

**RELAÇÕES ENTRE PROPRIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS E ENERGÉTICAS DA  
MADEIRA DE CINCO ESPÉCIES DE CERRADO**  
RELATIONSHIPS AMONG CHEMICAL PROPERTIES, PHYSICAL AND ENERGY WOOD  
PROPERTIES OF FIVE CERRADO SPECIES

Ailton Teixeira do Vale<sup>1</sup> Íris Santos Dias<sup>2</sup> Marcos Antônio Eduardo Santana<sup>3</sup>

**RESUMO**

Os objetivos da pesquisa foram caracterizar e avaliar a influência das propriedades químicas (teores de lignina, holocelulose e extrativos) da madeira de cinco espécies lenhosas de Cerrado (*Pterodon pubescens*, *Dalbergia miscolobium*, *Sclerolobium paniculatum*, *Stryphnodendron adstringens* e *Vochysia thyrsoidea*) na densidade básica e na contração volumétrica da madeira; nos rendimentos e densidade aparente do carvão vegetal. As amostras foram coletadas em área de manejo florestal em Brasília, provenientes de três árvores de cada espécie, perfazendo um total de 15 amostras. Não houve diferença significativa entre as espécies para o teor de extrativo da madeira e rendimento gravimétrico em carvão vegetal. *Pterodon pubescens*, *Dalbergia miscolobium* e *Sclerolobium paniculatum* se destacaram por apresentarem, respectivamente, as maiores densidades básicas (0,82, 0,80 e 0,78 g/cm<sup>3</sup>); os maiores teores de lignina (31,74, 32,31 e 31,42%); as maiores densidades aparentes do carvão vegetal (37, 43 e 37%). Por outro lado *Stryphnodendron adstringens* e *Vochysia thyrsoidea* apresentaram, respectivamente, os maiores teores de holocelulose (72,22 e 74,84%). O teor de lignina apresentou correlação positiva e significativa com a densidade básica da madeira e com a densidade aparente do carvão vegetal e não apresentou correlação significativa com a retração volumétrica e com o rendimento gravimétrico. O teor de holocelulose apresentou correlação negativa e significativa com a densidade básica da madeira e com a densidade aparente do carvão vegetal. Os extrativos totais não apresentaram correlação significativa com nenhuma das variáveis analisadas.

**Palavras chaves:** madeira; energia; Cerrado; caracterização química e física.

**ABSTRACT**

This work aimed at characterizing and evaluating the influence of the chemical properties (lignin, holocellulose and extractives contents) of five Cerrado wood species (*Pterodon pubescens*, *Dalbergia miscolobium*, *Sclerolobium paniculatum*, *Stryphnodendron adstringens* and *Vochysia thyrsoidea*) on density and shrinkage wood; gravimetric yield and apparent density of charcoal. The samples were collected in area of forest management in Brasilia (Brazil, DC), from three trees of each species, thus making a total of 15 samples. No significant differences among species were detected for wood extractive content and charcoal gravimetric yield. *Pterodon pubescens*, *Dalbergia miscolobium* and *Sclerolobium paniculatum* stood out by presenting, respectively, the highest basic density (0.82, 0.80 and 0.78 g/cm<sup>3</sup>); the greatest content of lignin (31.74, 32.31 and 31, 42%), the highest charcoal apparent density (37, 43 and 37%). On the other hand, *Stryphnodendron adstringens* and *Vochysia thyrsoidea* stood out by presenting, respectively, the highest content of holocellulose (72.22% and 74.84). The lignin showed positive and significant correlation with the basic density and wood charcoal apparent density; showed no significant correlation with the volumetric shrinkage neither gravimetric yeild. The holocellulose content showed negative and significant correlation with the density of the wood, and charcoal apparent density. The total extractives not provided with any significance studied of variables.

**Keywords:** wood, fluewood, Cerrado biome, chemical and physical characterization.

1. Engenheiro Florestal, Dr., Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Florestal, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, CEP 70910-900. Brasília, (DF). ailton.vale@gmail.com
2. Química, Doutoranda do Departamento de Engenharia Florestal, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, CEP 70910-900, Brasília (DF). iris.dias@yahoo.com.br
3. Químico, Pesquisador do Laboratório de Produtos Florestais, Serviço Florestal Brasileiro, Setor de clubes Esportivos Norte – SCEN – Trecho 02, CEP 70910-900, Brasília (DF). marcos.santana@ibama.gov.br

Recebido para publicação em 15/10/2008 e aceito em 7/12/2009.

## INTRODUÇÃO

Independente da espécie, diferenças genéticas ou da idade do vegetal, a composição química elementar da madeira, em base seca, é de aproximadamente 50% de carbono, 6% de hidrogênio e 44% de oxigênio, sem considerar os traços de nitrogênio e de outros elementos, mantém-se aproximadamente constante (MARTINS, 1980). Esses elementos estão organizados, formando o tecido lenhoso, como celulose, hemiceluloses e lignina numa proporção aproximada de, respectivamente, 50:20:30%, somados aos extrativos, geralmente formados por terpenos, óleos essenciais, resinas, fenóis, taninos, ácidos graxos e corantes (PHILLIPP e D'ALMEIDA, 1988). Assim a madeira pode ser definida como um biopolímero tridimensional, formado por celulose, hemiceluloses e lignina, e uma menor quantidade de extrativos e materiais inorgânicos, tendo a água como substância química mais abundante numa árvore viva (ROWELL *et al.*, 2005).

