáveis	Árvore 1	Árvore 2	Árvore 3	Árvore 4	Árvore 5	Médias
Densidade relativa aparente (g/cm ³)	0,467	0,450	0,487	0,450	0,514	0,474
Rend. Gravimétrico (%)	29,6	29,7	31,2	29,0	27,4	29,4
Rend. Alcatrão (%)	6,0	7,7	5,8	7,3	6,9	6,7
Rend. Pirolenhoso (%)	44,4	47,3	43,0	45,4	44,0	44,8
Mat. Voláteis (%)	19,3	21,2	21,1	20,2	20,9	20,5
Cinzas (%)	0,93	1,66	1,33	1,24	1,49	1,33
Carbono fixo (%)	79,8	77,1	77,6	78,6	77,6	78,1

Os resultados médios das análises químicas imediatas avaliadas no carvão são similares aos resultados obtidos por Santos, et al. (2012) que trabalharam com quatro materiais genéticos de eucalipto e obtiveram teores de cinzas entre 0,4 e 0,8%, matérias voláteis entre 11 e 15% e carbono fixo entre 85 e 88%.

Na Tabela 5 estão apresentadas as correlações entre as propriedades do carvão da madeira estudada. Existe uma forte correlação entre o percentual de alcatrão e a umidade da madeira, ou seja, quanto maior a umidade da madeira, maior a quantidade de alcatrão gerada durante a carbonização. Isso pode ser explicado

pelo aumento de partículas líquidas condensáveis na fumaça produzida em carbonizações com madeira verde.

O teor de cinzas possui correlação inversa (negativa) com o teor de carbono fixo a 5% de significância.

A densidade básica da madeira possui correlações intermediárias com rendimento gravimétrico, a 1% de significância, ou seja, existe tendência de que quanto maior a densidade da madeira, maior o rendimento gravimétrico.

Também podem ser observadas correlações negativas significativas, ao nível de

Tabela 5 - Correlação de Pearson entre as características do carvão e da madeira de *Eucalyptus* sp.

	Umidade da madeira	Densidade básica da madeira	Contração radial	Contração tangencial	Coefficiente de anisotropia	Rendimento gravimétrico	Rendimento de licor pirolenhoso	Rendimento de alcatrão	Densidade do carvão	Teor de cinzas	Teor de materiais voláteis
Densidade básica da madeira	-0,54										
Contração radial	0,00	-0,43									
Contração tangencial	0,32	-0,26	0,79**								
Coefficiente de anisotropia	0,47	0,30	-0,47	0,18							
Rendimento gravimétrico	-0,50	0,63**	-0,69**	-0,85**	-0,11						
Rendimento de licor pirolenhoso	0,19	-0,32	0,13	0,05	-0,13	-0,08					
Rendimento de alcatrão	0,72**	-0,40	0,25	0,36	0,15	-0,36	0,36				
Densidade do carvão	-0,13	0,26	0,33	0,44	0,09	-0,25	-0,34	0,03			
Teor de cinzas	0,26	0,17	0,22	0,36	0,16	-0,13	0,25	0,48	0,11		
Teor de materiais voláteis	-0,09	0,43	0,09	0,29	0,26	0,15	0,13	0,16	0,19	0,21	
Teor de carbono fixo	-0,01	-0,44	-0,16	-0,38	-0,28	-0,09	-0,20	-0,30	-0,20	-0,52*	-0,94**

** significativo ao nível de 1%

* significativo ao nível de 5%

5 % de significância, entre a densidade e a umidade da madeira.

Os resumos das análises de variância das características do carvão estão na Tabela 6. O rendimento gravimétrico e carbono fixo possuem significância estatística ao nível de 1%, enquanto o rendimento de alcatrão e os gases não condensáveis tiveram significância estatística ao nível de 5% de significância. A umidade do carvão, densidade, licor pirolenhoso, materiais voláteis e cinzas não possuem variações estatísticas significativas. Com esse resultado

podemos inferir que, em caso de clonagem dessas árvores para produção de carvão, devem ser escolhidas árvores que apresentem maior rendimento gravimétrico e maior teor de carbono fixo.

As variações observadas na Tabela 6 entre diferentes árvores podem ser justificadas pela maior variabilidade genética entre indivíduos obtidos de sementes, já que as propriedades do carvão estão diretamente relacionadas às propriedades da madeira.

Tabela 6 – Resumo da análise de variância para as características de umidade do carvão, densidade do carvão, rendimento gravimétrico, rendimento de licor pirolenhoso, rendimento de alcatrão, teor de materiais voláteis, teor de cinzas e carbono fixo em função de árvore para carvão de *Eucalyptus* sp.

UMIDADE DO CARVÃO		
FV	GL	QM
ARVORE	4	0,623414
RESIDUO	10	0,20525
DENSIDADE DO CARVÃO		
FV	GL	QM
ARVORE	4	0,00224707
RESIDUO	10	0,000753905
RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO		
FV	GL	QM
ARVORE	4	5,84858**
RESIDUO	10	0,128215
RENDIMENTO DE LICOR PIROLENHOSO		
FV	GL	QM
ARVORE	4	8,1663
RESIDUO	10	5,23989
RENDIMENTO DE ALCATRÃO		
FV	GL	QM
ARVORE	4	1,88284*
RESIDUO	10	0,418116
GASES NÃO CONDENSÁVEIS		
FV	GL	QM
ARVORE	4	17,8871*
RESIDUO	10	5,21997
TEOR DE MATERIAS VOLATEIS		
FV	GL	QM
ARVORE	4	1,96474
RESIDUO	10	0,70568
TEOR DE CINZAS		
FV	GL	QM
ARVORE	4	0,226682
RESIDUO	10	0,128095
CARBONO FIXO		
FV	GL	QM
ARVORE	4	3,43186**
RESIDUO	10	

** significativo ao nível de 1%; * - significativo ao nível de 5%

Outra justificativa para essas variações é a intensidade dos desbastes ocorridos desde o início do plantio até hoje, sem critérios determinados. Esses desbastes podem ter influenciado nas propriedades da madeira e do carvão de algumas árvores, pelas variações nas taxas de crescimento. Normalmente, plantios adensados apresentam menores taxas de crescimento inicial e maior homogeneidade das propriedades da madeira.

