

IPEF n.14, p.9-20, 1977

CORRELAÇÕES ENTRE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DA MADEIRA E A PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL: I. DENSIDADE E TEOR DE LIGNINA DA MADEIRA DE EUCALIPTO

José Otávio Brito*
Luiz Ernesto G. Barrichelo*

O. D. C. 812.3:867.5:176.1 Eucalyptus

SUMMARY

The objective of the present work was the study of the correlations among the wood basic density and the lignin content with the charcoal yield, as well with the fixed carbon contents, the volatile contents and the ash contents of the charcoal.

Several **Eucalyptus** species were tested trying to obtain a wide range of wood basic density and lignin content.

1. INTRODUÇÃO

A produção de carvão vegetal vem crescendo em importância e tende a ganhar um notável impulso nos próximos anos com o recente lançamento do Plano Siderúrgico Nacional, pelo Governo Federal.

As principais matérias-primas que estão sendo empregadas são madeiras de essências nativas, notadamente de cerrado, e diversas espécies do gênero **Eucalyptus**.

A utilização da madeira de eucalipto tem sido feita em função do "material disponível" ou de espécies já consagradas pelo uso ou pela tradição, mercê dos esforços dispendidos pelas empresas tradicionais na produção de carvão para a siderurgia. Todavia, a tecnologia atual carece ainda de informações cientificamente obtidas da perfeita adequação das espécies (com respectivas idades de corte, manejo, etc.) para o objetivo em apreço. Da mesma forma a literatura especializada se ressentida da falta de estudos procurando correlacionar as principais características da madeira, em uso ou potencialmente indicadas do ponto de vista florestal, com a produção e qualidade do carvão.

O presente trabalho teve como objetivo o estudo da influência da densidade básica da madeira e teor de lignina sobre o rendimento e qualidade do carvão sob o aspecto químico a partir de madeiras de **Eucalyptus** spp.

2. REVISAO BIBLIGRÁFICA

* Departamento de Silvicultura, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

Os trabalhos de pesquisa relativos à busca de parâmetros físicos e químicos da madeira que possam influenciar a produção de carvão são poucos, particularmente relacionando, densidade e teor de lignina.

Com relação à densidade é bem aceito o conceito de que madeira mais densa dá como resultado um carvão mais denso. Para um mesmo volume de madeira, normalmente fixo com a capacidade do forno, a obtenção de carvão mais denso resulta num maior rendimento volumétrico* de carbonização. Isto é evidenciado em trabalhos do FOREST PRODUCTS LABORATORY (1961) e DOAT & PETROFF (1975).

Com relação à composição química da madeira de acordo com OPARINA et alii (1971) a presença de um mais alto teor de substâncias de natureza aromática tais como, extrativos e lignina, dá como conseqüência um carvão com maior densidade e mais resistente em termos de propriedades físico-mecânicas. SATANOKA (1963) por sua vez afirma que madeiras com maior teor em lignina resultam em carvão com maior poder calorífico.

COLLET (1955) estudando uma série de madeiras demonstrou que a quantidade de carbono fixo, fornecida por unidade de madeira enfiada, é função da porcentagem de lignina da madeira. Afirma o autor ainda que o teor de celulose da madeira não tem relação definida com a quantidade de carbono fixo obtida.

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1. Material

O material utilizado constituiu-se de madeira de 10 espécies de eucalipto conforme mostradas no quadro I.

Quadro I. Espécies de eucalipto.

ESPÉCIE	IDADE
<i>E. camaldulensis</i>	7 anos
<i>E. grandis</i>	11 anos
<i>E. saligna</i>	11 anos
<i>E. tereticornis</i>	8 anos
<i>E. urophylla</i> (Rio Claro)	11 anos
<i>E. paniculata</i>	6 anos
<i>E. propínqua</i>	11 anos
<i>E. citriodora</i>	8 anos
<i>E. robusta</i>	12 anos
<i>E. urophylla</i> (Timor)	6 anos

3.2. Método

3.2.1. Amostragem

Para cada espécie foi escolhida uma árvore e dela retirado um disco de 5 cm de espessura, ao nível do DAP. Cada disco foi subdividido em 3 amostras sendo utilizada uma

* Rendimento Volumétrico = [(Peso absolutamente seco de carvão/Volume de madeira) x 100]

para determinação da densidade básica, uma para determinação do teor de lignina e uma para carbonização da madeira e análise do carvão.