A densidade é uma das propriedades da madeira mais importante e mais estudada, podendo variar de 0,13 a 1,40 g/cm<sup>3</sup> (BURGER e RICHTER, 1991). Está diretamente relacionada ao volume vazio dos poros e, conseqüentemente, com outras propriedades físicas e mecânicas. A densidade básica é definida como a massa seca por unidade de volume saturado (BOWYER *et al.*, 2003) sendo a forma mais utilizada, entre várias, para expressar essa característica física da matéria.

A variação dimensional da madeira é um fenômeno importantíssimo, caracterizado pela contração ou inchamento quando da desorção ou adsorção de água, que ocorrem abaixo da umidade de saturação das fibras. A contração longitudinal é geralmente desconsiderada, por ser muito pequena; já a contração tangencial costuma ser maior que a radial por fator variando 1,5 a 3,0 (BOWYER *et al.*, 2003).

A qualidade da madeira e o processo de carbonização influenciam o rendimento gravimétrico do carvão vegetal, apresentando valores entre 25 e 30%, em base seca na produção comercial, e, segundo MARTINS (1980), com densidade do granel de cerca de 300 kg/m<sup>3</sup>.

Considerando o fato de no cerrado haver em torno de 6.500 espécies da flora lenhosa pouco conhecida do ponto de vista da tecnologia da madeira (EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE

PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2007), este trabalho teve como objetivos caracterizar quimicamente a madeira de cinco espécies do Centro Oeste, analisar a influência da holocelulose, lignina e extrativos na densidade básica e na retração volumétrica da madeira e nos rendimentos e densidade aparente do carvão vegetal.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Espécies estudadas, coleta e amostragem da madeira

Em função da produção de biomassa, segundo Vale (2000), as espécies *Dalbergia miscolobium* (jacarandá do cerrado), *Pterodon pubescens* (sucupira branca), *Sclerolobium paniculatum* (carvoeiro), *Stryphnodendron adstringens* (barbatimão), *Vochysia thyrsoidea* (gomeira) foram escolhidas para o trabalho. A coleta da madeira foi realizada na Fazenda Experimental Água Limpa, de propriedade da Universidade de Brasília, em área de Cerrado *sensu strictu*, (altitude de 1.100 metros; 15° 56' 14" S e 47° 46' 08" W).

No local de coleta, foram abatidas três árvores (repetições) de cada uma das cinco espécies (tratamentos) tomando-se como critério de escolha o diâmetro aproximado de 16 cm a 0,30m de altura do solo. De cada árvore, foram retirados dois discos com espessuras de 5 e 10 cm nas posições de 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial do tronco

Os discos de 5 cm foram picados, moídos e a serragem obtida homogeneizada e classificada em peneiras de 40 e 60 mesh e a fração retida entre as peneiras foi utilizada para análise química. Os discos de 10 cm de espessura foram cortados em corpos-de-prova de 2,0 cm (face tangencial) x 3,0 cm (radial) x 5,0 cm (longitudinal), os quais foram utilizados para a determinação da densidade básica e das retrações da madeira, e destinados para as carbonizações.

### Determinações das características físicas e químicas das madeiras ensaiadas

A densidade básica e as retrações da madeira foram determinadas no Laboratório de Propriedades Físicas e Energéticas da UnB, de acordo com a Norma Brasileira Regulamentadora – NBR 7190 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1997) e Vital (1984).

A caracterização química da madeira foi

realizada no Laboratório de Produtos Florestais do Serviço Florestal Brasileiro e conforme os seguintes procedimentos ou normas: amostragem e preparação da madeira para análises, conforme a norma TAPPI – T 257 cm-85 (TAPPI, 1996); preparação da madeira para a análise química, conforme a norma TAPPI – T 264 om-88 (TAPPI, 1996); determinação do teor de extrativos, conforme a norma TAPPI T 204 om-88 (TAPPI, 1996); determinação do teor de lignina insolúvel, conforme Templeton e Ehrman (1995) e determinação da lignina solúvel, conforme Ehrman (1996).

### Carbonização e qualidade do carvão vegetal

As amostras utilizadas para a determinação da densidade básica e da contração da madeira, com 0% de umidade, foram colocadas em cadinho metálico de 14 x 14 x 20 cm (largura, x altura x comprimento), transferida para um forno mufla, com o termostato ajustado para  $450 \pm 10^\circ\text{C}$ , e carbonizadas durante 2h30min, conforme Vale e Nogueira (2001). Após o esfriamento do cadinho metálico, o carvão obtido foi retirado, pesado e determinado o rendimento gravimétrico com o emprego da Equação 1.

$$Rg = \frac{M_c}{M_M} 100\% \quad (1)$$

Em que: Rg = Rendimento gravimétrico (%);  $M_c$  = Massa de carvão vegetal seco (g) e  $M_M$  = Massa de madeira seca (g).

