

Correlações entre a relação Cerne/Alburno da madeira de eucalipto,
rendimento e propriedades do carvão vegetalCorrelations among the heart/sapwood ratio of eucalyptus wood,
yield and charcoal propertiesBárbara Luísa Corradi Pereira¹, Aylson Costa Oliveira¹, Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho²,
Angélica de Cássia Oliveira Carneiro², Benedito Rocha Vital³ e Larissa Carvalho Santos⁴**Resumo**

A quantificação das porcentagens de cerne e alburno na madeira faz-se necessária porque a variação destes percentuais é importante para as diversas utilizações dadas à madeira. Os objetivos do presente trabalho foram determinar a relação cerne/alburno da madeira de clones de Eucalyptus, bem como verificar as correlações existentes entre esta relação e a densidade da madeira, rendimento em carvão vegetal e suas propriedades. O experimento foi instalado segundo um delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos (clones), com três repetições (árvores), totalizando dezoito unidades amostrais. Para determinar as correlações existentes entre a relação C/A e as outras propriedades foi empregado o coeficiente de correlação de Pearson, ao nível de 95% de significância. Verificou-se que menores relações C/A da madeira de Eucalyptus estão relacionadas à maior densidade básica da madeira, implicando em maior rendimento em carvão vegetal. No que se referem às propriedades do carvão vegetal, menores relações C/A proporcionam maior densidade aparente e maior teor de carbono fixo, além de menor teor de cinzas e de materiais voláteis. Os valores médios da relação C/A dos clones variaram de 0,49 a 1,01. Um dos clones testados mostrou-se estatisticamente superior aos demais para a produção de carvão.

Palavras-chave: relação cerne alburno; propriedades do carvão vegetal; correlações.

Abstract

Quantification of heartwood and sapwood in wood is necessary because the percentage of variation is important for the different uses of wood. The objectives of this study were to determine the heartwood / sapwood ratio in Eucalyptus clones, as well as verifying its correlations with wood density, charcoal yield and its properties. The experiment was carried out according to a randomized design with six treatments (clones) with three replications (trees), totaling eighteen sampling units. Pearson correlation coefficient was used to determine the correlations among heartwood/sapwood ratio and the other properties. Smaller heartwood/sapwood ratios are related to higher wood specific gravity and higher charcoal yield. Lowest heart/sapwood ratios provide higher bulk density of charcoal and higher fixed carbon contents, and lower ash and volatile matter contents. Average values of heart/sapwood ratio ranged from 0.49 to 1.01. One of the clones tested was statistically superior to the others for charcoal production.

Keywords: heartwood/ sapwood ratio; charcoal properties; correlations

INTRODUÇÃO

Do ponto de vista da tecnologia da madeira, uma propriedade anatômica importante é a quantificação das porcentagens de cerne e alburno porque um maior percentual de um ou outro

será importante para cada uma das utilizações dadas à madeira (OLIVEIRA, 1997). De acordo com Silva (2002), a quantificação da relação cerne/alburno (C/A) passa a ser mais importante do que somente a espessura do alburno.

¹Engenheiro Florestal, Mestre. Doutorando em Ciência Florestal. UFV - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Florestal. Campus Universitário, s/n, Viçosa, MG, CEP: 36570-000; aylsoncosta@gmail.com; babicorradi@gmail.com

²Engenheira Florestal, Doutora, Professora Adjunta. UFV - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Florestal. Campus Universitário, s/n, Viçosa, MG, CEP: 36570-000; ana.marcia@ufv.br; cassiacarneiro1@gmail.com

³Engenheiro Florestal, Doutor. Professor Titular. UFV - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Florestal. Campus Universitário, s/n, Viçosa, MG, CEP: 36570-000; bvital@ufv.br

⁴Graduanda Engenharia Florestal. UFV - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Florestal. Campus Universitário, s/n, Viçosa, MG, CEP: 36570-000; lari.carvalhoufv@gmail.com

Segundo Costa et al. (2003), o alburno é formado por células funcionais, de coloração geralmente mais clara, responsáveis pela condução ascendente de água e solutos nela dissolvidos. Quando se tornam inativas para o transporte de água, as células do alburno passam a constituir o cerne, que pode conter óleos, resinas, gomas e/ou compostos fenólicos, substâncias que são frequentemente responsáveis pela sua coloração mais escura e que, geralmente, proporcionam maior durabilidade natural.