3.2.2. Determinação da densidade básica

Para esta determinação foi utilizado o método do máximo teor de umidade segundo a norma ABCP* - M 14/70.

3.2.3. Determinação do teor de lignina

A determinação química quantitativa do teor de lignina foi realizada em duplicata para cada amostra, e o resultado médio foi expresso em porcentagem sobre o peso da madeira absolutamente seca. O método utilizado na determinação seguiu a norma ABCP - M 10/71.

3.2.4. Carbonização

A carbonização de cada amostra foi realizada em triplicata utilizando-se mufla com aquecimento elétrico, e em atmosfera de Nitrogênio. A temperatura máxima atingida foi de 500°C com um ciclo total de carbonização de 2,5 horas.

O rendimento de carbonização calculado foi o rendimento gravimétrico**.

3.2.5. Análise do Carvão

Nas análises realizadas em duplicata para cada amostra de carvão foram utilizadas normas preconizadas pelo U. S. FOREST PRODUCTS LABORATORY (1961). Foram determinados o teor de carbono fixo, o teor de substâncias voláteis e o teor de cinzas.

4. RESULTADOS

Os resultados médios das determinações de densidade básica e teor de lignina das madeiras são mostrados no Quadro II.

Quadro II. Resultados médios das densidades básicas e lignina das madeiras

ESPÉCIE	Densidade Básica (g/cm ³)	Teor de Lignina (%)
<i>E. camaldulensis</i>	0,56	28,1
<i>E. grandis</i>	0,62	26,7
<i>E. saligna</i>	0,66	26,5
<i>E. tereticornis</i>	0,68	27,3
<i>E. urophylla</i> (Rio Claro)	0,75	29,8
<i>E. paniculata</i>	0,77	21,3
<i>E. propinqua</i>	0,75	31,2
<i>E. citriodora</i>	0,71	21,1
<i>E. robusta</i>	0,62	26,5
<i>E. urophylla</i> (Timor)	0,51	23,6

* ABCP - Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel

** Rendimento gravimétrico = [(Peso absolutamente seco de carvão/Peso absolutamente seco de madeira) x 100]

Os resultados médios dos rendimentos em carvão e das análises do carvão são mostrados no Quadro III.

Quadro III. Resultados dos rendimentos em carvão e das análises do carvão

Espécie	Rendimento em carvão* (%)	Teor de carbono fixo (%)	Teor de voláteis (%)	Teor de cinzas (%)
<i>E. camaldulensis</i>	30,7	76,0	23,9	0,2
<i>E. grandis</i>	31,3	77,0	22,5	0,4
<i>E. saligna</i>	29,3	74,3	25,2	0,5
<i>E. tereticornis</i>	28,7	76,4	23,1	0,5
<i>E. urophylla</i> (Rio Claro)	30,7	77,8	22,0	0,3
<i>E. paniculata</i>	26,5	74,0	25,5	0,6
<i>E. propínqua</i>	30,8	78,2	21,6	0,3
<i>E. citriodora</i>	25,9	73,5	25,4	1,0
<i>E. robusta</i>	27,8	74,0	25,6	0,5
<i>E. urophylla</i> (Timor)	26,2	75,0	24,3	0,7

$$* \text{Rendimento gravimétrico} = \frac{\text{Peso absolutamente seco de carvão}}{\text{Peso absolutamente seco de madeira}} \times 100$$

De posse desses valores foram realizadas análises de variância utilizando regressão linear simples cujos resultados são mostrados no Quadro IV.

Quadro IV. Resultados da análise de variância utilizando regressão linear simples (modelo $y = a + bx$).

