

Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Florestal

**INFLUÊNCIA DOS TEORES DE LIGNINA,
HOLOCELULOSE E EXTRATIVOS NA DENSIDADE
BÁSICA E CONTRAÇÃO DA MADEIRA E NOS
RENDIMENTOS E DENSIDADE DO CARVÃO VEGETAL
DE CINCO ESPÉCIES LENHOSAS DO CERRADO**

IRIS DIAS SANTOS

Orientador: Dr Aílton Teixeira do Vale

Coorientador: Dr Marcos Antônio E. Santana

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

PUBLICAÇÃO EFL 091/2008

Brasília, fevereiro de 2008

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Iris Dias Santos

Título:

**INFLUÊNCIA DOS TEORES DE LIGNINA, HOLOCELULOSE E EXTRATIVOS
NA DENSIDADE BÁSICA, CONTRAÇÃO DA MADEIRA E NOS RENDIMENTOS
E DENSIDADE DO CARVÃO VEGETAL DE CINCO ESPÉCIES LENHOSAS DO
CERRADO**

Comissão Examinadora:

**Prof. Dr. Aílton Teixeira do Vale (EFL – UnB)
Presidente/Orientador**

**Prof. Dr. Alexandre Florian da Costa (EFL – UnB)
Membro Titular Interno**

**Prof^a. Dr^a Inês Sabione Resck (IQ – UnB)
Membro Titular Externo**

Brasília, fevereiro de 2008

FICHA CATALOGRÁFICA

SANTOS, IRIS DIAS

Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica, contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado. Departamento de Ciências Florestais. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais. Universidade de Brasília. 2008.

xv + 92p: il. Dissertação: Mestrado em Ciências Florestais

1. Química da madeira; 2. Madeiras do cerrado; 3. Propriedades físicas da madeira; 4. carbonização.

I. EFL/FT/UnB II. Título

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SANTOS, I.D. (2008). Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica, contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado. [Distrito Federal] 2008. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal, Publicação EFL - ___/2008, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília. Brasília, DF.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Iris Dias Santos

TÍTULO: Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica, contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado.

GRAU: Mestre

ANO: 2008

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta Dissertação de Mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta publicação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização escrita do autor.

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência das propriedades químicas (teores de lignina, holocelulose e extrativos) da madeira de cinco espécies lenhosas do cerrado (*Pterodon pubescens*, *Dalbergia miscolobium*, *Sclerolobium paniculatum*, *Stryphnodendron adstringens* e *Vochysia thyrsoidea*) na densidade básica, na contração da madeira, nos rendimentos e densidade aparente do carvão vegetal. As amostras foram coletadas na Fazenda Água Limpa, de propriedade da Universidade de Brasília, a partir de três árvores de cada uma das cinco espécies, perfazendo assim um total de 15 amostras: cinco tratamentos e três repetições. A densidade básica das madeiras variou entre 0,58 e 0,82g/cm³; a retração volumétrica entre 11,01 e 19,45%; os teores de lignina, extrativos e holocelulose variaram, respectivamente, entre 25,16 e 32,31%; 6,14 e 8,54% e 67,69 e 74,87%. Os rendimentos gravimétricos variaram entre 24,87 e 28,67%, enquanto que a densidade aparente do carvão vegetal variou entre 0,28 e 0,43%. A lignina apresentou correlação positiva e significativa, com a densidade básica da madeira e a densidade aparente do carvão vegetal; não apresentou correlação significativa com a retração volumétrica e o rendimento gravimétrico (embora com este último tenha indicado uma tendência positiva). Os extrativos totais não apresentaram correlação significativa com a densidade básica, a retração volumétrica, o rendimento gravimétrico e a densidade aparente do carvão vegetal. Por outro lado a holocelulose apresentou correlação positiva e significativa com a densidade básica da madeira. A densidade aparente do carvão vegetal, no entanto, não apresentou correlação significativa com a retração volumétrica e o rendimento gravimétrico do carvão vegetal, embora com este último tenha apresentado uma tendência negativa.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the influence of the chemical properties (content of lignin, holocellulose and extratives) of five species of woody cerrado (*Pterodon pubescens*, *Dalbergia miscolobium*, *Sclerolobium paniculatum*, *Stryphnodendron adstringens* and *Vochysia thyrsoidea*) on the density and shrinkage the wood in income and apparent density of charcoal. The samples were collected in the Fazenda Água Limpa, from three trees of each five species, thus making a total of 15 samples: five treatments in three replicates. The density of wood ranged from 0.58 to 0.82 g/cm³, the volumetric shrinkage ranged from 11.01 to 19.45%, the content of lignin, extratives and holocellulose varied respectively from 25.16 to 32; 31%, 6.14% to 8.54 and 67.69 to 74.87%. Income gravity ranged from 24.87 to 28.67%, while the apparent density of charcoal ranged from 0.28 to 0.43%. The lignin showed positive and significant correlation with the basic density and apparent density of wood charcoal; showed no significant correlation with the volumetric shrinkage neither gravimetric income (although with the latter has indicated a positive trend). The total extratives showed no significant correlation with the density, the volumetric shrinkage, gravimetric and the apparent density yield of charcoal. Furthermore the holocellulose showed positive and significant correlation with the density of the wood, and apparent density of charcoal, but was not correlated significantly with the gravimetric yield and shrinkage volumetric of charcoal, but with the latter has shown a negative trend.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE TABELAS.....	xii
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1. OBJETIVOS.....	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1. QUÍMICA DA MADEIRA	16
2.1.1. Holocelulose	17
2.1.2. Celulose	17
2.1.3. Hemiceluloses	17
2.1.4. Lignina	18
2.1.5. Extrativos.....	20
2.2. CASCA DA MADEIRA.....	21
2.3. CARVÃO VEGETAL.....	22
2.3.1. Densidade do carvão vegetal.....	23
2.4. CONTRAÇÃO DA MADEIRA.....	23
2.5. DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA.....	23
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
3.1. ESPÉCIES DE MADEIRA ESTUDADAS.....	24
3.2. PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA.....	25
3.2.1. Densidade básica da madeira.....	25
3.2.2. Retração da madeira.....	25
3.3. ANÁLISE QUÍMICA.....	25
3.3.1. Extrativos e lignina.....	25
3.3.2. Holocelulose.....	26
3.4. CARBONIZAÇÃO DA MADEIRA.....	27

3.4.1. Qualidade do carvão vegetal.....	28
3.5. RESUMO DAS NORMAS.....	28
3.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
4.1. Teor de lignina em função da dens. básica da madeira.....	32
4.2. Teor de lignina em função da retração volumétrica.....	33
4.3. Teor de extrativos em função da densidade básica e da retração volumétrica...34	
4.4. Teor de holocelulose em função da dens. básica e da retração volumétrica.....	35
4.5. Teor de lignina em função do rendimento gravimétrico em carvão vegetal.....	37
4.6. Teor de lignina em função da dens. aparente do carvão vegetal.....	38
4.7. Teor de extrativos em função do rendimento gravimétrico e da densidade aparente do carvão vegetal.....	39
4.8. Teor de holocelulose em função do rendimento gravimétrico e da densidade aparente do carvão vegetal	40
5. CONCLUSÕES.....	41
6. PERSPECTIVAS.....	41
APÊNDICES.....	43
A. Teor de lignina versus densidade básica.....	44
B. Teor de lignina versus densidade aparente do carvão vegetal.....	45
C. Teor de holocelulose versus densidade aparente do carvão vegetal.....	46
D. Teor de holocelulose versus densidade básica	47
E. ANOVA – DENSIDADE BÁSICA.....	48
F. ANOVA – RETRAÇÃO VOLUMÉTRICA.....	49
G. ANOVA – TEOR DE LIGNINA.....	50
H. ANOVA – TEOR DE EXTRATIVOS.....	51
I. ANOVA – TEOR DE HOLOCELULOSE.....	52
J. ANOVA – RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO DO CARVÃO VEGETAL...33	
L. ANOVA – DENSIDADE APARENTE DO CARVÃO VEGETAL.....	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55

LISTA DE TABELAS

3.1. Espécies analisadas e suas respectivas famílias e nomes populares	24
3.2. Análises e respectivas normas utilizadas.....	29
4.1. Valores de “F” para as variáveis estudadas	30
4.2. Médias das variáveis obtidas para as cinco espécies estudadas.....	30
A.1. Parâmetros da regressão (lignina versus densidade básica).....	44
A.2. Análise de variância (ANOVA) da regressão.....	44
B.1. Parâmetros da regressão (lignina versus densidade aparente).....	45
B.2. Análise de variância (ANOVA) da regressão.....	45
C.1. Parâmetros da regressão (holocelulose versus dens. aparente).....	46
C.2. Análise de variância (ANOVA) da regressão.....	46
D.1. Parâmetros da regressão (holocelulose versus dens. básica).....	47
D.2. Análise de variância (ANOVA) da regressão.....	47

LISTA DE FIGURAS

2.1. Um fragmento de celulose. Projeção Haworth (BROWNING, 1963).....	17
2.2. Modelo de um dos tipos de estrutura química para lignina de coníferas (BROWNING, 1963).....	20
3.1. Seqüência de etapas de carbonização dos blocos	27
4.1. Teor de lignina em função da densidade básica de cinco espécies lenhosas do cerrado do Centro-Oeste.....	32
4.2. Teor de lignina em função da retração volumétrica da madeira de cinco espécies lenhosas de cerrado do Centro-Oeste.....	33
4.3. Teor de extrativos em função da densidade básica da madeira de cinco espécies lenhosas de cerrado do Centro-Oeste.....	34
4.4. Teor de extrativos em função da retração volumétrica da madeira de cinco espécies lenhosas de cerrado do Centro-Oeste.....	34
4.5. Teor de holocelulose em função da densidade básica da madeira de cinco espécies lenhosas de cerrado do Centro-Oeste.....	35
4.6. Teor de holocelulose em função da retração volumétrica da madeira de cinco espécies lenhosas de cerrado do Centro-Oeste.....	35
4.7. Teor de lignina em função do rendimento gravimétrico do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas de cerrado do Centro-Oeste.....	37
4.8. Teor de lignina em função da densidade aparente do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas de cerrado do Centro-Oeste.....	38
4.9. Teor de extrativos em função do rendimento gravimétrico do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas de cerrado do Centro-Oeste.....	39
4.10. Teor de extrativos em função da densidade aparente do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas de cerrado do Centro-Oeste.....	39
4.11. Teor de holocelulose em função do rendimento gravimétrico do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas de cerrado do Centro-Oeste.....	40
4.12. Teor de holocelulose em função da densidade aparente do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas de cerrado do Centro-Oeste.....	40

LISTA DE SÍMBOLOS

ABNT = Associação Brasileira de Normas Técnicas

g/mol = gramas por mol

Å = ângstron

°C = graus Celsius

m³ = metro cúbico

kg/m³ = quilogramas por metro cúbico

m = metro

cm = centímetro

g = grama

mm = milímetro

nm = nanômetro

cm³ = centímetro cúbico

TAPPI = Technical Association of the Pulp and Paper Industry

1. INTRODUÇÃO

Depois da Amazônia, o cerrado é o segundo maior bioma do país, ocupa uma área de cerca de 2 milhões de km², correspondendo a 23% do território brasileiro e representa 5% da biodiversidade do planeta, e é a segunda maior região biogeográfica da América do Sul. Localizado no Brasil Central, o cerrado é berço das cabeceiras de rios sul-americanos de extrema importância, como o São Francisco, Tocantins, Araguaia, Xingu, Tapajós e Paraguai. Entretanto, esse bioma já perdeu pelo menos a metade de sua paisagem original.