Silva e Trugilho (2003) ressaltam que o processo de cernificação é caracterizado não só pela morte das células do parênquima radial, mas também pelo consumo de amido e pelo aumento no conteúdo de extrativos e tilos, em determinados gêneros, como o *Eucalyptus*. Assim, maiores porcentagens de cerne podem dificultar a secagem da madeira, uma vez que o cerne é bastante impermeável, principalmente devido à obstrução dos vasos por tilos, o que dificulta o transporte de água da parte mais interna da madeira para a mais externa (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

Sabe-se que a madeira com maior quantidade de cerne é desejável para a produção de móveis e para suas aplicações na construção civil, devido à maior proporção de madeira adulta. Segundo Silva (2002), a madeira de cerne, pela sua coloração e propriedades específicas, apresenta maior valor tecnológico para usos em serraria e, por isso, tem sido o alvo de interesse dos usuários de madeira.

Porém, no que se refere à produção de carvão vegetal, há carência de estudos da influência da relação C/A no rendimento de carvão e em suas propriedades. O conhecimento e a compreen-

são da variabilidade da madeira e das suas relações com as propriedades do carvão vegetal têm grande importância porque fornecem subsídios para a busca de soluções para a produção de carvão vegetal homogêneo, com alto rendimento, elevada qualidade, aliados à redução do custo de produção.

Considerando a grande variedade de espécies e clones de *Eucalyptus* cultivados no Brasil, torna-se necessária a busca por novas informações sobre as propriedades da madeira, para que seja bem sucedida a seleção de materiais genéticos superiores para produção de carvão vegetal. Dentre essas propriedades, o estudo da relação C/A faz-se necessário porque ela está associada à secagem e carbonização da madeira, influenciando o controle do processo e a qualidade do carvão. Contudo, há carência de literaturas que relacionem a produção de carvão vegetal de eucalipto com a relação C/A.

Diante do exposto, os objetivos do presente trabalho foram determinar a relação cerne/alburno da madeira de clones de *Eucalyptus*, bem como verificar as correlações existentes entre esta relação com a densidade da madeira, com o rendimento em carvão vegetal e com suas propriedades.

MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho foram utilizados seis clones de *Eucalyptus* spp. (Tabela 1), com 7,5 anos de idade, cultivados em espaçamento 3,80 m x 2,40 m, provenientes de um teste clonal, em linhas de cinco plantas com quatro repetições, pertencente a uma empresa florestal, localizado no município de Lassance, Minas Gerais.

Tabela 1. Informações gerais sobre os diferentes materiais genéticos utilizados no estudo

Table 1. General information about the different genetic materials of the study

Clone	Material Genético	Procedência	Ht	DAPcc	Volcc	Csc	IMAcc	IMAsc
1	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Plantar S.A/ Curvelo, MG	23,9	15,41	237,4	17,0	39,6	32,8
2	<i>Eucalyptus urophylla</i> (Híbrido)	Gerdau S.A/ Três Marias, MG	22,9	14,82	194,2	15,0	32,4	27,5
3	<i>Eucalyptus grandis</i> (Híbrido)	Suzano/ Teixeira de Freitas, BA	24,0	16,69	243,9	13,0	40,7	35,4
4	<i>Eucalyptus urophylla</i> (Híbrido)	Gerdau S.A/ Três Marias, MG	23,7	15,48	215,3	11,0	35,9	31,9
5	<i>Eucalyptus urophylla</i>	V & M Florestal/ João Pinheiro, MG	19,9	15,54	189,1	9,0	31,5	28,7
6	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Gerdau S.A/ Três Marias, MG	25,0	15,76	241,7	15,0	40,3	34,2

Ht = altura total média (m), DAPcc = diâmetro médio a 1,30 m de altura do solo com casca (cm), Volcc = volume por hectare com casca (m³.ha⁻¹), Csc = porcentagem de casca (%), IMAcc e IMAsc = incremento médio anual volumétrico com casca e sem casca (m³.ha⁻¹.ano⁻¹).

Foram selecionadas três árvores de diâmetro à altura do peito médio, apresentados na Tabela 1, para cada um dos seis clones, totalizando dezoito árvores (amostras). A seleção foi feita excluindo-se as árvores que apresentavam defeitos visuais e também aquelas que estavam nas bordas.