Correlação	Coef. De Correlação (R)	Teste de Significância (t)	Coef. De Equação		Variância (F)
			a	b	
C.F. = f(R)	0,779516	3,51 **	58,24	0,60682	12,389 **
V = f(R)	-0,757253	3,28 *	39,89	-0,55497	10,754 *
C = f(R)	-0,819174	4,04 **	3,13	-0,09129	16,319 **
L = f(Db)	0,004310	0,18 n.s.	24,52	2,54004	0,034 n.s.
R = f(Db)	0,056424	0,15 n.s.	27,88	1,36656	0,025 n.s.
C.F. = f(Db)	0,254598	0,74 n.s.	72,53	4,80018	0,554 n.s.
V = f(Db)	-0,181554	0,52 n.s.	26,04	-3,22256	0,273 n.s.
C = f(Db)	0,043475	0,12 n.s.	0,42	0,11734	0,015 n.s.
R = f(L)	0,866821	4,92 **	14,56	0,54267	24,177 **
C.F. = f(L)	0,781424	3,54 **	65,73	0,38083	12,545 **
V = f(L)	-0,774925	3,47 **	33,23	-0,35555	12,025 **
C = f(L)	-0,840859	4,39 **	2,04	-0,05866	19,308 **

CF = Teor de carbono fixo;

V = Teor de substâncias voláteis;

C = Teor de cinzas;

L = Teor de lignina;

R = Rendimento gravimétrico;

Db = Densidade básica da madeira;

n.s. = Não significativo;

* = significativo ao nível de 5%

** = significativo ao nível de 1%

Para uma melhor visualização dos resultados foram elaborados gráficos nos quais foram locados os valores obtidos bem como as respectivas curvas de correlação quando as mesmas se mostraram significativas. Esses gráficos são mostrados a seguir.

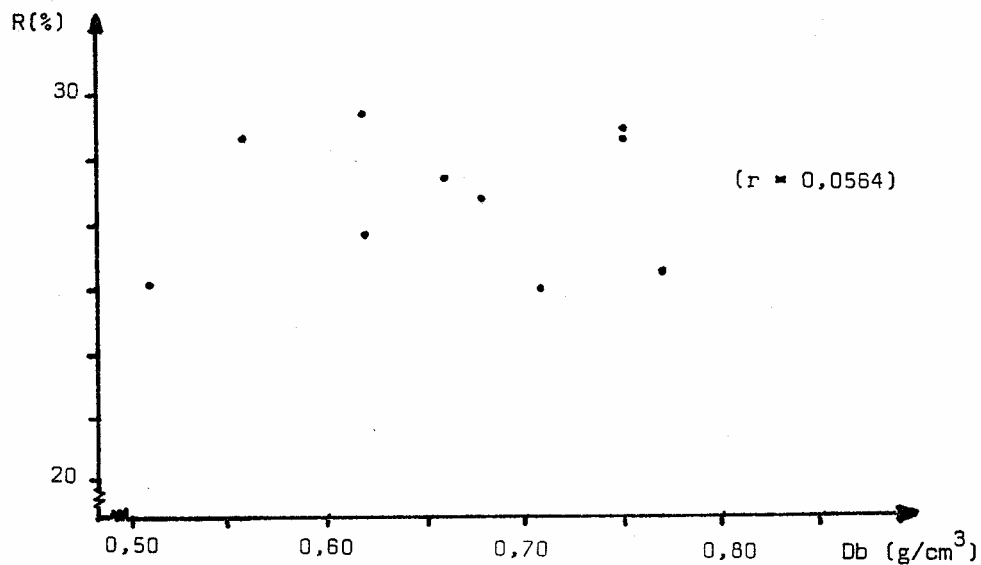


Gráfico I. Rendimento gravimétrico em carvão x densidade básica da madeira.