Pela notável heterogeneidade de tipos de vegetação, o cerrado constitui um ecossistema muito diversificado e muito rico em espécies. Esse bioma apresenta pelo menos 6.500 espécies de flora lenhosa. Destas, quase 2.000 estão restritas apenas nas Matas de Galeria e Ciliares. Apresenta pelo menos 11 paisagens naturais, distribuídas em florestas, savanas e campos. Sua biodiversidade é tão grande que pode ser comparada à da Amazônia, embora tenha sido esquecido pela Constituição do Brasil de 1988, sendo o bioma menos protegido pela Legislação. (EMBRAPA, 2006).

Talvez devido ao aspecto tortuoso e áspero de suas árvores cascudas, e a coloração cinzenta de suas folhas, o cerrado foi por muito tempo desprezado pela comunidade científica, que só tinha olhos para a Amazônia. Felizmente, no último quarto do século XX cresceu o interesse por este importante bioma, cuja fauna e flora correm riscos de extinção.

Neste contexto, a preservação, a extinção de espécies, a agricultura familiar de subsistência, a produção de carvão vegetal, as plantações monoculturais, a pecuária, as queimadas, naturais ou programadas, enfim, todos os processos relacionados ao cerrado, sejam eles sociais, culturais, econômicos ou científicos devem ser compreendidos e avaliados, para permitir o desenvolvimento sustentável.

1.1. OBJETIVOS

Considerando que é preciso estudar este bioma em todas as suas possibilidades, este trabalho tem como objetivo principal analisar a influência da composição química (holocelulose, lignina e extrativos) na densidade básica, na contração da madeira, nos rendimentos e densidade aparente do carvão vegetal.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. QUÍMICA DA MADEIRA

Análises químicas elementares indicam que a madeira é constituída, em base seca, de aproximadamente 50% de carbono, 6% de hidrogênio e 44% de oxigênio, sem considerar os traços de nitrogênio e de outros elementos. Independente da espécie, diferenças genéticas ou a idade, esta composição se mantém aproximadamente constante (PENEDO, 1980).

A separação dos componentes químicos presentes na madeira é extremamente difícil, por várias razões:

- ◆ São raros os reagentes específicos capazes de isolar cada um deles, seletivamente, sem modificar suas estruturas moleculares;
- ◆ Os tipos e proporções dos componentes nas paredes celulares não são ainda suficientemente conhecidos.

Quimicamente, a madeira é melhor definida como um biopolímero tridimensional, formado por celulose, hemicelulose e lignina, e uma menor quantidade de extrativos e materiais inorgânicos. A substância química mais abundante numa árvore viva é a água, mas na madeira em base seca, toda a parede celular da madeira é formada por polímeros de açúcares (carboidratos, 65 a 75%), que são combinados com a lignina (18 a 35%) (ROWELL et al, 2005).

Assim, a madeira é um material bastante heterogêneo, cuja proporção aproximada de celulose, hemicelulose e lignina é, respectivamente, 50:20:30. Os demais compostos da madeira, presentes em menor quantidade, são compostos de baixo peso molecular e são chamados de extrativos, sendo encontrados principalmente na casca, geralmente formados por terpenos, óleos essenciais, resinas, fenóis, taninos, graxas e corantes (PHILIPP, 1988).

2.1.1. Holocelulose

A maior porção de carboidratos da madeira é composta por polímeros de celulose e hemicelulose, com menor quantidade de outros açúcares. A combinação de celulose e hemicelulose é chamada holocelulose.

2.1.2. Celulose

A celulose é o polissacarídeo mais abundante da natureza, e a molécula orgânica mais abundante da face da terra (ROWELL et al, 2005). Sua cadeia é formada por unidades de β -glicose (Figura 2.1), formando um polímero de alto peso molecular (300.000 a 500.000 g/mol). É o principal componente da parede celular da fibra, com estrutura linear e constituída por um único tipo de unidade de açúcar (PENEDO, 1980).

As cadeias de celulose nas paredes celulares das plantas são arranjadas compactamente, de modo que suas fibras apresentam regiões nitidamente cristalinas, devido ao elevado número de ligações de hidrogênio que resulta na forte interação entre suas moléculas, embora medidas de raios-X indicam que, a cada 600 Å de celulose cristalina, a estrutura apresenta regiões amorfas (PENEDO, 1980). A figura 2.1 indica a formação da cadeia de celulose através da união de unidades de β -D-glicose:

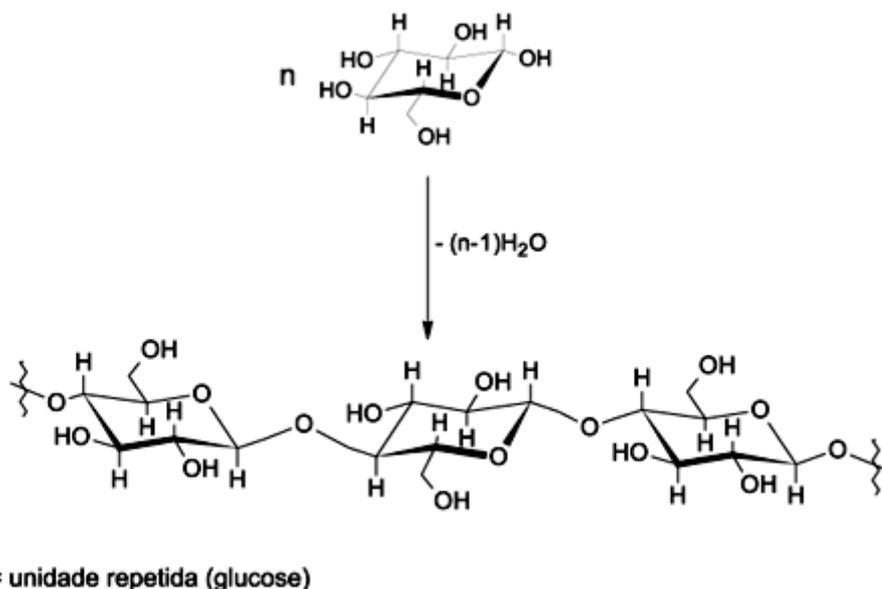


Figura 1 – Formação da cadeia de celulose pela união de unidades β -D-glicose.
Figure 1 – Schematic illustration of the cellulose chain formation.

MORAIS et al (2005).

2.1.3. Hemiceluloses

Hemiceluloses também são polissacarídeos, mas diferem da celulose por serem constituídas por vários tipos de unidades de açúcares, além de serem ramificadas e presentes na madeira em menor grau de polimerização (peso molecular entre 25.000 e 35.000 g/mol) envolvendo as fibras da celulose.

As hemiceluloses são intimamente relacionadas com a celulose e contribuem com os componentes estruturais da árvore. Algumas hemiceluloses estão presentes em grande quantidade quando a árvore está sob stress. Por exemplo, a madeira comprimida tem uma grande quantidade de D-galactose (um tipo de hemicelulose) e lignina (ROWELL et al, 2005)

A principal diferença entre as hemiceluloses e a celulose deve-se ao fato de que as hemiceluloses apresentam várias unidades de açúcares diferentes de cinco ou seis átomos de carbono. (SANTOS et al, 2001).

Assim, o termo hemicelulose não designa um composto químico definido, mas sim uma classe de componentes poliméricos presentes em vegetais fibrosos, possuindo, cada componente, propriedades peculiares. Como no caso da celulose e da lignina, o teor e a proporção dos diferentes componentes encontrados nas hemiceluloses de madeira variam grandemente com a espécie e, provavelmente, também de árvore para árvore (PHILIPP, 1988).

2.1.4. Lignina

A palavra lignina vem do latim *lignum*, que significa madeira. Foi introduzida por Schultz, em 1857, para designar o material que hoje se sabe ser o segundo mais abundante do reino vegetal, logo depois da celulose. As ligninas só não estão presentes em vegetais primitivos como fungos, algas e líquens não lignificados. Além da proteção contra a ação de microorganismos, nas plantas vasculares, elas são responsáveis pela resistência mecânica, pelo transporte de nutrientes, água e metabólitos.

As ligninas são moléculas amorfas, altamente complexas, cujo polímero é formado principalmente por unidades aromáticas de fenilpropano, que é considerada uma substância incrustante (ROWELL et al, 2005).

Sendo um constituinte cuja abundância na madeira pode variar de 15 a 30%, dependendo da espécie vegetal, as ligninas são obtidas em larga escala, em todo o mundo, como subproduto da indústria de polpação, cujo principal aproveitamento ainda é como fonte de energia, pela queima, em caldeiras de recuperação.

Alguns esquemas estruturais foram propostos para ligninas de diferentes tipos de madeira: gimnospermas e angiospermas. Verificou-se que a partir desses estudos que, diferentemente da celulose e de outros polímeros naturais, as ligninas apresentam uma estrutura macromolecular cujas unidades monoméricas não se repetem de modo regular. Além do mais, estas últimas encontram-se entrelaçadas por diferentes tipos de ligações químicas (ROWELL et al, 2005).

A estrutura das ligninas pode ser diferente, dependendo de sua localização no vegetal, havendo a contribuição de fatores topoquímicos, que influenciam em sua formação. Esses fatores podem afetar a quantidade relativa da ocorrência e a estrutura das ligninas (ROWELL et al, 2005).

Existem diferentes tipos de preparação de ligninas. Nenhum deles permite obtê-las como se encontram no vegetal, pois há sempre uma interferência entre o procedimento de isolamento químico e a estrutura das ligninas *in situ*. Um bom método de isolamento deve eliminar os extrativos presentes na madeira e ser o mais brando possível, para evitar alterações drásticas na natureza química da lignina. Há três procedimentos básicos para preparação de ligninas: por extração, isolamento como resíduo e como derivados (PILÓ et al, 1993).

Sua estrutura tridimensional explica a rigidez e a resistência às forças de compressão, gerando uma estrutura resistente ao impacto, compressão e quebra ao conferir rigidez à parede da célula e, ao agir como um agente permanente de ligação entre as células. Pelo decréscimo que causa na permeação de água através das paredes das células dos tecidos condutores do xilema, a lignina tem uma atuação importante no intrincado transporte

interno de água, nutrientes e metabólitos. Tecidos lignificados resistem ao ataque por microorganismos, impedindo a penetração de enzimas destruidoras da parede celular (PHILIPP, 1988).