A densidade aparente do carvão vegetal foi obtida pela relação entre a massa e o volume de cada corpo de prova ao empregar a Equação 2. Foram realizadas análise de variância, teste de Tuckey e análise de correlação Pearson para todas as variáveis, em nível de significância de 1 e 5%. Para as correlações significativas e com elevado coeficiente de correlação foram estabelecidos modelos

matemáticos partindo de análise de regressão linear simples, para estimativa da variável dependente.

$$Da = \frac{M_c}{V_c} \quad (2)$$

Em que: Da = densidade aparente do carvão vegetal ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );  $M_c$  = massa do carvão vegetal seco (g) e  $V_c$  = volume do carvão vegetal seco ( $\text{cm}^3$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Características das espécies estudadas

As análises de variância apresentaram diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade, entre os tratamentos para densidade básica (Db), Retração volumétrica (RV), teor de lignina (TL), teor de holocelulose (TH) e densidade aparente do carvão vegetal (Da). As médias de teor de extrativos (TE) e rendimento gravimétrico (RG) foram iguais estatisticamente em mesmo nível de significância. Na Tabela 1, são apresentados os valores de “F” para as variáveis estudadas e, na Tabela 2, encontram-se as médias das variáveis obtidas para as cinco espécies estudadas.

Para a densidade básica, o teor de lignina da madeira e a densidade aparente do carvão vegetal, as cinco espécies dividiram-se em dois grupos, e dentro de cada grupo as médias não diferiram estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey. O primeiro grupo foi formado com espécies de madeiras duras, ou seja, com densidade básica acima de  $0,70 \text{ g}/\text{cm}^3$  e que apresentaram os maiores teores de lignina e as maiores densidades aparentes do carvão vegetal (*Pterodon pubescens*, *Dalbergia miscolobium* e *Sclerolobium paniculatu*). O segundo grupo foi formado pelas espécies com madeiras medianamente macias, ou seja, com densidade básica entre  $0,5$  e  $0,70 \text{ g}/\text{cm}^3$  e com os

TABELA 1: Valores de “F” para densidade básica (Db), retração volumétrica (RV), teor de lignina (TL), teor de extrativos (TE), teor de holocelulose (TH), rendimento gravimétrico em carvão (RG) e densidade aparente do carvão (Da).

TABLE 1: “F” values for basic density (Db), volumetric shrinkage (RV), lignin content (TL), extractives content (TE), holocellulose content (TH), gravimetric yield (RG) and density of charcoal (Da).

FV	GL	Valores de “F”						
		Db	RV	TL	TE	TH	RG	Da
Tratamento	4	39,46*	20,10*	23,86*	3,21ns	25,15*	2,72ns	14,41*
Resíduo	10							
Total	14							

Em que: \* = significativo a 5% de probabilidade; ns = não significativo.

TABELA 2: Valores médios de densidade básica (Db); retração volumétrica (RV); teor de lignina (TL); teor de extrativos (TE); teor de holocelulose (TH); rendimento gravimétrico do carvão vegetal (RG); densidade aparente do carvão vegetal (Da).

TABLE 2: Average values of basic density (Db), volumetric shrinkage (RV), lignin content (TL), extractives content (TE), holocellulose content (TH), gravimetric yield (RG) and density of charcoal (Da).

Espécies	Madeira					Carvão vegetal	
	Db (g/cm <sup>3</sup> )	RV (%)	TL (%)	TE (%)	TH (%)	RG (%)	Da (g/cm <sup>3</sup> )
<i>Pterodon pubescens</i>	0,82 <sup>a</sup>	19,45 <sup>a</sup>	31,74 <sup>a</sup>	6,94 <sup>a</sup>	68,26 <sup>b</sup>	26,43 <sup>a</sup>	0,37 <sup>a</sup>
<i>Dalbergia miscolobium</i>	0,80 <sup>a</sup>	11,45 <sup>c</sup>	32,31 <sup>a</sup>	8,23 <sup>a</sup>	67,69 <sup>b</sup>	25,82 <sup>a</sup>	0,43 <sup>a</sup>
<i>Sclerolobium paniculatum</i>	0,78 <sup>a</sup>	12,24 <sup>c</sup>	31,42 <sup>a</sup>	6,14 <sup>a</sup>	68,58 <sup>b</sup>	27,87 <sup>a</sup>	0,37 <sup>a</sup>
<i>Stryphnodendron adstringens</i>	0,61 <sup>b</sup>	11,01 <sup>c</sup>	27,78 <sup>b</sup>	8,27 <sup>a</sup>	72,22 <sup>a</sup>	28,67 <sup>a</sup>	0,28 <sup>b</sup>
<i>Vochysia thyrsoidea</i>	0,58 <sup>b</sup>	14,95 <sup>b</sup>	25,16 <sup>b</sup>	8,54 <sup>a</sup>	74,84 <sup>a</sup>	24,87 <sup>a</sup>	0,28 <sup>b</sup>

Em que: Médias seguidas pela mesma letra em cada coluna não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

menores teores de lignina bem como menores densidades aparentes do carvão (*Vochysia thyrsoidea* e *Stryphnodendron adstringens*).