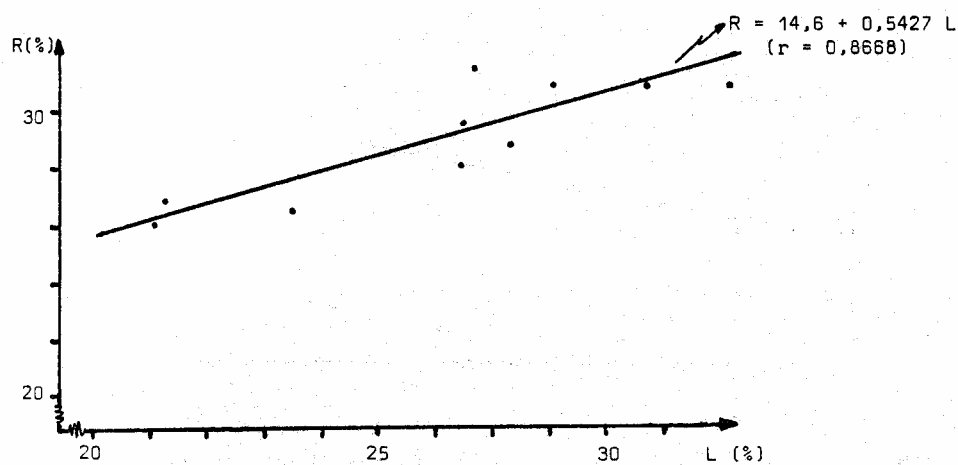


Gráfico II. Rendimento gravimétrico em carvão x teor de lignina

R - rendimento gravimétrico em carvão;
Db - densidade básica da madeira;

L - teor da lignina da madeira

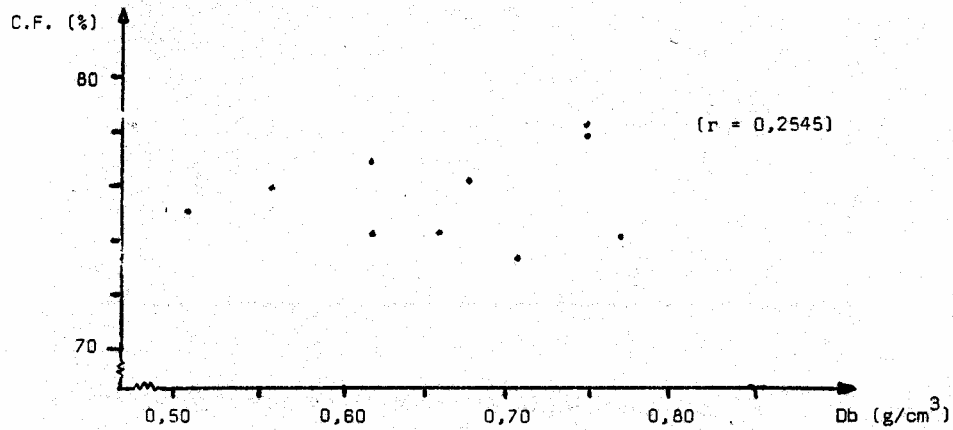


Gráfico III. Teor de carbono fixo do carvão x densidade básica da madeira.

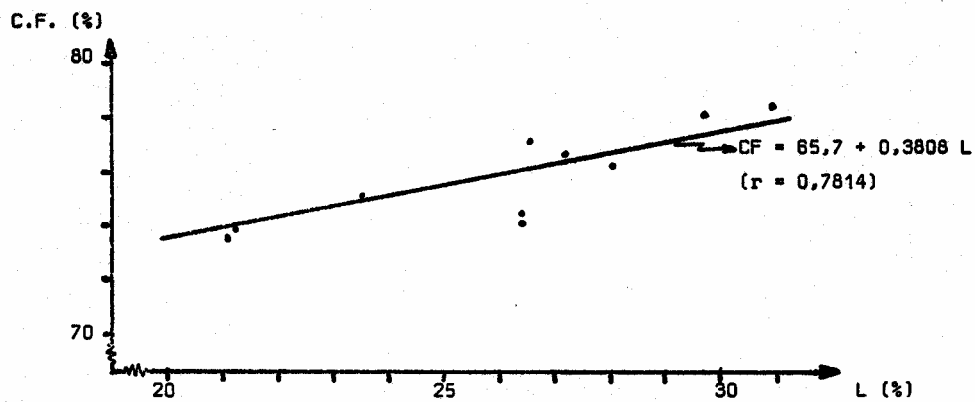


Gráfico IV. Teor de carbono fixo do carvão x teor de lignina da madeira

C.F. = teor de carbono fixo do carvão;

Db = densidade básica da madeira;

L = teor de lignina da madeira.