O termo lignina refere-se a uma mistura de substâncias que têm composições químicas semelhantes, mas de estruturas diferentes. As ligninas presentes nas paredes celulares das plantas estão sempre associadas com as hemiceluloses, não só através da interação física como também de ligações covalentes (PHILIPP, 1988). A figura 2.2 mostra um modelo de um dos tipos de estrutura química para lignina de coníferas:

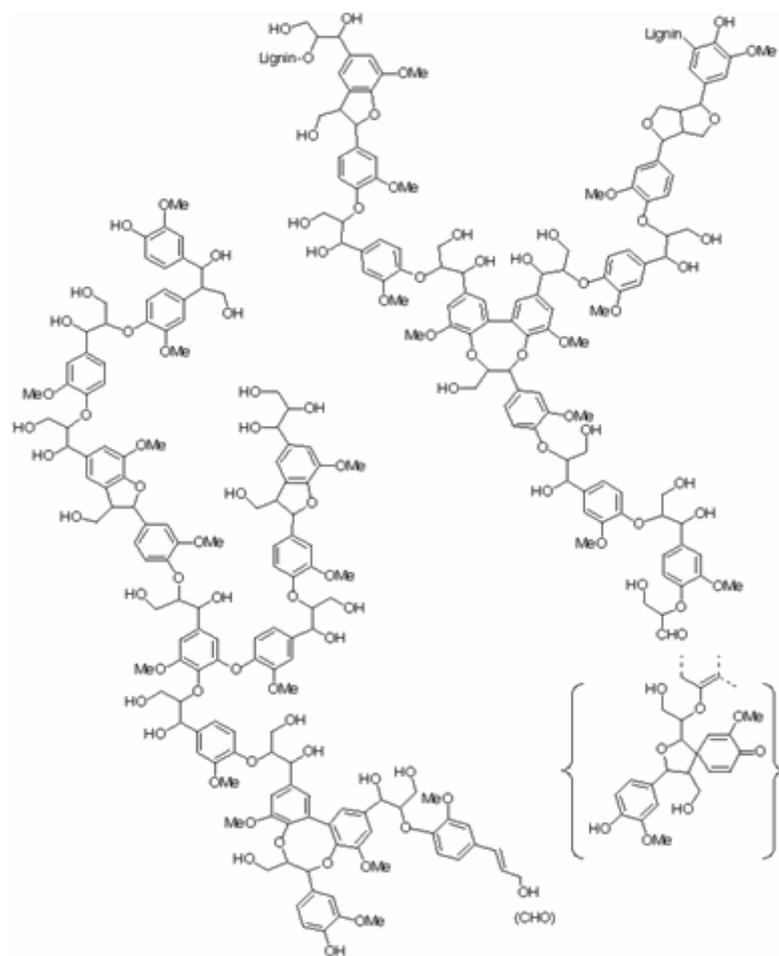


Figura 2.2: Modelo de um dos tipos de estrutura química para lignina de coníferas (BROWNING, 1963)

2.1.5. Extrativos

Como o próprio nome já diz extrativos são substâncias químicas presentes na madeira que podem ser extraídos usando solventes. Em alguns casos, os extrativos são classificados pelo tipo de solvente utilizado para extraí-los. Centenas de extrativos têm sido identificados e em alguns casos sua presença e função na árvore é bem compreendido. Em outros casos, não é muito claro porque estão presentes. Extrativos, como o breu (resina de pinheiro) e outras resinas, têm sido usados por séculos para impermeabilizar embarcações de madeira, em tochas e como aglutinante. Eles têm também aplicações na medicina, cosméticos, e como preservantes. Alguns dos extrativos presentes na madeira são precursores de outras substâncias químicas, alguns são formados em resposta a feridas, e alguns agem como parte de um mecanismo de defesa.

Os extrativos são compostos químicos da parede celular, geralmente formados a partir de graxas, ácidos graxos, álcoois graxos, fenóis, terpenos, esteróides, resinas ácidas, resinas, ceras, e alguns outros tipos de compostos orgânicos. Estes compostos existem na forma de monômeros, dímeros e polímeros. Em geral, as coníferas têm mais extrativos que as folhosas. A maioria dos extrativos, tanto nas coníferas como nas folhosas, está localizada no cerne (*heartwood*) (sem considerar a casca), e alguns são responsáveis pela cor, odor e durabilidade da madeira. A diferença qualitativa dos extrativos entre as espécies é baseada na quimiotaxonomia (taxonomia baseada nos constituintes químicos) (ROWELL et al, 2005).

Geralmente, a ocorrência de extrativos é maior na casca e menor no cerne, sendo desprezível no alburno. Apesar do baixo teor de extrativos em relação aos demais componentes, sua presença pode influir na escolha da madeira para determinados fins, como os extrativos de cor ou voláteis que dão valor estético ou os compostos aromáticos que impedem o ataque da madeira por fungos e insetos; ou os taninos e resinas que interferem negativamente nos processos de hidrólise da madeira ou de produção da polpa.

2.2. A CASCA DA MADEIRA

A casca é um tecido bastante complexo composto por duas zonas principais: a casca interna e a casca externa. A composição química da casca é complexa, e varia de acordo com a espécie, e também quando se trata da casca interna ou externa. Análises químicas da

casca para diferentes espécies indicam que seus compostos químicos podem ser classificados em dois grupos principais: polissacarídeos (celulose, hemicelulose e materiais pécticos); lignina e polifenóis; hidroxiácidos complexos (suberina); e os extrativos (graxas, óleos, fitoesteróis, resinas ácidas, ceras, taninos, terpenos, flobafenos e flavonóides).

Os métodos de análise de extrativos desenvolvidos para o estudo da madeira não podem ser aplicados à casca diretamente. Existem vários compostos na casca que não são encontrados na madeira, e que interferem nestes métodos de análise.

As hemiceluloses presentes na casca, na maioria dos casos, são similares às aquelas encontradas na madeira, com algumas variações na composição (ROWELL et al, 2005).

2.3. CARVÃO VEGETAL

Quando a madeira é submetida à ação do calor em temperaturas relativamente elevadas, ela sofre um processo de transformação na qual todos os seus componentes são extensivamente modificados.

A madeira sofre um processo de carbonização quando aquecida em presença de quantidades controladas de oxigênio, em temperaturas acima de 300⁰C, desprendendo vapor de água, líquidos orgânicos e gases não condensáveis, ficando como resíduo o carvão. A produção de carvão vegetal é o mais antigo processo de transformação química para a utilização da madeira (PENEDO, 1980).

Nos processos convencionais de carbonização, onde existe presença controlada de ar, ocorre sempre a queima (pirólise) de uma parte da madeira a ser carbonizada. O calor gerado por esta queima é o responsável pela transformação do restante da madeira em carvão (PENEDO, 1980).

Existem processos de carbonização industrial, não convencionais no Brasil, onde se faz a recuperação dos subprodutos (líquidos e gases). Os líquidos (alcatrão, ácido acético, metanol, etc), são utilizados após serem beneficiados através de processos que exigem equipamentos relativamente sofisticados, enquanto os gases são recirculados e queimados,

gerando diferentes formas de energia, sendo, no entanto, mais empregados na produção de calor (PENEDO, 1980).

São muitas as reações químicas que ocorrem durante o processo de carbonização, as quais estão estreitamente relacionadas com a temperatura a que se submete a madeira (WENZEL, 1970).

Estudos indicam que, a partir da carbonização de diferentes espécies de madeira, o teor de lignina na madeira tem uma sensível influência no rendimento gravimétrico em carvão, assim como no teor de carbono fixo (BRITO, 1977).

2.3.1. A densidade do carvão vegetal

A massa de $1,0 \text{ m}^3$ de carvão vegetal é chamada *densidade do granel*, dada por kg/m^3 , denominada pela ISO de *bulk density*. Normalmente, esse valor gira em torno de 300 kg/m^3 para o carvão vegetal. Se a partir desta medida de volume diminuir-se o volume dos vazios existentes entre os vários pedaços de carvão, sem considerar que os poros internos estão ocupados por ar, ter-se-á a chamada *densidade aparente*. A *densidade verdadeira* é a medida da densidade da substância que compõe o carvão vegetal, ou seja, é a densidade aparente descontando-se o volume da porosidade interna. Deste modo, relacionando-se à densidade verdadeira com a aparente, ter-se-á a medida da porosidade do carvão (PENEDO, 1980).

2.4. CONTRAÇÃO DA MADEIRA

A madeira, quando seca abaixo do ponto de saturação das fibras, perde água de adesão e sofre contração. Este processo é reversível: se a água entrar na estrutura da parede celular, a madeira entumece. Estas mudanças de dimensão são completamente reversíveis quando se trata de pequenas peças. A retração é proporcional à quantidade de água removida da parede celular. A contração longitudinal é geralmente desconsiderada, por ser muito pequena; já a contração tangencial costuma ser maior que a radial por um fator de 1,5 a 3,0 (BOWYER et al, 2003).

2.5. DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA

A densidade é uma das mais importantes e estudadas propriedades da madeira. A densidade está diretamente relacionada à porosidade, que é diretamente proporcional ao volume vazio dos poros (BOWYER et al, 2003).

A densidade básica (*specific gravity*) da madeira pode ser definida como a massa seca por unidade de volume saturado, e expresso por kg m^{-3} (BOWYER et al, 2003).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. ESPÉCIES DE MADEIRAS ESTUDADAS

A escolha das espécies lenhosas de cerrado para este trabalho foi definida com base no trabalho de VALE (2000), que estudou 47 espécies do cerrado para produção de energia e são relacionadas na Tabela 3.1.

TABELA 3.1 – Nomes científicos das espécies analisadas e suas respectivas famílias e nomes comuns.

NOME CIENTÍFICO	FAMÍLIA	NOME COMUM
<i>Dalbergia miscolobium</i>	Leg. Papilionoideae	Jacarandá-do-cerrado
<i>Pterodon pubescens</i>	Leg. Papilionoideae	Sucupira branca
<i>Sclerolobium paniculatum</i>	Leg. Caesalpinoideae	Carvoeiro
<i>Stryphnodendron adstringens</i>	Leg. Mimosoideae	Barbatimão ou babatimão
<i>Vochysia thyrsoidea</i>	Vochysiaceae	Gomeira

As amostras foram coletadas na Fazenda Água Limpa - FAL, de propriedade da Universidade de Brasília, em área de vegetação *sensu strictu*. A FAL está localizada a uma altitude de 1.100 metros entre as coordenadas 15° 56' 14'' S e 47° 46' 08'' W, e tem sido

utilizada como fazenda experimental e reserva ecológica, compreendendo uma área aproximada de 4.000 hectares.

Foram abatidas três árvores (repetições) das cinco espécies (tratamentos) supracitadas; considerando a impossibilidade de determinar a idade de cada árvore, tomou-se como critério de escolha o diâmetro aproximado de 16 cm a 0,30m de altura do solo. A partir de cada árvore, nas posições de 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura do tronco, foram retirados dois discos: um de 5 cm e outro de 10cm de espessura.