Ao trabalhar com espécies da mesma área e diâmetros semelhantes, coletadas em 1998, portanto, mais novas que as amostras coletadas para este trabalho, Vale (2000) encontrou valores de densidade básica de 0,73 g/cm<sup>3</sup> (*Pterodon pubescens*); 0,77 (*Dalbergia miscolobium*); 0,72 (*Sclerolobium paniculatum*); 0,49 (*Vochysia thyrsoidea*) e 0,55 (*Stryphnodendron adstringens*). As densidades maiores encontradas no presente trabalho podem ser explicadas pela maior idade das plantas.

A retração volumétrica dividiu-se em três grupos; um primeiro representado pela espécie *Pterodon pubescens* com a maior densidade básica e a maior retração, seguida de um segundo grupo representado pela *Vochysia thyrsoidea* e um terceiro representado pelas espécies *Dalbergia miscolobium*; *Sclerolobium paniculatum* e *Stryphnodendron adstringens*, uma das menores densidades e menores retrações volumétricas.

Pelos dados da Tabela 2, que expressam os teores de lignina e holocelulose, fica evidente que as espécies estudadas dividem-se em dois grupos distintos que não diferenciam estatisticamente. O primeiro grupo corresponde àquelas espécies que apresentaram os menores teores de holocelulose e os maiores valores de lignina (*Pterodon pubescens*, *Dalbergia miscolobium*, *Sclerolobium paniculatum*). Coerentemente, por se tratar de uma análise somativa, o segundo grupo apresentou os maiores valores de holocelulose e menores de lignina (*Vochysia thyrsoidea* e *Stryphnodendron adstringens*). Esses dois grupos se relacionam diretamente com os valores

encontrados para as densidades básicas das madeiras em que as madeiras mais densas apresentaram maior teor de lignina.

Ao trabalhar com *Dalbergia miscolobium* e *Sclerolobium paniculatum*, Vale et al. (1996), encontraram, respectivamente, 35,49 e 36,80% de rendimento gravimétrico em carvão vegetal. Para as madeiras de *Stryphnodendron adstringens* e *Pterodon pubescens*, Vale et al. (2001) obtiveram rendimentos gravimétricos iguais a 39,42% e 33,55% respectivamente. Em ambos os trabalhos as madeiras foram carbonizadas a 450 ± 10°C com taxa de aquecimento de 2,14°C/min. Esses valores são superiores aos obtidos no presente trabalho para as mesmas espécies carbonizadas à mesma temperatura máxima. Isso provavelmente tenha ocorrido em função da maior taxa de aquecimento adotada, que foi de 3,0°C/min. Deve-se considerar também o fato mencionado anteriormente do período de tempo decorrido entre as coletas.

### Correlações entre as características físicas, químicas e energéticas

A correlação de Pearson entre as variáveis estudadas é apresentada na Tabela 3.

Observa-se pela Tabela 3 a ocorrência de correlações positivas e significativas entre a densidade básica e o teor de lignina e entre a densidade básica e a densidade aparente; entre o teor de lignina e a densidade aparente; e entre o teor de extrativos e o teor de holocelulose. Correlações negativas e significativas são observadas na Tabela 3, entre densidade básica e teor de holocelulose; entre o teor de lignina e o teor de extrativos, entre o teor de lignina

TABELA 3: Correlação Pearson para as variáveis analisadas: densidade básica da madeira (Db), retração volumétrica (Rv), teor de lignina (Tl), teor de extrativos (Te), teor de holocelulose (Th), rendimento gravimétrico (Rg) e densidade aparente do carvão vegetal (Da).

TABLE 3: Pearson correlation of studied variables: basic density (Db), volumetric shrinkage (Rv), lignin content (Tl), extractives content (Te), holocellulose content (Th), gravimetric yield (Rg) and density of charcoal (Da).

	Db	Rv	Tl	Te	Th	Rg	Da
Db	1	0,2596	0,8568*	-0,3427	-0,8566*	0,0601	0,9106*
Rv		1	0,0840	-0,2479	-0,0831	-0,2080	0,0225
Tl			1	-0,4672*	-1,0000*	0,1469	0,7489*
Te				1	0,4670**	-0,2574	-0,1657
Th					1	-0,1470	-0,7488*
Rg						1	0,0431
Da							1

Em que: \* e \*\* = significativo a 1 e 5% de probabilidade.

e o teor de holocelulose; e entre o teor de extrativos e a densidade aparente.

Para as cinco espécies estudadas, verificou-se que o aumento do teor de lignina não influenciou significativamente a retração volumétrica, o que pode ser comprovado pelo baixo valor do coeficiente de correlação de 0,0840. O mesmo fato ocorreu para o teor de extrativos em relação à densidade básica e à retração volumétrica, cujos coeficientes de correlação encontrados foram, respectivamente, -0,34276 e -0,2596. Assim como aconteceu para lignina não há relação significativa entre a holocelulose e a retração volumétrica cujo coeficiente de correlação foi de 0,0831.