O teste clonal encontra-se no bioma cerrado, caracterizado pela sazonalidade pronunciada, onde o verão se manifesta quente e úmido e o inverno, frio e seco. O clima do local é classificado como Aw de Köppen, tropical chuvoso (RIBEIRO; WALTER, 1998). A temperatura média anual é de 24 °C, sendo a média máxima anual em torno de 30 °C e média mínima anual próxima a 14°C. O Índice Médio Pluviométrico Anual está compreendido entre 750 e 2.000 mm, com média anual de 1.800 mm, com as chuvas praticamente concentradas de outubro a março.

O solo predominante é o Latossolo, sendo poroso, permeável, bem drenado e, por isto, intensamente lixiviado. A textura é predominantemente arenoso, areno-argiloso, com cerca de 25% de argila na camada de 0 a 40 cm.

O experimento foi conduzido no Laboratório de Painéis e Energia da Madeira – LAPEM e no Laboratório de Propriedades da Madeira – LPM, do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa – UFV.

De cada árvore foram retirados seis discos de 10 cm de espessura, correspondentes a 0%, DAP (diâmetro à altura do peito), 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial do tronco, até o diâmetro mínimo de 7 cm. Inicialmente, fez-se a medição das porcentagens de cerne e alburno de cada disco.

Os procedimentos utilizados para determinação da relação cerne/ alburno (C/A) estão de acordo com a metodologia descrita por Evangelista (2007). Inicialmente identificou-se, em cada torete, a região limite entre cerne e alburno, com o auxílio de uma lupa com aumento de dez vezes, observando-se a alteração na cor e a ocorrência de poros obstruídos por tilos, denotando, portanto, a região do cerne. De uma extremidade à outra de cada torete, traçaram-se duas retas perpendiculares, passando pelo centro da medula. Foram feitas as medições do diâmetro total e do diâmetro do cerne com uma régua de precisão igual a 10 mm. A relação cerne/ alburno (C/A) foi calculada pela fórmula:

$$C/A = \frac{Dc^2}{D^2 - Dc^2}$$

Sendo,

Dc: Diâmetro do cerne, em cm; e,

D: Diâmetro do disco sem casca, em cm.

Os valores médios da relação C/A para cada clone foram calculados a partir da média ponderada da relação C/A dos discos de madeira de cada árvore, utilizando o volume das toras entre dois discos consecutivos como fator de ponderação.

As carbonizações foram realizadas em um forno elétrico tipo mufla. O controle de aquecimento foi feito manualmente, com incrementos de 50°C a cada 30 minutos, o que corresponde a uma taxa de aquecimento média de 1,67°C. min⁻¹. A temperatura inicial foi de 100°C e a temperatura final de 450°C, permanecendo estabilizada nesta última por um período de 60 minutos, sendo, portanto, o tempo de carbonização de 4,5 horas.

O experimento foi instalado segundo um delineamento inteiramente casualizado (DIC), com seis tratamentos (clones), com três repetições (árvores), totalizando dezoito unidades amostrais.

Os dados foram submetidos aos testes de Lilliefors, para testar a normalidade, e Cochran, para testar a homogeneidade das variâncias. Em seguida os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), para verificação das diferenças existentes entre os clones avaliados. Quando foram estabelecidas diferenças significativas entre eles, aplicou-se o teste Tukey em nível de 95% de significância.

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios das propriedades da madeira e do carvão vegetal, utilizadas para a análise de correlações.

Para determinar as correlações existentes entre a relação C/A e as outras propriedades da madeira e do carvão vegetal foi empregado o coeficiente de correlação de Pearson, considerando-se o nível 95% de significância. Para as correlações que se mostraram significativas, foram feitas análises de regressões lineares. Os modelos escolhidos foram aqueles que melhor se ajustaram às variáveis, levando-se em consideração o coeficiente de determinação (R²), a significância da regressão pelo teste F e a significância dos coeficientes pelo teste t.

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do *software* STATISTICA 8.0 (STATSOFT, 2007).

Tabela 2. Informações das propriedades da madeira e do carvão vegetal utilizadas na análise de correlações
Table 2. Information of the properties of wood and charcoal used in correlations analysis

Clones	DBM (g/cm ³)	RGCV (%)	DACV (g/cm ³)	MV (%)	CF (%)	CZ (%)
1	0,531	34,96	0,361	72,93	26,72	0,35
2	0,545	34,71	0,380	74,91	24,76	0,33
3	0,577	34,93	0,385	73,86	25,79	0,35
4	0,548	34,33	0,367	73,86	25,74	0,41
5	0,585	35,40	0,405	73,56	26,08	0,36
6	0,563	35,76	0,405	75,13	24,23	0,64
Procedimento para análise	ABNT NBR 11941 (ABNT,2003)	$RGCV = \frac{MC}{MMS}$	Vital (1984)		ABNT NBR 8112 (ABNT, 1986)	

DBM= Densidade básica da madeira; RGCV= Rendimento gravimétrico em carvão vegetal ; DACV= Densidade aparente do carvão vegetal; MV= Materiais voláteis; CF= Carbono fixo; CZ= Cinzas; MC= Massa de carvão; MMS= Massa de madeira seca.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Relação cerne/alburno (C/A)

A distribuição da relação C/A para os materiais genéticos avaliados é apresentada na Tabela 3.