Os discos de 5,0 cm foram picados, moídos, homogeneizados e classificados em peneiras de 40 mesh e utilizados para análise química. Os discos de 10,0 cm de espessura foram cortados em blocos de 2,0 cm (face tangencial) x 3,0 cm (radial) x 5,0 cm (longitudinal), os quais foram utilizados para determinação da densidade básica e das retrações, sendo em seguida carbonizados.

3.2. PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA

3.2.1. Densidade básica da madeira

A densidade básica foi determinada de acordo com norma da ABNT NBR 6320 (MB26), e corresponde à massa de madeira seca em relação ao seu volume saturado.

Os corpos de prova foram secos em estufa a $103,0 \pm 2,0^{\circ}\text{C}$ e pesados em balança eletrônica com 0,01g de sensibilidade.

3.2.2. Retração da madeira

As amostras foram as mesmas utilizadas na determinação da densidade básica. Os corpos de prova foram medidos inicialmente após o corte, ou seja, saturados; em seguida, foram colocados para secar em estufa a $103,0 \pm 2,0^{\circ}\text{C}$ até a estabilização da massa, onde foram resfriados em dessecador e mensurados novamente. Todas as medidas foram feitas com paquímetro digital marca Caliper de 0,01 mm de sensibilidade.

3.3. ANÁLISE QUÍMICA

3.3.1. Extrativos e lignina

Os extrativos são compostos solúveis em solventes orgânicos. A extração feita à base da mistura etanol-tolueno permite extrair carboidratos de baixo peso molecular, tais como: sais, ácidos graxos, resinas, fotoesteróis, hidrocarbonetos não voláteis, e outros compostos solúveis em água (Norma TAPPI 204 om-88).

De acordo com a Norma TAPPI 257, foram utilizadas amostras de serragem classificadas em 40 mesh, cuja umidade foi determinada de acordo com a Norma TAPPI 264 om-88, em duplicata. A partir destas amostras de serragem, tomou-se aproximadamente $2,0 \pm 0,1$ g da amostra livre de umidade, que foram colocadas e taradas em cartucho de celulose, e posteriormente inseridas no extrator Soxhlet.

A Norma T264 om-88 estabelece que a madeira deva ser “preparada” para a análise química. Esta preparação consiste em eliminar materiais solúveis em solventes neutros e que não são considerados parte da substância madeira. Os principais compostos removidos são ácidos graxos, algumas resinas, taninos, gomas, açúcares, amido e corantes. Como se trata de extrativos, a remoção destes compostos foi feita com extrator Soxhlet.

O produto da extração, ou seja, uma mistura de solventes e extrativos foi evaporada a fim de remover os solventes; o resíduo formado pelos extrativos totais, foi então pesado.

As amostras uma vez livres de extrativos foram colocadas em estufa a $105,0 \pm 2,0^{\circ}\text{C}$ até obterem massa constante (quando a diferença entre duas pesagens não ultrapassa 0,002 g) e em seguida foram submetidas à análise somativa para determinação da lignina:

- i) **Lignina insolúvel:** tomou-se $0,3 \pm 0,0001$ g da amostra em tubo de ensaio, que foi submetido à hidrólise com ácido sulfúrico a $30,0 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$. Em seguida, a amostra foi autoclavada e filtrada, considerando-se o sólido retido a lignina insolúvel.
- ii) **Lignina solúvel:** o líquido remanescente da filtração da lignina insolúvel continha lignina solúvel, e foi analisado em espectrofotômetro UV, cuja absorbância foi medida a 205 nm, tendo o ácido sulfúrico a 4% como branco.

O teor de lignina total consiste na soma das frações solúvel e insolúvel.

3.3.2. Holocelulose

A determinação da holocelulose pode ser obtida pela diferença da massa inicial da amostra livre de extrativos, subtraído o valor de lignina.

3.4. CARBONIZAÇÃO DA MADEIRA

A carbonização foi realizada em forno elétrico, a uma temperatura máxima de $450 \pm 10^\circ\text{C}$ durante 2,5 horas (duas horas e trinta minutos). As amostras utilizadas para a determinação da densidade básica e da contração foram carbonizadas, utilizando para isso, tubos de aço numerados, de 5,0 cm de diâmetro e 14,0 cm de comprimento onde foram inseridas as amostras de madeira em uma seqüência que facilitasse a identificação da amostra após carbonização, conforme a figura 3.1:



A



B



C



D

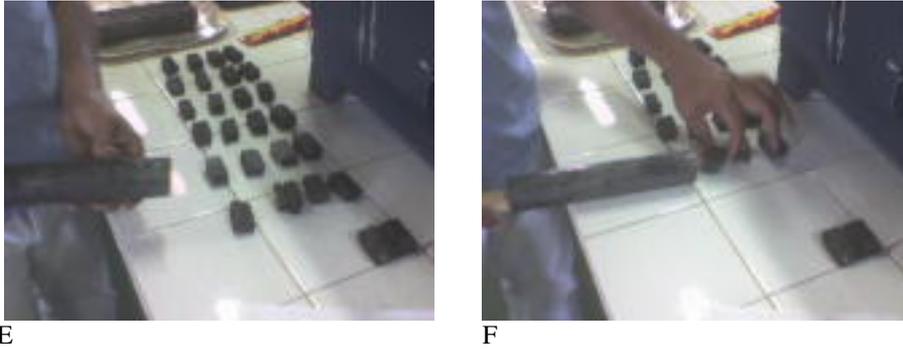


Figura 3.1.: Seqüência de etapas de carbonização dos blocos (A: cilindros metálicos contendo as amostras em seqüência preestabelecida sendo colocados no cadinho; B: cadinho metálico com os cilindros; C e D: após resfriados, os cilindros foram retirados e organizados de acordo com a seqüência prévia; E e F: as amostras foram dispostas de acordo com a seqüência para serem submetidas às análises).

3.4.1. Qualidade do carvão vegetal

3.4.1.1. Rendimento gravimétrico do carvão vegetal

O rendimento gravimétrico do carvão foi determinado de acordo com a seguinte equação:

$$Rg = \frac{MC_{0\%}}{MM_{0\%}} 100\% \quad (\text{Equação 3.1})$$

Onde:

Rg = rendimento gravimétrico (%);

MC_{0%} = massa de carvão a 0% de umidade (g);

MM_{0%} = massa de madeira a 0% de umidade (g).

3.4.1.2. Densidade aparente do carvão vegetal

A densidade aparente do carvão vegetal foi obtida pela relação entre a massa e o volume de cada corpo de prova utilizando a expressão:

$$Da = \frac{M_c}{V_c} \quad (\text{Equação 3.2})$$

Onde:

Da = densidade aparente do carvão vegetal (g/cm³)

M_C = massa do carvão vegetal seco(g)

V_C = volume do carvão vegetal seco (cm^3)

3.5. NORMAS UTILIZADAS

A Tabela 3.2 apresenta as normas das análises realizadas.

TABELA 3.2 – Análises e respectivas normas utilizadas.

ANÁLISE	NORMA
Amostragem e preparação da madeira para análise	TAPPI 257
Preparação da madeira para análise (umidade)	TAPPI 264 om-88
Lignina	Análise somativa (LAP 003 e 004)
Extrativos	TAPPI T 204 om 88
Holocelulose	Determinação por diferença
Densidade básica e contração	ABNT NBR 6320 (MB26)
Rendimento gravimétrico do carvão vegetal	Vide equação 3.1
Densidade aparente do carvão vegetal	Vide equação 3.2

A determinação da densidade básica e da contração e ainda a produção e análise do carvão foram realizadas no Laboratório de Propriedades Energéticas da madeira, na FAL (Fazenda Água Limpa) e a composição química foi obtida no LPF (Laboratório de Produtos Florestais - Serviço Florestal Brasileiro, Brasília-DF)

3.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foram realizadas as análises de variância, regressão e de correlação entre as variáveis, no nível de significância de 1 e 5%.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 4.1 apresenta os valores de “F” para as variáveis estudadas e a Tabela 4.2 as médias das variáveis para as cinco espécies. A análise de variância mostrou haver diferença significativa 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 (Da). As médias de teor de extrativos (TE) e rendimento gravimétrico (RG) foram iguais estatisticamente ao mesmo nível de significância. A tabela 4.1 indica os valores de “F” para as variáveis estudadas, e a tabela 4.2 indica as médias das variáveis obtidas para as cinco espécies estudadas.

Tabela 4.1 – Valores de “F” para as variáveis estudadas

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							

* Significativo a 5% de probabilidade

Tabela 4.2. Médias das variáveis obtidas para as cinco espécies estudadas.

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

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade (Db= densidade básica; RV= retração volumétrica; TL= teor de lignina; TE= teor de extrativos; TH= teor de holocelulose; RG= rendimento gravimétrico do carvão vegetal; Da= densidade aparente do carvão vegetal).

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. O primeiro grupo foi formado com espécies de madeiras duras, ou seja, com densidade básica acima de 0,70 g/cm³ e que apresentaram os maiores teores de lignina e as maiores densidades aparentes do carvão vegetal: *Pterodon pubescens*, *Dalbergia miscolobium* e *Sclerolobium paniculatum*, enquanto o segundo grupo foi formado pelas espécies com madeiras medianamente macias, ou seja, com densidade básica entre 0,5 e 0,75 g/cm³ e com os menores teores de lignina, bem como menores densidades aparentes do carvão: *Vochysia thirsoidea* e *Styphnodendron adstringens*.

VALE (2000) trabalhou com espécies da mesma área e diâmetros semelhantes, coletadas em 1998, portanto, mais novas que as amostras coletadas para este trabalho e encontrou os seguintes valores de densidade básica (g/cm³): *Pterodon pubescens*: 0,73; *Dalbergia miscolobium*: 0,77; *Sclerolobium paniculatum*: 0,72; *Vochysia thirsoidea*: 0,49 e *Styphnodendron adstringens*: 0,55. As maiores densidades encontradas no presente trabalho podem ser explicadas pela maior idade das espécies em relação ao trabalho citado.

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 thirsoidea* com a segunda maior retração, apesar de possuir a menor densidade básica; e um terceiro grupo representado pelas espécies: *Dalbergia miscolobium*; *Sclerolobium paniculatum* e *Styphnodendron adstringens*, uma das menores densidades e menores retrações volumétricas.

Como há uma relação inversa entre lignina e holocelulose, era de se esperar o comportamento do teor de holocelulose, que se dividiu em dois grupos, mas ao contrário do comportamento da lignina, o primeiro grupo que corresponde àquelas espécies de maior densidade básica apresentou os menores teores de holocelulose: *Pterodon pubescens*, *Dalbergia miscolobium*, *Sclerolobium paniculatum* e um segundo grupo com os menores valores de densidade básica e de holocelulose: *Vochysia thirsoidea* e *Styphnodendron adstringens*.