Uma correlação positiva, porém não significativa, entre o teor de lignina e o rendimento gravimétrico em carvão vegetal foi observada, com um coeficiente de correlação de 0,15. Estudos conduzidos por Pastore *et al.* (1989) com vinte espécies nativas da Amazônia, mostraram haver uma correlação positiva e significativa entre o teor de lignina + extrativos e rendimento em carvão vegetal, por outro lado, Brito e Barrichello (1977) ao trabalharem com dez espécies de eucaliptos não encontraram correlação significativa entre teor de lignina e rendimento em carvão vegetal.

As correlações encontradas entre teor de extrativos com o rendimento gravimétrico e com a densidade aparente do carvão vegetal foram negativas, porém não significativas com coeficientes de correlação respectivamente de -0,2574 e -0,1657. Brito e Barrichello (1977) encontraram uma correlação negativa entre o teor de extrativos e o rendimento gravimétrico do carvão vegetal, ao

trabalharem com espécies de eucalipto.

Há uma correlação negativa, porém não significativa entre o teor de holocelulose e rendimento gravimétrico, com um coeficiente de correlação de -0,1470. Vital *et al.* (1994) encontraram uma correlação negativa entre o teor de holocelulose e o rendimento gravimétrico do carvão ao estudarem *Eucalyptus camaldulensis*.

#### Relação entre a densidade básica da madeira e a densidade aparente do carvão vegetal

A análise de regressão entre a densidade básica da madeira e a densidade aparente do carvão vegetal da madeira das cinco espécies lenhosas do Cerrado é apresentada na Figura 1. A relação positiva e significativa entre densidade básica da madeira e a densidade aparente do carvão vegetal é relatada por vários autores, como Brito e Barrichello (1980), ao trabalharem com espécies do gênero *Eucalyptus*.

#### Relações entre a densidade básica da madeira e o teor de lignina e de holocelulose

A análise de regressão entre o teor de lignina e a densidade básica da madeira das cinco espécies lenhosas do Cerrado é apresentada na Figura 2.

A densidade básica das cinco espécies variou de 0,58 a 0,82 g/cm<sup>3</sup> e, esse incremento foi acompanhado de um aumento significativo do teor de lignina, culminando em uma relação significativamente positiva, representado por uma equação linear com coeficiente de determinação de 0,73, conforme Figura 2. Resultados semelhantes

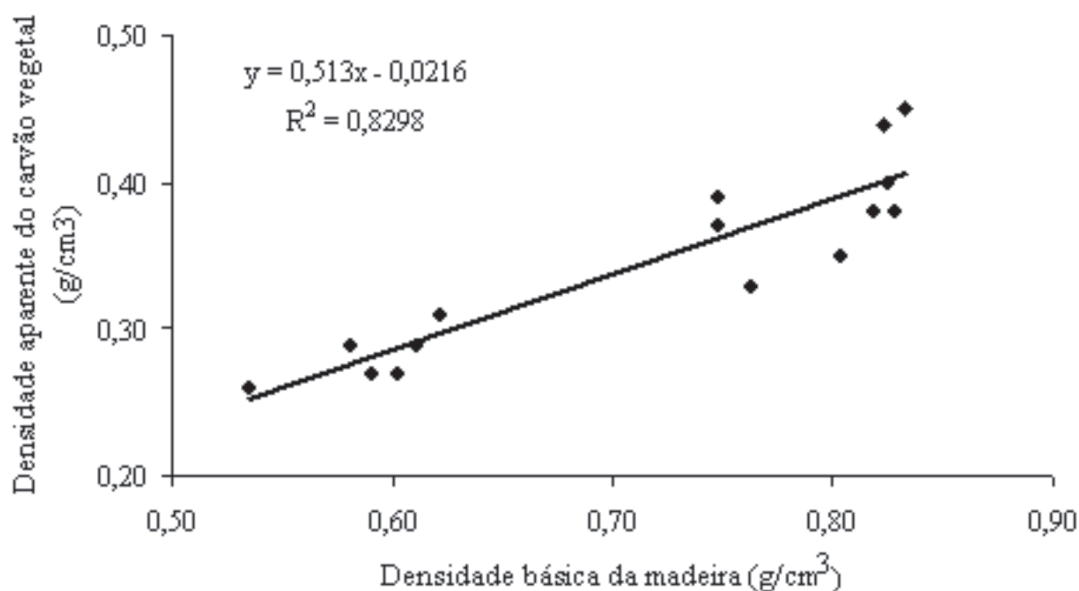


FIGURA 1: Relação entre densidade básica e a densidade aparente do carvão vegetal da madeira de cinco espécies de Cerrado.

FIGURE 1: Relationship between the values of basic density and density of charcoal of five species of Brazilian Cerrado.