Observa-se que houve um decréscimo significativo da relação cerne/alburno no sentido longitudinal da árvore. Isso se deve a participação das camadas recém-formadas na proporção total de madeira que vai aumentando gradativamente da base para o topo do caule. Assim, proporcionalmente, existe mais madeira jovem do que adulta nas posições mais altas, e como o desenvolvimento do cerne acompanha o avanço da idade do lenho, a proporção do mesmo é maior onde o lenho é mais velho, ou seja, a proporção de cerne diminui da base para o topo da árvore. Sendo assim, madeiras de maiores diâmetros apresentam maior área de cerne, e conseqüentemente maiores relações C/A (SANTOS et al., 2004).

O clone 1 apresentou a maior relação C/A (1,01) seguido pelo clone 4 (0,94). Já os clones 2, 3 e 5 apresentaram relações C/A intermediárias, 0,69; 0,74; e 0,66, respectivamente, enquanto que para o clone 6 foi encontrado o menor valor médio para tal propriedade, 0,49. Resultados semelhantes aos encontrados no presente estudo foram observados por Evangelista (2007), que verificou relação C/A de 0,8 a

1,2 para um clone de *Eucalyptus urophylla* aos 6 anos de idade, e Arantes (2009), que encontrou uma relação C/A média igual a 0,54 para um clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, também aos 6 anos de idade.

As diferenças encontradas para a relação C/A podem ser explicadas, provavelmente, pela variabilidade existente entre espécies, procedências e clones (PANSWIN; DE ZEEUW, 1980).

Na produção de carvão vegetal, a relação C/A afeta a etapa inicial do processo, caracterizada pela secagem da madeira. Ao considerar somente esta fase inicial da carbonização, menores relações C/A seriam mais adequadas, a exemplo daqueles apresentados pelos clones 5 e 6. Provavelmente uma maior porcentagem de cerne pode dificultar a secagem da madeira, uma vez que o cerne é bastante impermeável, principalmente devido à obstrução dos vasos por tilos, o que dificulta o transporte de água da parte mais interna da madeira para a mais externa (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985). O alburno seca rapidamente e a umidade do cerne, por sua vez, é retirada lentamente; nestas condições a pressão do vapor dos gases aumenta no interior dos elementos anatômicos, podendo ocorrer ruptura das células, o que culmina na fragilização do carvão.

Conseqüentemente, menores relações C/A contribuiriam para a diminuição da duração desta etapa inicial da carbonização porque a veloci-

Tabela 3. Valores médios da relação cerne/alburno (C/A) dos clones de *Eucalyptus* spp.
Table 3. Mean values of the ratio heart / sapwood (C/A) of *Eucalyptus* spp. clones.

CLONE	POSIÇÃO NO SENTIDO BASE-TOPO					MÉDIA*
	0%	25%	50%	75%	100%	
1	1,58 aA	1,32 aA	0,91 bA	0,37 cA	0,19 cB	1,01 A
2	0,80 cA	0,93 aBC	0,73 aA	0,28 bA	0,27 bAB	0,69 BC
3	1,41 aAB	1,29 aA	0,73 bA	0,32 cA	0,20 cB	0,76 BC
4	1,38 aAB	1,19 aAB	0,80 bA	0,41 cA	0,54 bcA	0,94 AB
5	1,26 aB	0,89 bC	0,35 cB	0,26 cA	0,19 cB	0,66 BC
6	0,90 aC	0,51 bD	0,30 bB	0,38 bA	0,39 bAB	0,49 C

*Média ponderada pela altura comercial das árvores. Mesmas letras maiúsculas em cada coluna (clones) e minúsculas em cada linha (posição no sentido base-topo) indicam igualdade pelo teste Tukey (p>0,05).

dade de secagem do alburno geralmente é mais elevada, devido à sua maior permeabilidade.