VALE et al (1996) encontrou para *Dalbergia miscolobium* e *Sclerolobium paniculatum* 35,49% e 36,80% de rendimento gravimétrico em carvão vegetal, respectivamente, valores estes superiores aos obtidos no presente trabalho para as mesmas espécies (25,82 e 27,87% respectivamente). Estas diferenças podem ser explicadas pela metodologia aplicada: enquanto VALE et al (1996) procederam à carbonização em 210 minutos, neste trabalho foram 150 minutos (2,5 horas), ambos a $450 \pm 10^{\circ}\text{C}$. Se for considerada a taxa de aquecimento para ambos os estudos, VALE et al (1996) trabalharam a $2,14^{\circ}\text{C}/\text{min}$, e neste estudo a taxa de aquecimento foi de $3,0^{\circ}\text{C}/\text{min}$, o que justifica a diferença nos rendimentos gravimétricos em carvão vegetal, uma vez que quanto maior a taxa de aquecimento, menor o rendimento gravimétrico e maior o rendimento em gases. Em outro trabalho, VALE et al (2001) obtiveram para *Stryphnodendron adstringens* e *Pterodon pubescens* rendimentos gravimétricos iguais a 39,42% e 33,55% respectivamente, cujas diferenças daqueles valores com os obtidos neste trabalho também se devem às mesmas diferenças de metodologia.

4.1. TEOR DE LIGNINA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA

A figura 4.1 mostra o gráfico da análise de regressão entre o teor de lignina e a densidade básica da madeira das cinco espécies lenhosas do cerrado.

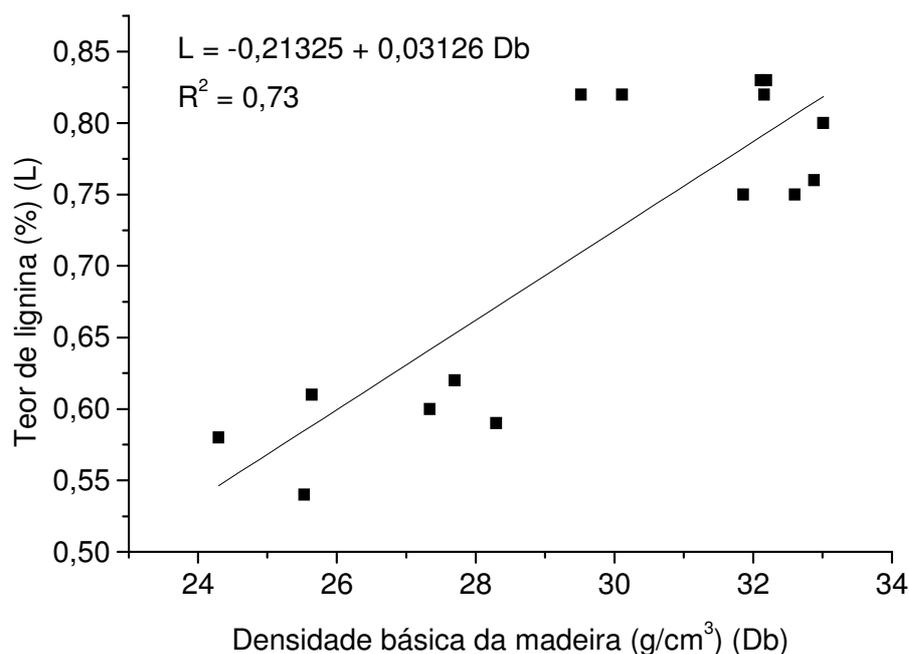


Figura 4.1 Teor de lignina em função da densidade básica da madeira de cinco espécies lenhosas de cerrado do Centro Oeste (R^2 = coeficiente de determinação).

Uma madeira possui maior ou menor densidade, fundamentalmente, devido a quatro fatores: tamanho da célula, espessura da parede celular, interação entre estes dois fatores e a presença de extrativos.

No presente estudo, a densidade básica das cinco espécies variou de $0,58\text{g/cm}^3$ a $0,82\text{g/cm}^3$, e este aumento 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 4.1. Em trabalho de PASTORE et al (1989), com espécies da Amazônia, observa-se resultados semelhantes.

Assim, é possível obter correlações negativas ou nem haver correlação entre o teor de lignina e a densidade básica. BRITO et al (1977) não encontrou correlação entre lignina e densidade básica da madeira de dez espécies de eucalipto, cujas idades variaram de seis a dez anos. Já TRUGILHO et al (1996) encontrou correlação negativa entre lignina e densidade básica ao estudar *Eucalyptus saligna*, o que foi explicado pelo possível fato de que as amostras estudadas serem jovens e o teor de lignina ainda não ter atingido a estabilidade.

4.2. TEOR DE LIGNINA EM FUNÇÃO DA RETRAÇÃO VOLUMÉTRICA

A figura 4.2 mostra o gráfico da análise de regressão entre o teor de lignina e a retração volumétrica das cinco espécies estudadas.

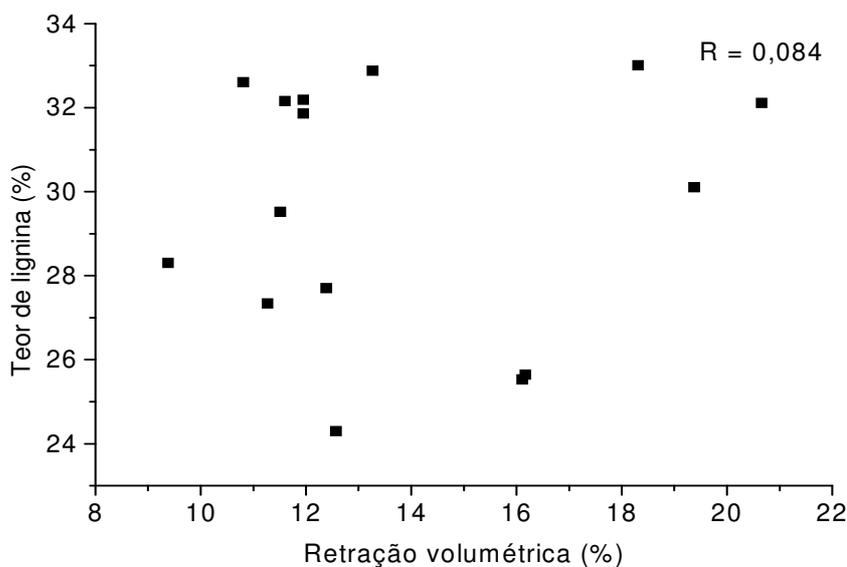


Figura 4.2 Teor de lignina em função da retração volumétrica de cinco espécies lenhosas do cerrado do Centro Oeste (R = coeficiente de correlação).

Para as cinco espécies estudadas verificou-se que o aumento do teor de lignina não influencia a retração volumétrica, o que pode ser observado pelo baixo valor do coeficiente de correlação, embora haja uma tendência de aumento da retração com o aumento do teor de lignina.

4.3 – TEOR DE EXTRATIVOS EM FUNÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA E DA RETRAÇÃO VOLUMÉTRICA

As figuras 4.3 e 4.4 mostram os gráficos de análise de regressão entre o teor de extrativos x a densidade básica e o teor de extrativos x a retração volumétrica, respectivamente.

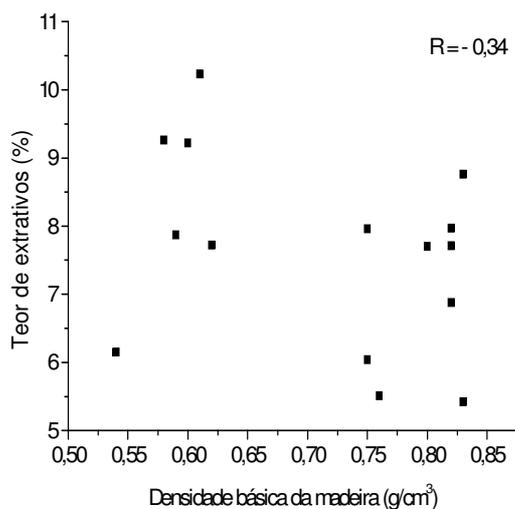


Fig. 4.3. Teor de extrativos em função da densidade básica da madeira de cinco espécies lenhosas de cerrado do Centro Oeste (R = coeficiente de correlação).

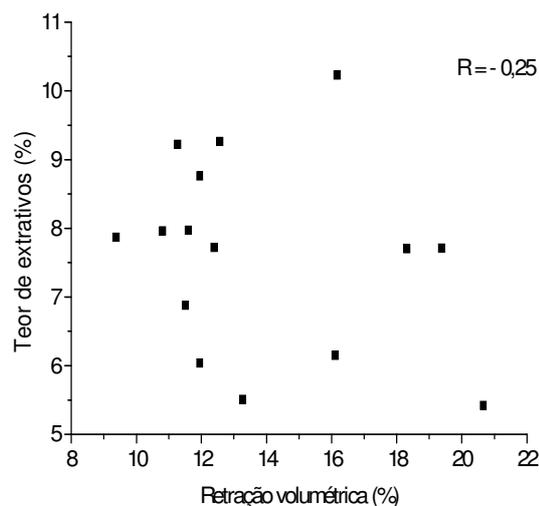


Fig. 4.4. Teor de extrativos em função da retração volumétrica da madeira de cinco espécies lenhosas de cerrado do Centro Oeste (R = coeficiente de correlação).

Para BOWYER et al (2003), quanto maior a densidade da madeira, maior a tendência à retração. Isto pode ser explicado pelo fato de que madeiras com maior densidade têm mais compostos que formam a parede celular, e, portanto, mais água de adesão. Entretanto, a presença de extrativos pode mascarar esta relação, que tende a diminuir o ponto de saturação das fibras. Madeiras com grandes quantidades de extrativos tendem a ser mais densas. A quantidade de extrativos em madeiras costuma variar em torno de 3 a mais de 30% do peso seco. Não foi o caso do presente trabalho, onde se observa que não ter havido relação de causa e efeito entre densidade básica e extrativos.

Para ambos os casos, os dados apresentaram-se muito dispersos, não havendo relação aparente entre o teor de extrativos e a retração volumétrica e entre o teor de extrativos e a densidade básica.

Para que seja possível estabelecer algum tipo de relação neste sentido, é preciso caracterizar todos os extrativos e quantificá-los, o que não foi o objetivo deste trabalho. Não obstante, sabe-se que a natureza e a quantidade dos teores de extrativos, relativos às substâncias químicas que os compõem, variam entre espécies.

4.4. TEOR DE HOLOCELULOSE EM FUNÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA E DA RETRAÇÃO VOLUMÉTRICA

As figuras 4.5 e 4.6 mostram os gráficos das análises de regressão para o teor de holocelulose x densidade básica e o teor de holocelulose x retração volumétrica, respectivamente.