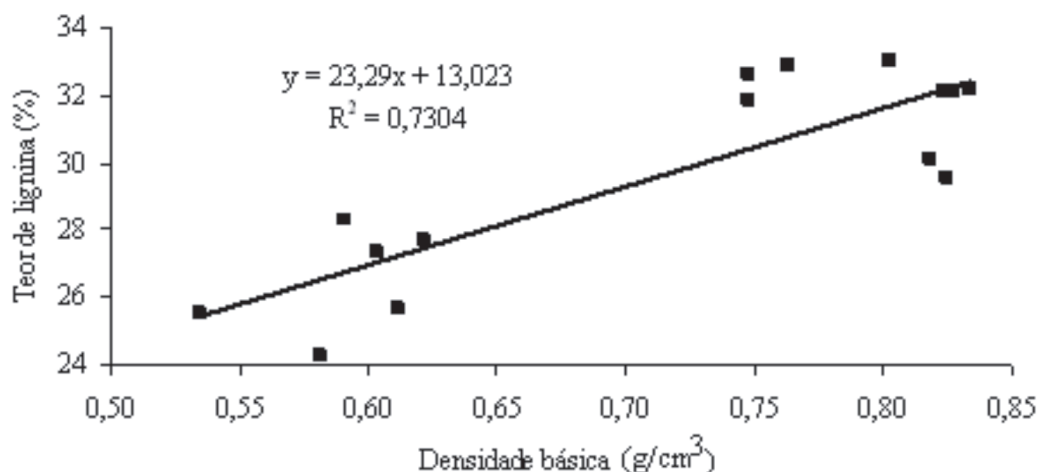


FIGURA 2: Relação entre o teor de lignina e a densidade básica da madeira de cinco espécies de Cerrado.

FIGURE 2: Relationship between the values of lignin content and basic density of five species of Brazilian Cerrado.

foram encontrados por Pastore *et al.* (1989), com espécies da Amazônia.

No entanto, resultados diferentes foram obtidos por outros autores, dentre eles, Brito *et al.* (1977), que não encontraram correlação significativa entre lignina e densidade básica da madeira de dez espécies de eucalipto cujas idades variaram de 6 a 10 anos. Trugilho *et al.* (1996) que encontraram relação negativa entre lignina e densidade básica ao estudar *Eucalyptus saligna*, o que foi explicado pelo possível fato de que as amostras estudadas serem relativamente

jóvens e o teor de lignina ainda não ter atingido a estabilidade.

A figura 3 apresenta o gráfico da análise de regressão para o teor de holocelulose x densidade básica.

O aumento no teor de lignina implica em uma diminuição no teor de holocelulose. Logo, tendo em vista a alta significância entre o teor de lignina e a densidade básica, há uma relação inversa entre o teor de holocelulose, e a densidade básica, ou seja, quanto menor a quantidade de holocelulose, maior a densidade

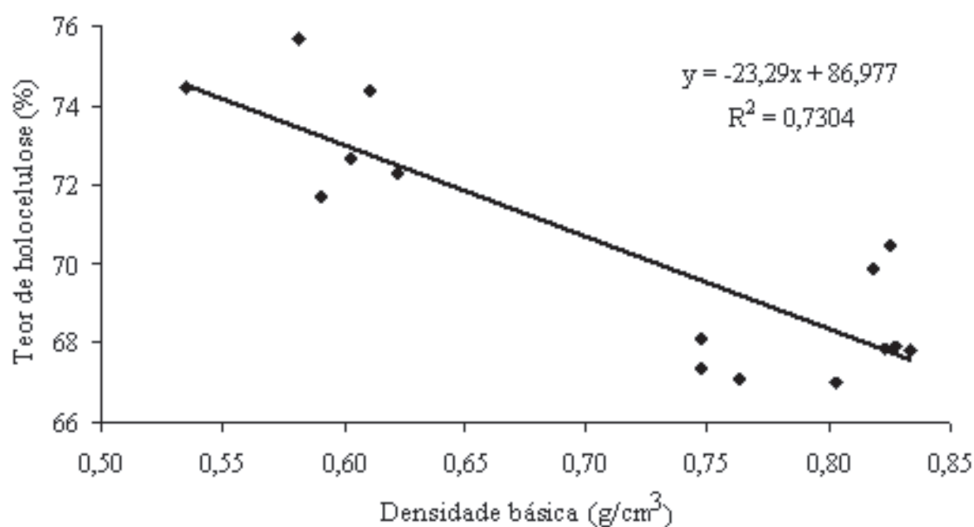


FIGURA 3: Relação entre o teor de holocelulose e a densidade básica da madeira de cinco espécies de cerrado.  
 FIGURE 3: Relationship between the values of holocellulose content and basic density of five species of Brazilian Cerrado.

básica, ao levar em consideração os resultados deste trabalho. No entanto, Trugilho *et al.* (1996) encontraram correlação positiva e significativa entre a densidade básica de madeira de eucalipto e teor de holocelulose, sugerindo que madeiras mais densa possuam menores teores de lignina.

Ao estudar *Pinus taeda*, utilizando cinco árvores (de idades aproximadamente iguais) por sítio, tomando por base oito sítios com solos diferentes, Rigatto *et al.* (2004) concluíram que os atributos físicos do solo têm grande influência nas propriedades da madeira, entre elas a densidade básica e o teor de holocelulose, assim como Dias *et al.* (2006), também

ao estudar *Pinus Taeda* provenientes de sítios de crescimento mais elevado, observaram menores valores de densidade básica, maiores teores de extrativos e lignina, assim como menores teores de holocelulose.