Conclusões

A densidade básica média da madeira de *Eucalyptus* sp. com 48 anos, cultivado no Recôncavo da Bahia foi 0,798 g/cm³. A contração radial média foi 8,40%, a contração tangencial média foi 8,87% e o coeficiente de anisotropia médio foi 1,06. O carvão vegetal da espécie, cultivada nestas condições possui densidade média de 0,474 g/cm³, rendimento gravimétrico de 29,4%, rendimento de alcatrão de 6,72%, rendimento de licor pirolenhoso 44,8%, teor de cinzas 1,3%, materiais voláteis 20,5 % e carbono fixo 78,1%.

As contrações radiais e tangenciais possuem alta correlação positiva significativa.

A densidade básica da madeira possui uma correlação positiva e significativa com o rendimento gravimétrico de carvão. O rendimento de alcatrão possui correlação positiva e significativa com o teor de umidade da madeira. Além disso, os teores de cinzas possuem correlação negativa e significativa com o teor de carbono fixo.

Assim sendo, as árvores desta espécie encontradas na região do Recôncavo da Bahia mesmo em idade avançada evidenciam bom potencial de utilização energética, pois tanto a madeira como o carvão produzidos possuem boas características para utilização como energia e/ou madeira serrada.

Referências

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1983). NBR 8112/83 – *Carvão vegetal*– análise imediata (6p.).
- American Society For Testing and Materials. (1997). *Annual book of ASTM*. Denvers, 679p. D 143 – 94. Standards methods of testing small, clear specimens of timber, (pp.23-53).
- Batista, D. C., Klitzke, R. J. & Santos, C. V. T. (2010). Densidade básica e retratibilidade da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus*. *Ciência Florestal*, Santa Maria, 20 (4), 665-674.
- Botrel, M.C.G., Trugilho, P.F., Rosado, S.C.S. & Silva, J.R.M. (2007). Melhoramento genético das propriedades do carvão vegetal de *Eucalyptus*. *Revista Árvore*, 31 (3), 391-398.
- Brito, J O. & Barrichelo, L E. (1977). *Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção do carvão vegetal: I. densidade e teor de lignina da madeira de Eucalipto* (n.14, pp. 09-20). IPEF.
- Carmo, J. S. (1988) *Propriedades Físicas e Químicas do Carvão Vegetal Destinado a Siderurgia e Metalurgia*. Monografia de Graduação, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.
- Chaves, M. D. (2007). *Gaseificação de materiais lignocelulósicos para geração de energia elétrica* (51f). Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil.
- Cotta, A. M. G. (1996) *Qualidade do carvão vegetal para siderurgia*. Monografia de Graduação, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.
- Ferreira, D. F. (2011). Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, 35 (6), 1039-1042.
- Lemos A. L. F., Garcia R. A., Lopes J. O. Carvalho A. M. & Latorraca J. V. F. (2012). Madeira de *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson sob aspectos físicos e
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997). NBR 7190 *Projeto de Estruturas de Madeiras*. Comissão de Estudo de Estruturas de Madeiras. Rio de Janeiro, Brasil.107.

anatômicos como fatores qualitativos. *Floresta e Ambiente*, 19 (1), 1-8.

Oliveira, J. T. S. Tomazello Filho, M. E & Fiedler, N. C. (2010). Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. *Revista Árvore*, Viçosa, Minas Gerais, 34 (5), 929-936.

Oliveira, E. de (1988). *Correlação entre parâmetros de qualidade da madeira e do carvão de Eucalyptus grandis (W. Hill ex- Maiden (47f.))*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.

Santos, R. C., Carneiro, A. C. O. Castro, A. F. M. Castro, R. V. O. Bianche, J. J. Souza, M. M. & Cardoso, M. T. (2011). Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, 39 (90), 221-230.

Santos, R. C., Carneiro, A. C. O., Trugilho, P. F. ,Mendes, L. M. & Carvalho, A. M. M. L. (2012) Análise termogravimétrica em clones de eucalipto como subsídio para a produção de carvão vegetal. *Cerne*, Lavras, Minas Gerais, 18 (1), 143-151.

Silva, J. R. M. (2002). *Relações da usinabilidade e aderência do verniz com as propriedades fundamentais do Eucalyptus grandis Hill ex. Maiden (179f.)*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil.

Thibau, C.E. (2000). *Produção sustentada em florestas: Conceitos e tecnologias biomassa energética pesquisas e constatações* (511p.). Belo Horizonte: Escriba Editora Gráfica.

Vital, B.R. (1984). *Métodos de determinação da densidade da madeira*. (Boletim técnico, 21p). Viçosa, SIF.

Recebido em: 16/10/2012
Aceito em: 11/02/2015