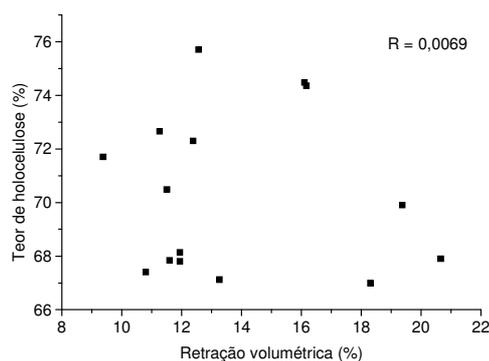
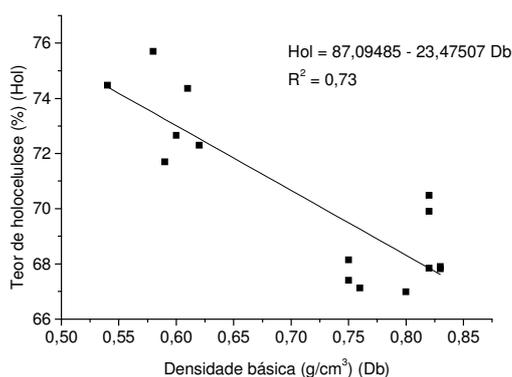


Fig. 4.5. Teor de holocelulose em função da densidade básica da madeira de cinco espécies lenhosas do cerrado do Centro Oeste (R = coeficiente de correlação).

Fig. 4.6. Teor de holocelulose em função da retração volumétrica de cinco espécies lenhosas de cerrado do Centro Oeste (R = coeficiente de correlação).

Quanto maior o teor de lignina, menor será o teor de holocelulose. Assim, tendo em vista a alta significância entre o teor de lignina e a densidade básica, é de se esperar a relação inversa para a holocelulose, ou seja, quanto menor a quantidade de holocelulose, maior a densidade básica, considerando os resultados deste trabalho. Neste caso, os dados apresentaram alta significância.

TRUGILHO (1996) encontrou correlação positiva e significativa entre a densidade básica de madeira de eucalipto e teor de holocelulose, sugerindo que madeiras mais densas possuam menores teores de lignina. Entretanto, no referido trabalho, as amostras foram coletadas de árvores com variação de 12 a 48 meses de idade, e os dados obtidos pelo autor (com madeira de eucalipto), indicam que um aumento da idade leva a um aumento da densidade e também da holocelulose, além da diminuição da lignina.

Entretanto, esta afirmação não se aplica para as espécies estudadas neste trabalho, tendo em vista que a densidade básica está relacionada à composição química da parede celular, e nas cinco espécies aqui estudadas, a lignina aparece em quantidade suficiente para influenciar no valor desta variável. Há que se considerar ainda que as amostras deste trabalho têm idade bem maior que aquelas, e ainda de acordo com TRUGILHO (1996), as características químicas da madeira estão sujeitas a grande variação na madeira juvenil, tendendo a valores mais estáveis na madeira adulta, assim como a densidade básica tende a diminuir sua taxa de incremento com a idade.

RIGATTO (2004), ao estudar *Pinus taeda*, utilizando cinco árvores (de idades aproximadamente iguais) por sítio, a partir de oito sítios com solos diferentes, concluiu 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, apresentaram menores valores de densidade básica, maiores teores de extrativos e lignina, assim como menores teores de holocelulose.

Assim como aconteceu para lignina não há relação significativa entre a holocelulose e a retração volumétrica.

4.5. TEOR DE LIGNINA EM FUNÇÃO DO RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO EM CARVÃO VEGETAL

A figura 4.7 mostra o gráfico da análise de regressão entre o teor de lignina e o rendimento gravimétrico.

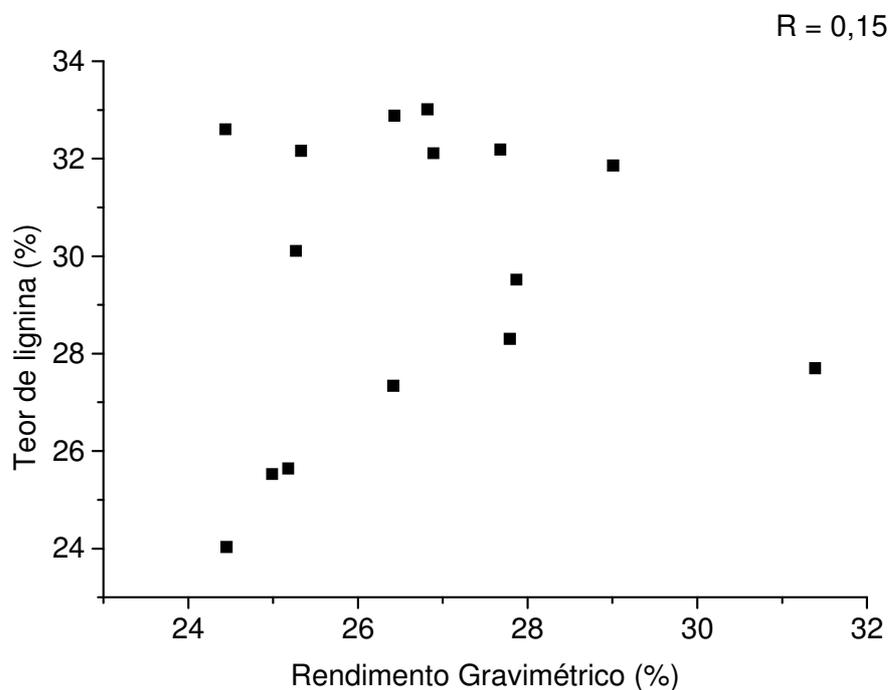


Figura 4. 7 Teor de lignina em função do rendimento gravimétrico de cinco espécies lenhosas de cerrado do Centro Oeste (R = coeficiente de correlação).

O baixo coeficiente de correlação de 0,15 mostrou uma fraca correlação entre o teor de lignina e o rendimento gravimétrico; não obstante, o gráfico sugere uma tendência de aumento do rendimento gravimétrico com o aumento do teor de lignina.

Segundo BRITO & BARRICHELO (1977) o rendimento gravimétrico é mais elevado para amostras com maiores teores de lignina, devido ao fato de que este componente fundamental da madeira é mais resistente à decomposição térmica, uma vez que sua estrutura é bastante complexa.

PASTORE et al (1989), trabalhando com 20 espécies nativas da Amazônia, encontrou correlação positiva e significativa entre o teor de lignina mais extrativos e rendimento em carvão vegetal. Ao analisar os dados do trabalho destes autores, verifica-se que há uma correlação positiva entre densidade da madeira e teor de lignina mais extrativos, sugerindo

que o aumento da densidade básica, quando associado ao aumento do teor de lignina, implica em maior rendimento em carvão.

Por outro lado BRITO & BARRICHELLO (1977), trabalhando com 10 espécies de eucaliptos, não encontraram correlação significativa entre teor de lignina e rendimento em carvão vegetal. A análise dos dados destes autores indica não haver correlação significativa entre o teor de lignina e densidade da madeira, corroborando os resultados de PASTORE et al (1989).

Portanto, pode-se concluir que ao carbonizar madeiras cujo aumento da densidade básica é acompanhado de um aumento do teor de lignina, haverá um aumento na produção de carvão vegetal. Se o aumento da densidade básica da madeira é acompanhado de um aumento do teor de holocelulose esta relação será inversa, uma vez que praticamente toda a holocelulose tem degradação térmica entre 200 e 350°C e o carvão vegetal é produzido a temperaturas acima de 400°C.

4.6. TEOR DE LIGNINA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE APARENTE DO CARVÃO VEGETAL

A figura 4.8 mostra o gráfico da análise de regressão entre o teor de lignina e a densidade aparente do carvão vegetal.

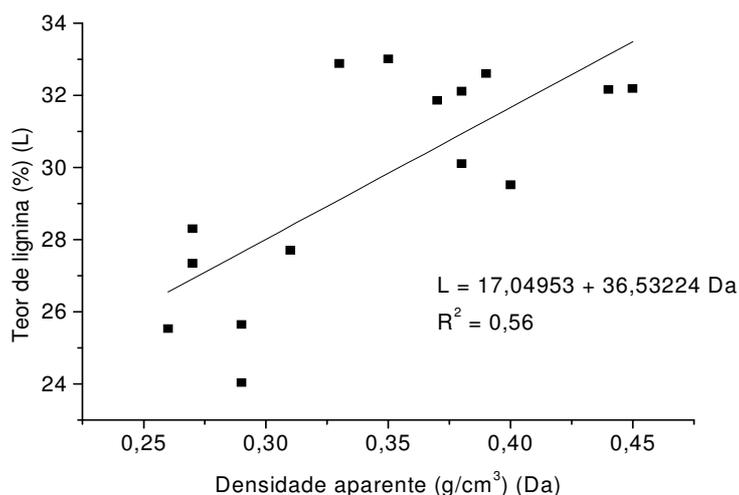


Figura 4.8 Teor de lignina em função da densidade aparente do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado do Centro Oeste (R^2 = coeficiente de determinação).

A equação de regressão da figura 4.8 mostra uma relação linear e significativa a 1% de probabilidade, com um coeficiente de determinação de 0,56, mostrando que 56% da variação do teor da densidade aparente do carvão vegetal é explicada pela variação nos teores de lignina.

Há uma relação direta entre a densidade aparente do carvão vegetal e a densidade básica da madeira (BRITO et al (1977) e PASTORE et al (1989)). Este fato, somado à relação direta entre teor de lignina e densidade básica da madeira, encontrado neste trabalho (apresentado na figura 4.1), explica a relação direta entre densidade aparente e teor de lignina.

4.7. TEOR DE EXTRATIVOS EM FUNÇÃO DO RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO E DENSIDADE APARENTE DO CARVÃO VEGETAL

As figuras 4.9 e 4.10 mostram os gráficos das análises de regressão para o teor de extrativos x rendimento gravimétrico em carvão vegetal e teor de extrativos x densidade aparente do carvão vegetal, respectivamente.

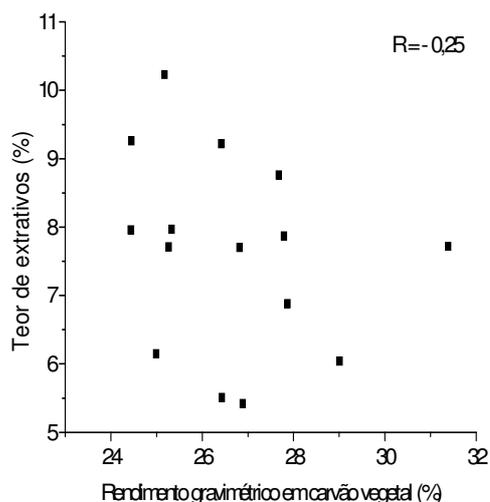


Fig. 4.9. teor de extrativos em função do rendimento gravimétrico em carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado do Centro Oeste (R é o coeficiente de correlação).

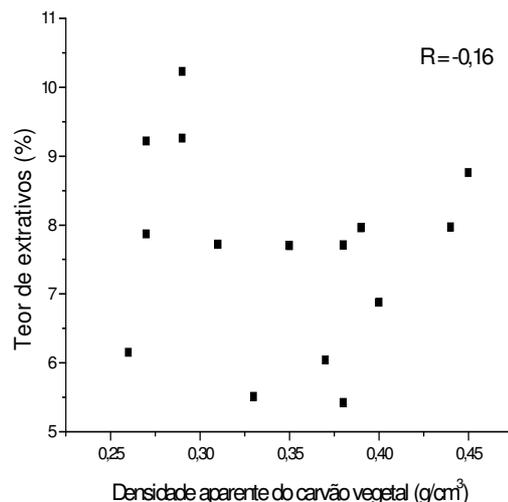


Fig. 4.10. teor de extrativos em função da densidade aparente em carvão vegetal de espécies lenhosas do cerrado do Centro Oeste (R é o coeficiente de correlação).