#### Relações entre teor de lignina e de holocelulose com a densidade aparente do carvão vegetal

O gráfico da análise de regressão entre o teor de lignina e a densidade aparente do carvão vegetal é apresentado na Figura 4. A equação de regressão indica uma relação linear e significativa a 1% de

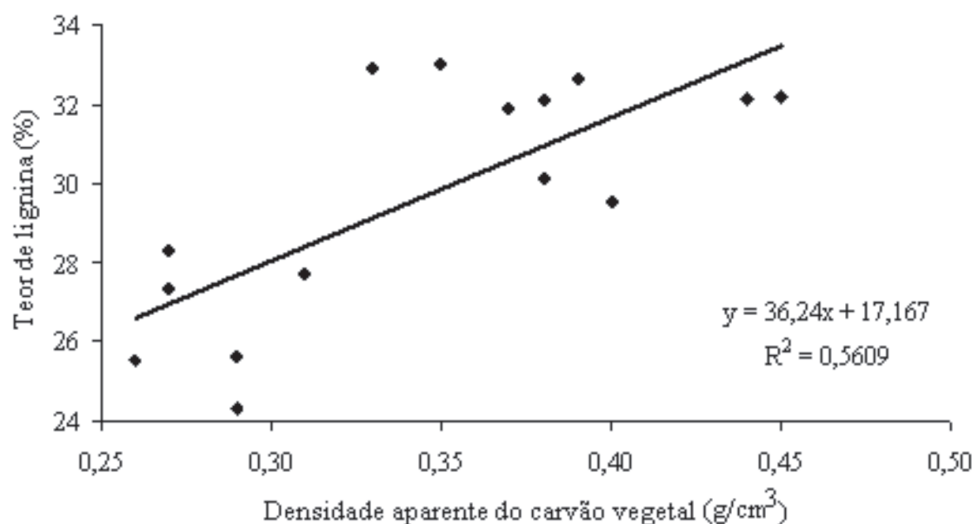


FIGURA 4: Relação entre o teor de lignina e a densidade aparente do carvão vegetal de *Pterodon pubescens*.  
 FIGURE 4: Relationship between the values of lignin content and density of charcoal of five species of Brazilian Cerrado.

probabilidade, com um coeficiente de determinação de 0,56, indicando que 56% da variação do teor da densidade aparente do carvão vegetal são explicadas pela variação nos teores de lignina.

Há uma relação direta entre a densidade aparente do carvão vegetal e a densidade básica da madeira segundo BRITO *et al.*, (1977); PASTORE *et al.*, (1989) e conforme apresentado na Figura 1 deste trabalho. Esse fato, somado à relação direta entre teor de lignina e densidade básica da madeira, encontrado neste trabalho (Figura 2), explica a relação direta entre densidade aparente e teor de lignina.

O gráfico da análise de regressão entre o teor de holocelulose e a densidade aparente do carvão vegetal é apresentado na Figura 5.

A relação negativa está relacionada ao processo de carbonização, pois carboidratos que compõem as holocelulose são rapidamente decompostos, fazendo com que madeiras com elevados teores de holocelulose não apresentem bons rendimentos em carvão vegetal. Convém salientar que o processo inverso ocorre com a lignina.

No geral, as madeiras de Cerrado estudadas apresentaram comportamento mais próximo ao das

madeiras tropicais Amazônicas, que das madeiras provenientes de plantios, como o eucalipto e pinus. Vale ressaltar que, para as espécies nativas do Cerrado ou as da Amazônia, não houve qualquer controle da idade das plantas.

## CONCLUSÕES

Das espécies lenhosas de Cerrado estudadas a *Dalbergia miscolobium* apresentou o maior valor de densidade e a *Vochysia thirsoidea* o menor valor.

A lignina apresentou relação significativa e diretamente proporcional com a densidade básica e com a densidade aparente do carvão vegetal.

A holocelulose apresentou relação significativa e inversamente proporcional com a densidade básica e com a densidade aparente do carvão vegetal.

Os extrativos não apresentaram relação significativa com a densidade básica e com a densidade aparente do carvão vegetal.

As relações entre os constituintes químicos estudados com o rendimento e a densidade aparente do carvão vegetal não se mostraram significativos.