O mesmo critério pode ser utilizado para a escolha de espécies e/ou clones que apresentem maior velocidade de secagem da madeira em campo, contudo, deve-se considerar outros fatores que também influenciam a secagem, tais como a densidade da madeira e tamanho e a geometria das peças, além dos fatores inerentes ao ambiente.

Menores relações C/A também são requeridas no que se refere à geração de finos, pois a carbonização ocorre da superfície para o interior da peça de madeira e há a liberação de gases originários durante o processo, que percorrem o caminho inverso. Esses gases devem ser liberados, e para que isto aconteça pode haver rompimento principalmente das células parenquimáticas, que possuem paredes celulares menos espessas e, portanto, são menos rígidas. Assim, quanto maior a porcentagem de cerne, maior será o caminho obstruído a ser percorrido e, conseqüentemente, maior será a quantidade de células rompidas e maior também será o teor de finos gerados. Quanto maior a porcentagem de cerne, em geral, maior também é a porcentagem de extrativos (SILVA; TRUGILHO, 2003), e provavelmente maiores serão a geração de gases e a pressão no interior da madeira durante a carbonização, considerando-se que os extrativos sejam voláteis e que sejam degradados nas temperaturas usuais de carbonização. Assim, quanto mais elevada for a relação C/A, maior será a dificuldade para liberação dos gases e maior será o número de células rompidas, gerando um carvão vegetal mais friável e, portanto, produzindo maior porcentagem de finos. Dentre os clones estudados, os clones 1 e 4 apresentaram as maiores relações C/A, sendo, portanto, estes, provavelmente, mais propícios à geração de finos e desaconselháveis para a produção de carvão.

Porém, a geração de finos também irá depender de outros fatores, como a velocidade e a temperatura máxima da carbonização, a porcentagem de vasos obstruídos, a umidade inicial da madeira e o diâmetro da peça.

Correlações entre a relação C/A e as propriedades da madeira e do carvão vegetal

Na Tabela 4 e na Figura 1 estão apresentadas, respectivamente, as correlações e os ajustes de regressões equivalentes às correlações que se mostraram significativas, entre a relação C/A, a densidade básica da madeira, o rendimento gravimétrico em carvão vegetal e suas propriedades.

Tabela 4. Correlações entre a relação C/A, densidade básica da madeira, rendimento gravimétrico em carvão vegetal e suas propriedades
Table 4. Correlations among C/A, wood specific gravity, charcoal gravimetric yield and its properties

Propriedades	Correlações
Densidade básica da Madeira	-0,46*
Rendimento gravimétrico em carvão vegetal	-0,57*
Densidade Aparente do carvão vegetal	-0,64*
Materiais Voláteis	0,65*
Carbono Fixo	-0,63*
Cinzas	-0,47*

* Correlações significativas, a 5% de probabilidade.

A relação entre densidade básica da madeira e relação C/A não é uma regra, devido à grande variabilidade existente entre as espécies, do percentual de madeira juvenil, entre outros fatores. Os efeitos das propriedades da madeira na sua densidade básica são interativos e difíceis de ser avaliados isoladamente (PANSKIN; DE ZEEUW, 1980). No presente estudo, verificou-se que os clones com maiores relações C/A apresentaram menores densidades básicas da madeira, enquanto que as maiores densidades básicas da madeira foram obtidas para os clones com menores relações C/A. Ou seja, há uma relação inversa entre a densidade e a relação C/A. Tal fato pode ser explicado, possivelmente, pelo aumento da espessura da parede das fibras e diminuição do tamanho dos poros no sentido medula-casca.

Arantes (2009), Pinheiro (2013) e Trevisan et al. (2008) ao avaliarem a densidade da madeira de *Eucalyptus* spp., constataram a ocorrência de menores valores de densidade do lenho na região do cerne com aumento gradativo em direção à casca, alcançando valores máximos bem próximos à casca, na região do alburno. Essa tendência observada pelos autores está de acordo com os resultados encontrados neste trabalho, ou seja, a correlação negativa entre a relação C/A e a densidade básica da madeira. Esse aumento de densidade é caracterizado pela formação da madeira juvenil na região central (próxima à medula) e madeira adulta (próxima à casca) conforme retratado por inúmeros autores analisando a madeira de diferentes espécies de eucalipto (LOPES et al., 2011). Segundo Silva (2007) a madeira juvenil é caracterizada por apresentar células de menores comprimentos, de paredes finas, lumes grandes e baixa densidade, já a madeira adulta se caracteriza por apresentar células de maiores comprimentos, paredes espessas, lumes reduzidos e alta densidade.