A Figura 4.9 mostra uma fraca correlação não significativa entre teor de extrativos e rendimento gravimétrico do carvão vegetal. BRITO & BARRICHELO (1977), encontraram uma correlação negativa entre o teor de extrativos e o rendimento gravimétrico do carvão vegetal, trabalhando com espécies de eucalipto.

Há que se considerar que, durante o processo de carbonização, os extrativos são rapidamente volatilizados, além do fato de apresentarem quantidades muito pequenas em comparação com os outros componentes químicos da madeira, o que pode explicar os resultados obtidos.

4.8. TEOR DE HOLOCELULOSE EM FUNÇÃO DO RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO E DA DENSIDADE APARENTE DO CARVÃO VEGETAL

As figuras 4.11 e 4.12 mostram os gráficos das análises de regressão entre o teor de holocelulose x rendimento gravimétrico em carvão vegetal e teor de holocelulose x densidade aparente do carvão vegetal, respectivamente.

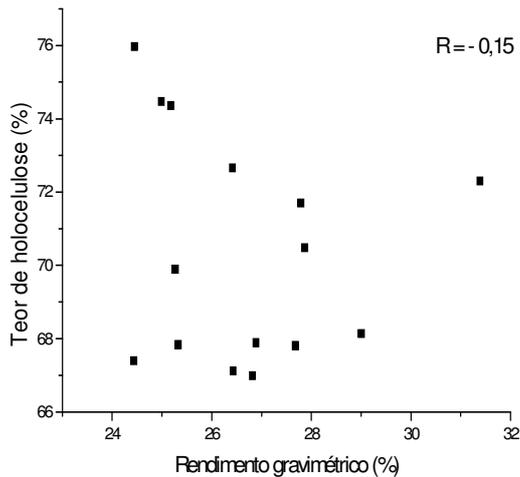


Fig. 4.11. Teor de holocelulose em função do rendimento gravimétrico de cinco espécies de cerrado do Centro Oeste (R = coeficiente de correlação).

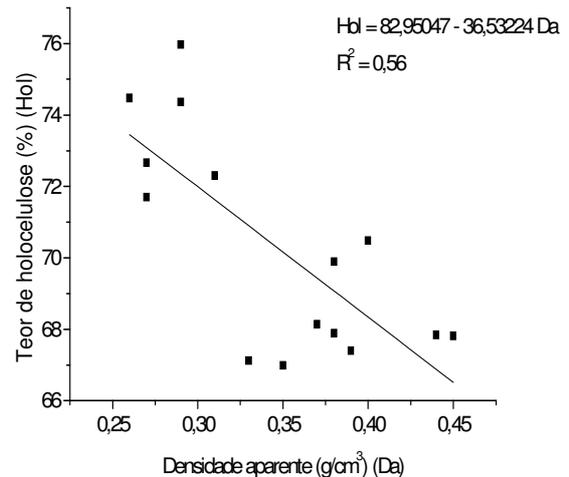


Fig. 4.12. Teor de holocelulose em função da densidade aparente do carvão vegetal de cinco espécies do cerrado do Centro Oeste (R^2 = coeficiente de determinação).

Para as cinco espécies estudadas não foi possível encontrar uma correlação significativa entre as variáveis. VITAL et al (1994) encontraram uma correlação negativa entre o teor de holocelulose e o rendimento gravimétrico do carvão ao estudar *Eucalyptus camaldulensis*.

Embora aparentemente não haja correlação, a partir do gráfico é possível identificar uma tendência de diminuição do teor de holocelulose em função do rendimento gravimétrico do carvão vegetal.

A relação entre o teor de holocelulose e a densidade aparente do carvão vegetal é inversamente proporcional, com a equação e seus coeficientes significativos ao nível de 1% de probabilidade.

Esta correlação negativa se deve ao fato de que, para as espécies estudadas, a densidade aparente do carvão vegetal é diretamente proporcional ao teor de lignina, o que nos permite afirmar que o aumento da densidade básica da madeira das cinco espécies se deve principalmente a uma maior quantidade do teor de lignina.

Em ambos os casos, esta tendência de correlação negativa deriva do fato de que durante o processo de carbonização, os 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.

5. CONCLUSÕES

Considerando os resultados obtidos, pode-se concluir que:

- Das cinco espécies lenhosas do cerrado que foi objeto deste estudo, *Dalbergia miscolobium* foi a que apresentou a maior densidade, enquanto que a *Vochysia thirsoidea* apresentou o menor valor;
- A densidade básica das cinco espécies variou de 0,58 a 0,82 g/cm³, e este aumento foi acompanhado de um aumento significativo do teor de lignina, cujos dados forneceram uma correlação positiva;
- O teor de lignina não apresentou correlação com a retração volumétrica;
- O teor de extrativos não apresentou correlação com a retração volumétrica, nem tampouco com a densidade básica;
- Foi observada uma correlação negativa entre o teor de holocelulose e a densidade básica;
- Embora os dados não indiquem uma correlação entre o teor de lignina e o rendimento gravimétrico, a correlação encontrada entre lignina e a densidade aparente do carvão vegetal foi significativa;
- Os resultados obtidos indicaram não haver correlação entre o teor de extrativos e o rendimento gravimétrico do carvão vegetal, nem tampouco entre o teor de extrativos e a densidade aparente do carvão vegetal;
- O teor de holocelulose não apresentou correlação com o rendimento gravimétrico, embora os resultados indiquem uma tendência de correlação negativa.

6. PERSPECTIVAS

Dando continuidade a este trabalho, pode-se fazer um estudo da composição dos extrativos totais, do teor de celulose e outros açúcares (caracterização da hemicelulose), além da possibilidade de ampliar o número de espécies estudadas.

APÊNDICES

APENDICE A

LIGNINA X DENSIDADE BÁSICA ANÁLISE ESTATÍSTICA DA FIGURA 4.1

Regressão linear
 $Y = A + BX$

Equação da reta:

$$L = -0,21325 + 0,03126Db \quad (\text{Eq. A.1})$$

Onde:

L = teor de lignina (%)

Db = densidade básica da madeira (g/cm^3)

R² = coeficiente de determinação (neste caso, 0,73)

Tabela A.1. Parâmetros da regressão (lignina x densidade básica)

<i>parâmetro</i>	<i>valor</i>	<i>erro</i>	<i>Teste t</i>	<i>Prob> t </i>
A	-0,21324	0,15557	-1,37069	0,19368
B	0,03126	0,00522	5,99307	<0,0001

A e B são os coeficientes da equação indicada no gráfico da figura 4.1 com suas respectivas significâncias.

R	R-quadrado	Adj. R-quadrado	Raiz MSE (SD)	N
0,85688	0,73424	0,7138	0,05877	15

Tabela D.2 – Análise de variância (ANOVA) da regressão

Item	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Significado	Teste F
Modelo	1	0,12407	0,12407	35,91691
Erro	13	0,04491	0,00345	
Total	14	0,16897		

APÊNDICE B

TEOR DE LIGNINA X DENSIDADE APARENTE DE CARVÃO VEGETAL - ANÁLISE ESTATÍSTICA DO GRÁFICO DA FIGURA 4.8

Regressão linear

$$Y = A + BX$$

Equação da reta:

$$L = 17,04953 - 36,53224D_a \quad (\text{Equação B.1})$$

Onde:

L = teor de lignina (%)

D_a = densidade aparente do carvão vegetal (g/cm³)

R² = coeficiente de determinação (neste caso, 0,56)

Tabela B.1. Parâmetros da regressão (lignina x densidade aparente do carvão vegetal)

<i>parâmetro</i>	<i>valor</i>	<i>erro</i>	<i>Teste t</i>	Prob> t
A	17,04953	3,17106	5,3766	1,26099E-4
B	36,53224	9,04665	4,03821	0,00141

A e B são os coeficientes da equação indicada no gráfico da figura 4.8 com suas respectivas significâncias.

R	R-quadrado	Adj. R-quadrado	Raiz MSE (SD)	N
0,74594	0,55642	0,5223	2,10562	15

Tabela B.2. Análise de variância (ANOVA) da regressão

Item	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Significado	Teste F
Modelo	1	72,29999	72,29999	16,30712
Erro	13	57,63739	4,43365	
Total	14	129,93737		

APÊNDICE C

TEOR DE HOLOCELULOSE X DENSIDADE APARENTE DO CARVÃO VEGETAL - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA FIGURA 4.12

Regressão linear

$$Y = A + BX$$

Equação da reta:

$$\text{Hol} = 82,95047 - 36,53224 \text{Da} \quad (\text{Equação C.1})$$

Onde:

Hol = teor de holocelulose (%)

Da = densidade aparente do carvão vegetal (g/cm^3)

R² = coeficiente de determinação (neste caso 0,56)

Tabela C.1. Parâmetros da regressão (teor de holocelulose x densidade aparente do carvão vegetal)

<i>parâmetro</i>	<i>valor</i>	<i>erro</i>	<i>Teste t</i>	Prob> t
A	82,95047	3,17106	26,15858	<0,0001
B	-36,53224	9,04665	-4,03821	0,00141

A e B são os coeficientes da equação indicada no gráfico da figura 4.7 com suas respectivas significâncias.

R	R-quadrado	Adj. R-quadrado	Raiz MSE (SD)	N
-0,74594	0,55642	0,5223	2,10562	15

Tabela C.2 – Análise de variância (ANOVA) da regressão

Item	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Significado	Teste F
Modelo	1	72,29999	72,29999	16,30712
Erro	13	57,63739	4,43365	
Total	14	129,93737		

APÊNDICE D

TEOR DE HOLOCELULOSE X DENSIDADE BÁSICA ANÁLISE ESTATÍSTICA DO GRÁFICO 4.5

Regressão linear

$$Y = A + BX$$

Equação da reta:

$$\text{Hol} = 87,09485 - 23,47507\text{Db} \quad (\text{Equação D.1})$$

Onde:

Hol = teor de holocelulose (%)

Db = densidade básica da madeira (g/cm^3)

R² = coeficiente de determinação (neste caso 0,73)

Tabela E.1. Parâmetros da regressão (holocelulose x densidade básica)

<i>parâmetro</i>	<i>valor</i>	<i>erro</i>	<i>Teste t</i>	Prob> t
A	87,09485	2,83361	30,73634	<0,0001
B	-23,47507	3,92193	-5,9856	<0,0001

A e B são os coeficientes da equação indicada no gráfico da figura 4.5 com suas respectivas significâncias.