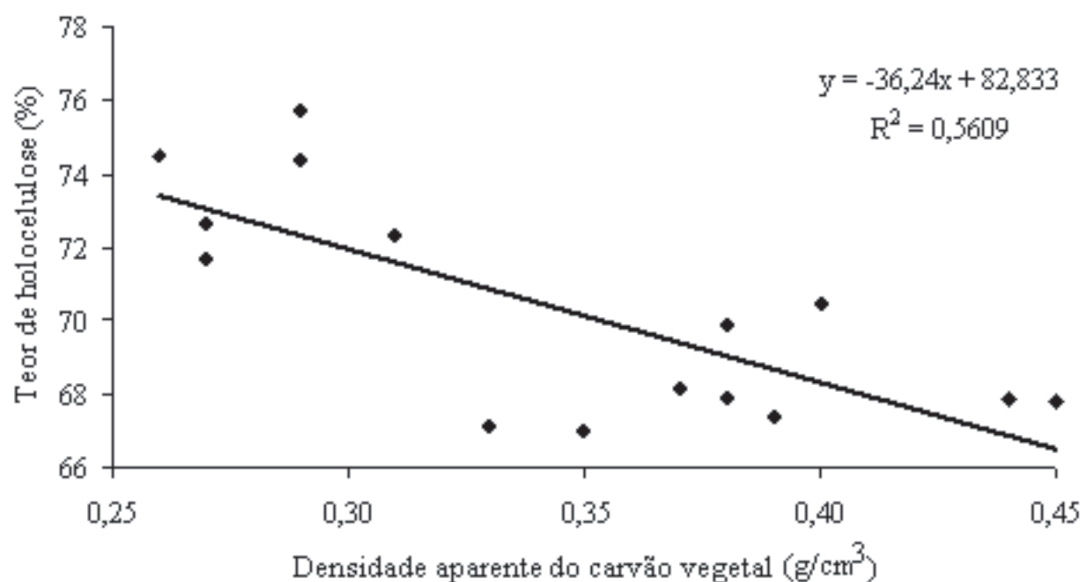


FIGURA 5: Relação entre o teor de holocelulose e a densidade aparente do carvão vegetal de *Pterodon pubescens*.

FIGURE 5: Relationship between the values of holocellulose content and density of charcoal of five species of Brazilian Cerrado.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7190. Projeto de estruturas de madeira**. Anexo B – Ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1997, 107 p.
- BOWYER, J. L.; SHMULSKY, R.; HAYGREEN, J. G. **Forest products and wood science. An Introduction**. New York: Blackwell Publishing, 2003. 554 p.
- BRITO, J. O. BARRICHELO, L. E. G. Correlação entre as características físicas e químicas da madeira e produção de carvão: 1 densidade e teor de lignina na madeira de eucalipto. **IPEF**, Piracicaba, n. 14, p. 9-20, 1977.
- \_\_\_\_\_. Correlações entre aracterísticas físicas e químicas da madeira e a produção de carvão: 2. densidade da madeira x densidade do carvão. **IPEF** n. 20, p.101-113, jun.1980.
- BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991.157 p.
- MARTINS, H. Madeira como fonte de energia. In: FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DA MINAS GERAIS/CETEC. **Uso da madeira para fins energéticos**. Compilado por Waldir Resende Penedo. Belo Horizonte, 1980, 158p. p. 9-26. (Série de Publicações Técnicas, 1).
- DIAS, H. C. T. *et al.* Cuidados ambientais e a qualidade da madeira. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 99, 2006.
- EHRMAN, T. **Determination of acid-soluble lignin in biomass**. NREL ethanol project. Laboratory analytical procedure 004. NREL/MRI, Golden, CO. 1996. 7 p.
- EMBRAPA. **Site oficial da Embrapa Cerrados**. Disponível em [www.cerradosbrasil.cpac.embrapa.br](http://www.cerradosbrasil.cpac.embrapa.br). Acesso em Dezembro de 2007.
- PASTORE, T. C. M., OKINO, E. Y. A.; PASTORE JÚNIOR, F. P. **Carbonização de madeiras da Amazônia**. Parte I: Floresta Nacional - Tapajós. Brasília: IBAMA, Laboratório de Produtos Florestais, 1989. 12 p. (Série Técnica, 12).
- PHILIPP, P.; D'ALMEIDA, M. L. O. **Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica**. 2. ed. São Paulo: IPT, 1988. 964 p.
- RIGATTO, P. A.; DEDECEK, R. A.; MATOS, J. L. M. Influence of soil attributes on quality of Pinus taeda wood for cellulose Kraft production. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 267-273, 2004.
- ROWELL, R. M. *et al.* **Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites**. Capítulo 03: Cell Wall Chemistry. New York: Taylor & Francis Group, 2005.
- TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI test methods T 204 om-88: solvent extractives of wood and pulp**. Atlanta: Tappi Technology Park, 1996. v.1.
- TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI test methods T 264 om-88: preparation of wood for chemical analysis**. Atlanta: Tappi Technology Park, 1996. v.1.
- TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI test methods T 257 cm-85: sampling and preparing wood for analysis**. Atlanta: Tappi Technology Park, 1996. v.1.
- TEMPLETON, D.; EHRMAN, T. **Determination of acidinsoluble lignin in biomass**. NREL ethanol project. Laboratory analytical procedure 003. NREL/MRI, Golden, CO. 1995. 11 p.
- TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L.M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de Eucalyptus saligna. **Revista Cerne**, Lavras, v. 2 n. 1. p. 94-111. 1996.
- VALE, A. T. **Caracterização da biomassa lenhosa de um cerrado sensu stricto da região de Brasília para uso energético**. 2000. 111 f. Tese (Doutorado em Energia de Biomassa) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2000.
- VALE, A. T.; NOGUEIRA, M. Carbonização de madeiras do cerrado e análise do carvão vegetal. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 271-276. 2001.
- VALE, A. T. *et al.* Relações entre a densidade básica da madeira, rendimento e qualidade do carvão vegetal de espécies do cerrado. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 25, n. 89, p. 89-95, 2001.
- VALE, A. T.; NOGUEIRA, M. V.; SILVA, M. A. Rendimento da carbonização e qualidade do carvão vegetal de madeiras do cerrado em comparação ao *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 20, n.1, p.93-99, 1996.
- VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa: UFV, 1984. (Sociedade de Investigações Florestais, 1).