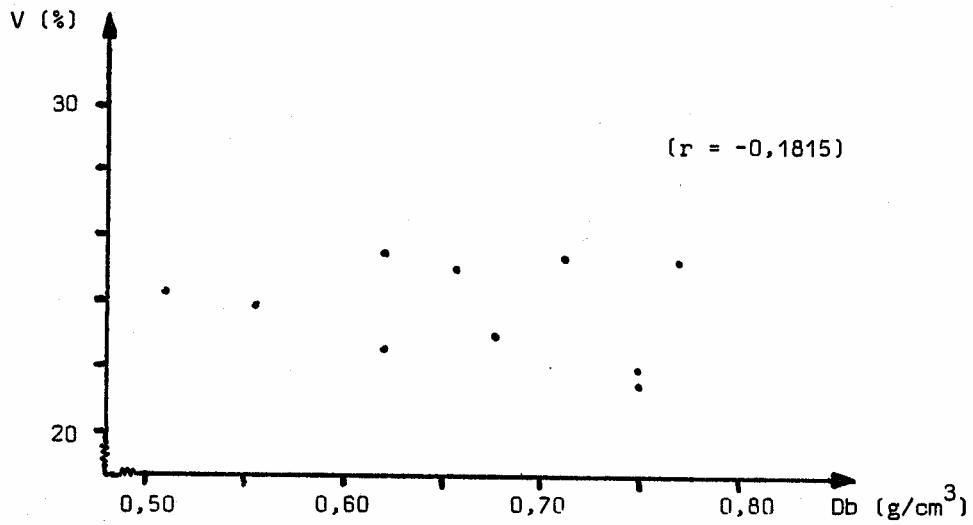


Gráfico V. Teor de substâncias voláteis do carvão x densidade básica da madeira.

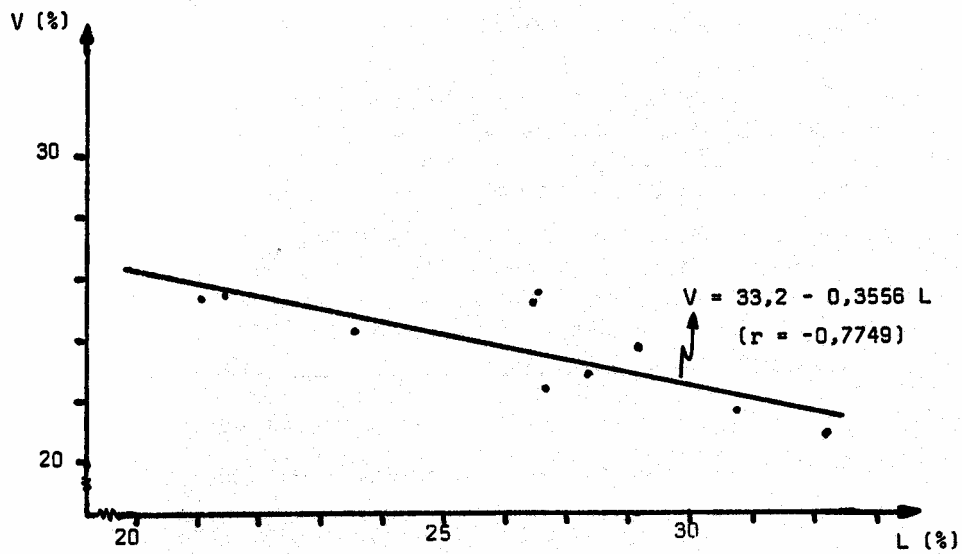


Gráfico VI. Teor de substâncias voláteis do carvão x teor de lignina da madeira.

V - teor de substâncias voláteis no carvão;

Db - densidade básica da madeira;