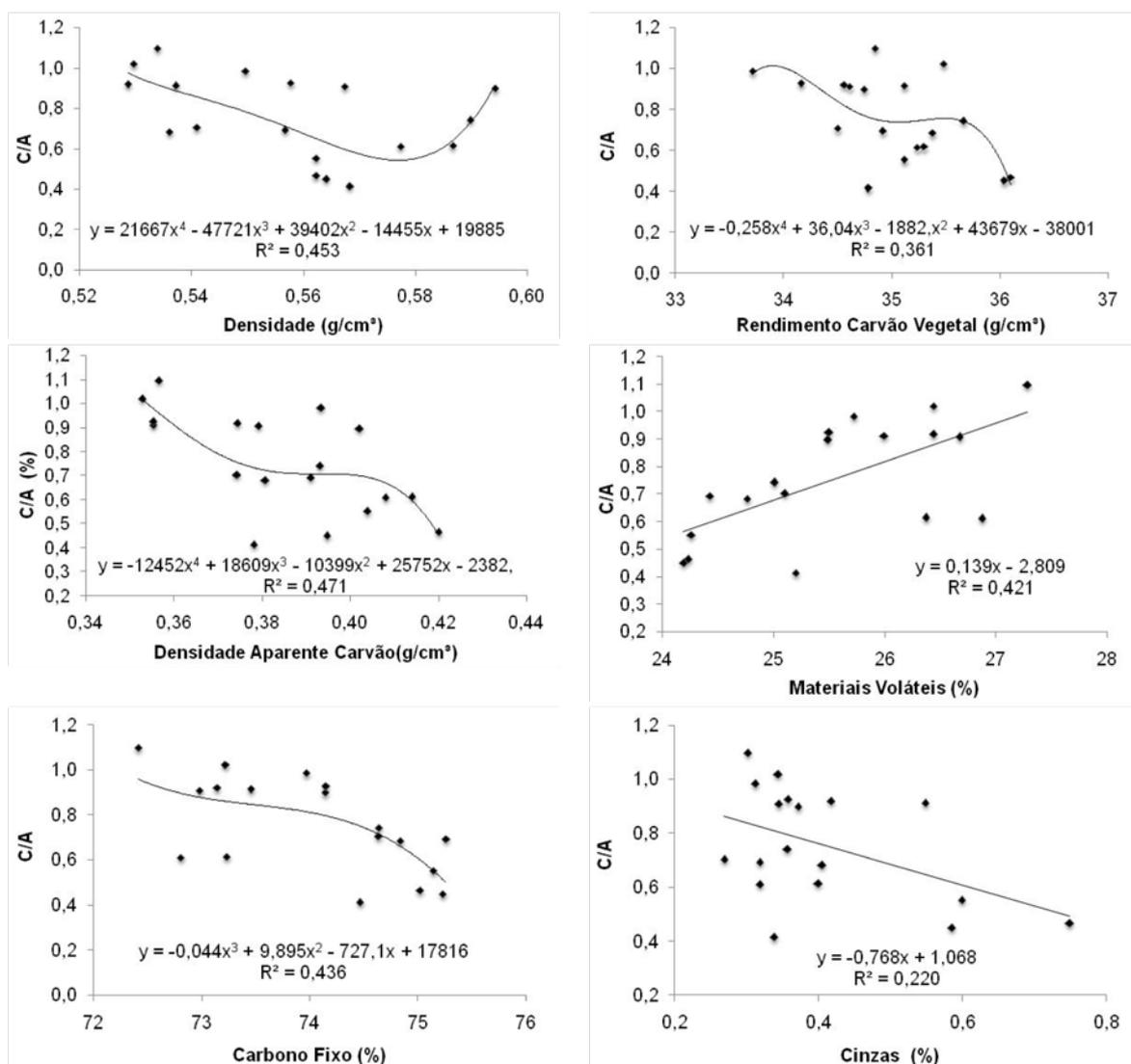


Figura 1. Ajustes de regressões equivalentes às correlações significativas, a 5% de probabilidade, entre a relação C/A, densidade básica da madeira, rendimento gravimétrico em carvão vegetal e suas propriedades.

Figure 1. Adjustments of regressions equivalent to those significant correlations, 5% of probability, among the C / A, wood specific gravity, charcoal gravimetric yield and its properties.