R	R-quadrado	Adj. R-quadrado	Raiz MSE (SD)	N
-0,8566	0,73376	0,71328	1,61216	15

Tabela D.2. Análise de variância (ANOVA) da regressão

Item	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Significado	Teste F
Modelo	1	93,1176	93,1176	35,82735
Erro	13	33,78784	2,59906	
Total	14	126,90544		

APÊNDICE E

ANOVA – DENSIDADE BÁSICA

ANOVA – Db					
FV	GL	SQ	QM	F calculado	F tabelado
Trat.	4	0,16	0,039726667	39,46357616	3,4800
Res.	10	0,01	0,001006667	-	-
Total	14	0,17	-	-	-

F calc > Ftab: significativo a 5%

5 tratamentos e 3 repetições

Ftab = $5 \times 3 = 15 - 1 = 14$ graus de liberdade – $5t - 1 = 4$ graus de liberdade (tratamento)

Ftab para 4 graus de liberdade de tratamentos e 10 graus de liberdade de resíduo = 3,48

APÊNDICE F

ANOVA – RETRAÇÃO VOLUMÉTRICA

FV	GL	SQ	QM	F calculado	F tabelado
Trat.	4	146,81	36,70361	20,10518	3,4800
Res.	10	18,26	1,82558		
Total	14	165,07			

Fcalc > Ftab: significativo a 5%

Fcalc < Ftab: 5 tratamentos e 3 repetições

Ftab = $5 \times 3 = 15 - 1 = 14$ graus de liberdade total $5t - 1 = 4$ graus de liberdade (tratamento)

Ftab para 4 graus de liberdade de tratamento e 10 graus de liberdade de resíduo = 3,48

APÊNDICE G

ANOVA – TEOR DE LIGNINA

FV	GL	SQ	QM	F calculado	F tabelado
Trat.	4	114,92	28,73058333	23,86261	3,4800
Res.	10	12,04	1,204		
Total	14	126,96			

$F_{calc} > F_{tab}$: significativo a 5%

$F_{calc} < F_{tab}$: 5 tratamentos e 3 repetições

$F_{tab} = 5 \times 3 = 15 - 1 = 14$ graus de liberdade total $5t - 1 = 4$ graus de liberdade (tratamento)

F_{tab} para 4 graus de liberdade de tratamento e 10 graus de liberdade de resíduo = 3,48

APÊNDICE H

ANOVA – EXTRATIVOS

ANOVA extrativos					
FV	GL	SQ	QM	F calculado	F tabelado
Trat.	4	12,87	3,218633333	2,102555	3,4800
Res.	10	15,31	1,53082		
Total	14	28,18			

$F_{calc} > F_{tab}$: significativo a 5%

$F_{calc} < F_{tab}$: 5 tratamentos e 3 repetições

$F_{tab} = 5 \times 3 = 15 - 1 = 14$ graus de liberdade total $5t - 1 = 4$ graus de liberdade (tratamento)

F_{tab} para 4 graus de liberdade de tratamento e 10 graus de liberdade de resíduo = 3,48

APÊNDICE I

ANOVA – TEOR DE HOLOCELULOSE

FV	GL	SQ	QM	F calculado	F tabelado
Trat.	4	104,91	26,22801	25,1577973	3,4800
Res.	10	10,43	1,04254		
Total	14	115,34			

Fcalc > Ftab: significativo a 5%

Fcalc < Ftab: 5 tratamentos e 3 repetições

Ftab = $5 \times 3 = 15 - 1 = 14$ graus de liberdade total $5t - 1 = 4$ graus de liberdade (tratamento)

Ftab para 4 graus de liberdade de tratamento e 10 graus de liberdade de resíduo = 3,48

APÊNDICE J

ANOVA – RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO DO CARVÃO VEGETAL

FV	GL	SQ	QM	F calculado	F tabelado
Trat.	4	26,27	6,566923333	2,72592	3,4800
Res.	10	24,09	2,409066667		
Total	14	50,36			

Fcalc > Ftab: significativo a 5%

Fcalc < Ftab: 5 tratamentos e 3 repetições

Ftab = $5 \times 3 = 15 - 1 = 14$ graus de liberdade total $5t - 1 = 4$ graus de liberdade (tratamento)

Ftab para 4 graus de liberdade de tratamento e 10 graus de liberdade de resíduo = 3,48

APÊNDICE L

ANOVA – DENSIDADE APARENTE DO CARVÃO VEGETAL

FV	GL	SQ	QM	F calculado	F tabelado
Trat.	4	0,05	0,011843	17,41667	3,4800
Res.	10	0,01	0,00068		
Total	14	0,05			

$F_{calc} > F_{tab}$: significativo a 5%

$F_{calc} < F_{tab}$: 5 tratamentos e 3 repetições

$F_{tab} = 5 \times 3 = 15 - 1 = 14$ graus de liberdade total $5t - 1 = 4$ graus de liberdade (tratamento)

F_{tab} para 4 graus de liberdade de tratamento e 10 graus de liberdade de resíduo = 3,48

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, H. S.; OERTEL, A. C. *Estudo químico da lignina de Paullinia rubiginosa*. Revista Cerne, v. 5, n. 1, p. 52-60, 1999.
- ARAÚJO, L. V. C.; RODRIGUEZ, L. C. E.; PAES, J. B. *Características físico-químicas e energéticas da madeira de nim indiano*. Scientia Forestalis, n. 57, p. 153-159, junho de 2000.
- BOWYER, J. L.; SHMULSKY, R.; HAYGREEN, J. G. *Forest products and wood science. An Introduction*. Blackwell Publishing. New York, 2003.
- BRITO, J. O. *Carvão vegetal no Brasil: gestões econômicas e ambientais*. São Paulo Energia, nº64, maio-junho de 1990.
- BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. *Correlação entre as características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão: 1 densidade e teor de lignina na madeira de eucalipto*. IPEF, Piracicaba (14):9-20, 1977.
- BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. *Correlação entre as características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão: 2 densidade da madeira x densidade do carvão*. IPEF, n.20, p. 101 a 113, jun. 1980.
- BROWNING, B. L. *The Chemistry of Wood*. Interscience Publishers. New York, 1963.
- CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. *Carvão vegetal. Destilação. Carvoejamento. Propriedades. Controle de Qualidade*. Belo Horizonte, 1982.
- DIAS, H. C. T.; PINHEIRO, J. A. C.; VILAR, M.B.; COSTA, A. A.; RAMOS, J. G. A.; CAIAFA, K. F.; SOUZA, F. C. *Cuidados ambientais e a qualidade da madeira*. Revista da Madeira. N.99, ano 16, setembro de 2006.

- JÚNIOR, L. S.; GARCIA, J. N. *Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de Eucalyptus urophylla*. SCIENTIA FORESTALIS, n.65, p. 120-129, junho 2004.
- MARTINS, H. *Uso da madeira para fins energéticos*. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/ CETEC. Série Publicações Técnicas. Belo Horizonte, 1980.
- MATTOS, P. P.; PEREIRA, J. C. D.; SCHAITZA, E. G.; BAGGIO, A. J. *Caracterização física, química e anatômica da madeira de Terminalia ivorensis*. Embrapa Florestas, 1999. Circular Técnica, 31. Colombo, Paraná.
- MORAIS, S. A. L.; NASCIMENTO, E. A.; MELO, D. C. *Chemical analysis of Pinus oocarpa wood part I: quantification of macromolecular components and volatile extractives*. Revista Árvore, 2005, vol.29, n. 3.
- PASTORE, T. C. M., OKINO, E. Y. A.; PASTORE JÚNIOR, F. P. *Carbonização de madeiras da Amazônia*. Parte I: Floresta Nacional do Tapajós. Brasília: IBAMA, Laboratório de Produtos Florestais, 1989. Série Técnica, 12.
- PAULA, J. E. *Caracterização anatômica da madeira de espécies nativas do cerrado, visando sua utilização na produção de energia*. Revista Cerne, Lavras, v. 11, n. 1, p. 90-100, jan./mar. 2005
- PENEDO, W. R. *Uso da madeira para fins energéticos*. Belo Horizonte. Fundação CETEC, 1980.
- PEREIRA, J. C. D.; SCHAITZA, E. G., BAGGIO, A. J. *Propriedades físicas e químicas e rendimentos da destilação seca da madeira de grevillea robusta*. Embrapa Florestas. Circular Técnica 40. Colombo, 2000.
- PHILIPP, P; D'ALMEIDA, M.L. O. *Celulose e Papel. Volume I. Tecnologia de Fabricação da Pasta Celulósica*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – Centro Técnico em celulose e papel. São Paulo, 1988, Segunda edição.

- PILÓ - VELOSO, D. ,NASCIMENTO, E. A., MORAIS, S. A. L. *Isolamento e análise estrutural de ligninas*. Química Nova, 16(5), 1993.
- PILÓ-VELOSO, D.; NASCIMENTO, E. A.; MORAIS, S. A. L. *Isolamento e análise estrutural de ligninas*. Revista Química Nova, Sociedade Brasileira de Química, 16(5), 1993.
- 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 (online). 2004, vol. 28, n.2. pp.267-273.
- ROWELL, R. M.; PETTERSEN, R.; HAN, J.S.; ROWELL, J. S.; TSHABALALA, M. A. *Cell Wall Chemistry*. Capítulo 03 do livro *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. Editado por Roger M. Rowell. Editora Taylor & Francis Group. New York, 2005.
- SANTOS, C. P.; REIS, I. N.; MOREIRA, J. E. B.; BRASILEIRO, L. B. *Papel: como se fabrica?* Revista Química Nova na Escola, Sociedade Brasileira de Química, n.14, novembro de 2001.
- 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, v. 2 n. 1. 1996.
- VALE, A. T. *Caracterização da biomassa lenhosa de um cerrado sensu stricto da região de Brasília para uso energético*. Tese de doutorado. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Campos de Botucatu. São Paulo, 2000.
- VALE, A. T.; NOGUEIRA, M. *Carbonização de madeiras do cerrado e análise do carvão vegetal*. Revista Árvore, v. 25, n. 2, p. 271-276. Viçosa – MG, 2001.

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

VALE, A. T., BRASIL, M. A. M., LEÃO, A. L. *Quantificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do cerrado*. Publicado pela Revista *Ciência Florestal*, v. 12, n. 1 Santa Maria, RS (2002).

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*, v. 20, n.1, p.93-99. Viçosa, MG, 1996.

VITAL, B.R. *Métodos de determinação da densidade da madeira*. Viçosa: UFV, 1984. Sociedade de Investigações Florestais, 1.

VITAL et al. *Características de crescimento das árvores e de qualidade da madeira de *Eucalyptus camaldulensis* para a produção de carvão*. IPEF n.47, pág. 22-28, maio de 1994.

WENZL, H. F. J. *The Chemical Technology of Wood*.

SÍTIOS CONSULTADOS:

www.arvores.brasil.nom.br/florin/sucupi.htm

EMBRAPA: www.cerradosbrasil.cpac.embrapa.br. Site oficial da EMBRAPA – CERRADOS

www.tappi.org

http://www.remade.com.br/pt/revista_materia.php?edicao=59&id=26

Revista da Madeira, n.59 ano 11 setembro de 2001(sem autor).