Geralmente, a madeira de cerne é atrelada à maior densidade e sabe-se que para a produção de carvão vegetal madeiras com maiores densidades são preferíveis. Contudo, esta relação entre densidade da madeira e porcentagem de cerne geralmente é verificada em árvores que possuem elevado percentual de madeira adulta, o que não acontece com os espécimes estudados, com idade em de aproximadamente sete anos.

Segundo Tomazello Filho et al. (2008), a densidade do cerne é maior em decorrência da deposição de substâncias como extrativos fenólicos e óleos nas células do parênquima radial, o que não acontece em madeiras juvenis, normalmente utilizadas para produção de carvão vegetal, que possuem, em média, sete anos de idade.

Foi observada correlação significativa negativa entre a relação C/A e o rendimento em

carvão vegetal, o que pode estar relacionado ao fato de os maiores teores de extrativos na madeira terem contribuído para a diminuição do rendimento em carvão vegetal, sendo os mesmos mais concentrados no cerne. Pode-se considerar que isso se deve ao fato de que maior parte dos extrativos presentes em árvores jovens de Eucalyptus degradarem-se a baixas temperaturas e não contribuirão para o aumento do rendimento em carvão vegetal. No entanto, este resultado não é condizente com aquele obtido por Frederico (2009), que encontrou correlação positiva (0,37), a 10% de probabilidade, entre o teor de extrativos e o rendimento em carvão vegetal. Em outros estudos, porém, não foram encontradas correlações significativas entre o teor de extrativos e o rendimento em carvão, como os trabalhos desenvolvidos por Castro (2011), Santos et al. (2011) e Soares (2011).

A relação C/A apresentou correlação significativa e negativa com a densidade aparente do carvão vegetal, possivelmente devido à menor densidade do cerne. Arantes (2009) e Trugilho et al. (2005), ao avaliarem a densidade aparente do carvão vegetal em diferentes posições radiais, também verificaram que a densidade do carvão vegetal é maior na posição externa, correspondente ao alburno, e menor na posição central, que corresponde ao cerne. Vale ressaltar que a menor retratibilidade da madeira proveniente do cerne, em relação ao carvão do alburno, durante a carbonização, pode ter contribuído para a correlação negativa observada entre a densidade aparente do carvão e a relação C/A. Tal fato, provavelmente, pode ser atribuído aos gases gerados durante a carbonização que causam rupturas principalmente na porção relativa ao cerne, proporcionando a este uma massa menor de carvão para um determinado volume, ou seja, menor densidade.

Verifica-se que o teor de materiais voláteis apresentou correlação significativa e positiva com a relação C/A. De modo geral, quanto maior a porcentagem de cerne na madeira maior será a porcentagem de extrativos, os quais contribuem para o aumento do teor de materiais voláteis no carvão vegetal, porém tal relação é dependente da natureza química destes compostos. Já em relação ao teor de carbono fixo, foi observada uma correlação negativa com a relação C/A, visto que os teores de materiais voláteis e de carbono fixo são inversamente proporcionais.

Observa-se também uma correlação negativa entre a relação C/A e a porcentagem de cinzas, uma vez que o alburno é fisiologicamente ativo, sendo responsável pelo transporte ascendente de líquidos e sais minerais. Portanto, quanto maior a porcentagem de alburno, maior será também a porcentagem de cinzas presente no carvão vegetal. Arantes (2009) também encontrou maiores porcentagens de cinzas no carvão de *E. grandis* x *E. urophylla*, proveniente das regiões do alburno.

De modo geral, a qualidade do carvão vegetal para seus diversos usos está relacionada com elevados valores de rendimento gravimétrico em carvão, elevada densidade aparente, alto teor de carbono fixo, além de baixos teores de cinzas e de materiais voláteis (OLIVEIRA et al., 2010; SANTOS et al., 2011), verificando-se, no presente estudo, que menores relações C/A da madeira de *Eucalyptus* estão relacionadas a estas características desejáveis do carvão vegetal.

CONCLUSÕES

Os valores médios da relação C/A nos clones variaram de 0,49 a 1,01.

A relação C/A correlacionou-se significativa e negativamente com a densidade básica da madeira, rendimento em carvão, densidade aparente do carvão e teores de carbono fixo e cinzas. Já a correlação entre o teor de materiais voláteis e relação C/A mostrou-se significativa e positiva.

Para a produção de carvão vegetal deve-se ter preferência pelos clones com maior proporção de alburno em relação à de cerne, podendo-se, então, utilizar árvores com menores idades que, portanto, não possuem significativas áreas ocupadas pelo cerne.

O clone 6 destacou-se em relação aos demais, para a produção de carvão vegetal, apresentando menor relação C/A, e que pode ser associada às melhores características da madeira e do carvão.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento – CNPq e ao Grupo de Pesquisa de Carvão vegetal – G6 pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

ARANTES, M. D. C. *Variação nas características da madeira e do carvão de um clone de Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. 2009, 149 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8112: Carvão vegetal: análise imediata. Rio de Janeiro, 1986. 8 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11941: Madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

CASTRO, A. F. N. M. *Efeito da idade e de materiais genéticos de Eucalyptus sp. na madeira e carvão vegetal*. 2011. 97p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

- COSTA, C. G.; CALLADO, C. H.; CORADIN, V. T. R.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. Xilema. In: APPEZZATO-DA-GLORIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. (Eds.) **Anatomia Vegetal**. Viçosa: UFV, 2003. cap. 5, p. 129-154.
- EVANGELISTA, W.V. **Caracterização da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake, oriunda de consórcio agrossilvipastoril**. 2007. 120 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.
- FREDERICO, P. G. U. **Influência da densidade e composição química da madeira sobre a qualidade do carvão de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* S.T.Blake**. 2009. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.
- GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem Racional da Madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. v. 1.112 p.
- LOPES, C. S. D. NOLASCO, A. M. TOMAZELLO FILHO, M. DIAS, C. T. S. PANSINI, A. Estudo da massa específica básica e da variação dimensional da madeira de três espécies de eucalipto para a indústria moveleira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 315-322, 2011.
- OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. 1997. 429 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; ALMEIDA, W.; PEREIRA, B. L.C.; CARDOSO, M. T. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 431-439, 2010.
- PANSHIN, A.J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4 ed. New York: Mc-Graw Hill, 1980, 722p.
- PINHEIRO, M. A. **Influência das dimensões da madeira na secagem e nas propriedades do carvão vegetal**. 2013. 77 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.
- RIBEIRO, J. E.; WALTER, B. M. T. **Fitofisionomia do bioma cerrado**. In: SANO,S.M.; ALMEIDA, S.P. (Eds.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina, Embrapa-CPAC, 1998. p. 89-166.
- SANTOS, P. E. T. GARCIA, J. N. GERALDI, I. O. Posição da tora na árvore e sua relação com a qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 66, p. 142-151, 2004.
- SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, A. F. M.; CASTRO, R. V. O.; BIANCHE, J. J.; CARDOSO, M. T. Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 90, p. 221-230, jun. 2011.
- SILVA, D. A.; TRUGILHO, P.F. Comportamento dimensional da madeira de cerne e alburno utilizando-se metodologia de análises de imagem submetida a diferentes temperaturas. **Revista Cerne**, Lavras, v. 9, n. 1, p. 56-65, 2003.
- SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira**. 2002. 179 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.
- SILVA, M. R. **Determinação da permeabilidade em madeiras brasileiras de florestas plantadas**. 2007. 120 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- SOARES, V. C.. **Comportamento térmico, químico e físico da madeira e do carvão de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em diferentes idades**. 2011. 108p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.
- STATSOFT INC. **Statistica data analysis system version 8.0**. Tulsa: Statsoft Inc., 2007.
- TOMAZELLO FILHO, M.; BRAZOLIN, S.; CHAGAS, M.P.; OLIVEIRA, J.T.S.; BALLARIN, A.W.; BENJAMIN, C.A. Application of X-ray technique in nondestructive evaluation of eucalypt wood. **Maderas: Ciencia y Tecnologia**, Concepcion, v.10, n. 2, p.139-149, 2008.

TREVISAN, R.; HASELEIN, C. R.; MELO, R. R.; STANGERLIN, D. M.; BELTRAME, R.; GATTO, D. A.; CALEGARI, L. Variação radial da massa específica básica da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. *Floresta*, Curitiba, v. 38, n. 3, p. 553-559, 2008.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, J. R. M.; MORI, F. A.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M.; MENDES, L. F. B. Rendimentos e características do carvão vegetal em função da posição radial de amostragem em clones de *Eucalyptus*. *Cerne*, Lavras, v. 11, n. 2, p. 178-186, 2005.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa: SIF - Sociedade de Investigações Florestais, 1984. 21 p.

Recebido em 11/09/2012
Aceito para publicação em 08/04/2013