L - teor de lignina da madeira

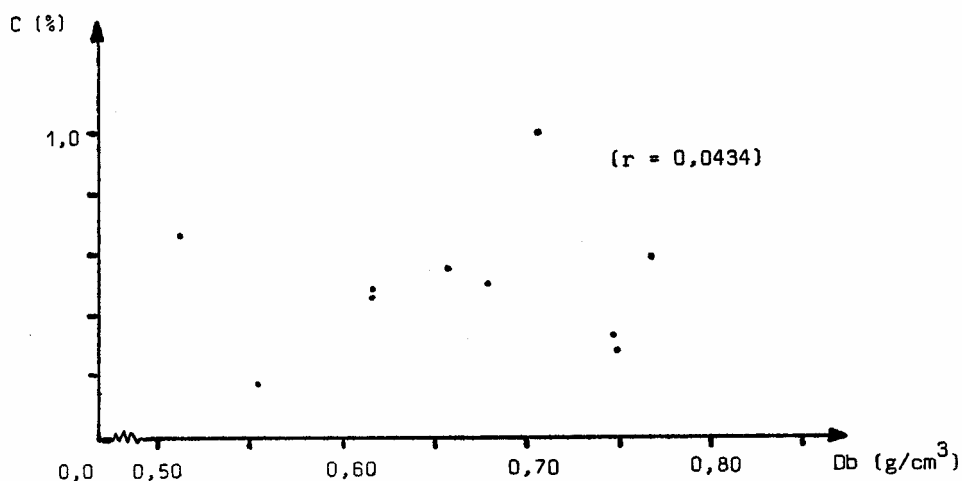


Gráfico VII. Teor de cinzas no carvão x densidade básica da madeira.

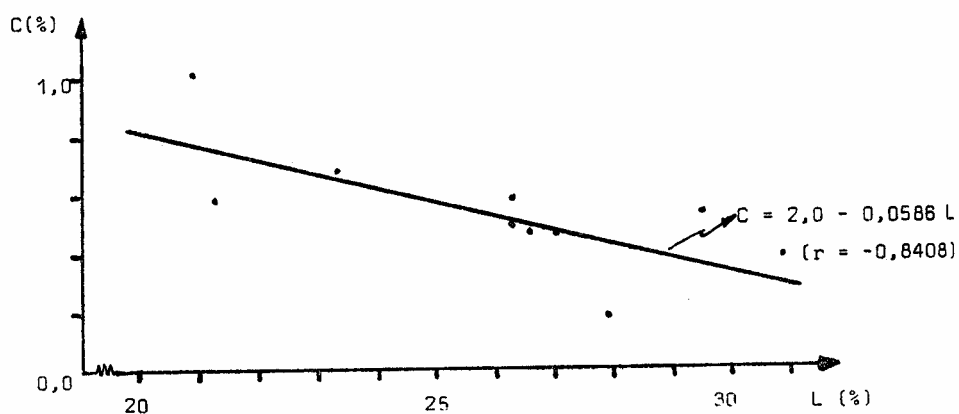


Gráfico VIII. Teor de cinzas no carvão x teor de lignina na madeira.

- C - teor de cinzas no carvão;
- Db - densidade básica da madeira;
- L - teor de lignina na madeira.

5. DISCUSSAO DOS RESULTADOS E CONCLUSOES

De acordo com os resultados obtidos pode-se observar que houve uma correlação positiva e altamente significativa entre o rendimento gravimétrico e o teor de carbono fixo. A literatura registra uma variação inversamente proporcional entre estes parâmetros, porém, quando a variável em estudo é a temperatura, ou seja, a elevação da temperatura de carbonização tende a diminuir o rendimento e aumentar a percentagem de carbono fixo (ELIAS - 1961). No presente caso, a correlação se mostrou positiva porque foram empregados idênticos esquemas de carbonização para as dez espécies ensaiadas.

Como era de se esperar, o contrário foi observado com os teores de voláteis e cinzas que apresentaram correlações negativas com o rendimento.

Com relação à densidade básica pode-se observar que a mesma não apresentou correlação alguma com o rendimento gravimétrico, carbono fixo, voláteis e cinzas. É de se esperar que exista uma correlação positiva com a densidade da madeira quando o rendimento e carvão for expresso em termos volumétricos como estéreos de madeira/metros cúbicos de carvão (admitindo-se um perfeito controle do ciclo de carbonização). Isto porque quanto maior for a densidade da madeira, obviamente, maior será a quantidade de matéria-seca por unidade de volume.

As correlações mais significativas se mostraram entre os parâmetros analisados e o teor de lignina na madeira, ou seja, correlações positivas com rendimento e com teor de carbono fixo e, conseqüentemente, negativas com teores de voláteis e com teores de cinzas.

O rendimento mais elevado encontrado para as amostras com maiores teores de lignina se explica pelo fato deste componente fundamental da madeira ser mais resistente a decomposição térmica quando comparado à celulose e hemiceluloses, devido sua estrutura complexa. Da mesma forma, os maiores teores de carbono fixo nos carvões produzidos a partir das madeiras mais lignificadas são decorrência do fato da lignina possuir cerca de 65% de carbono elementar (C) em sua composição contra 45% de C que ocorre normalmente nos polissacarídeos citados.

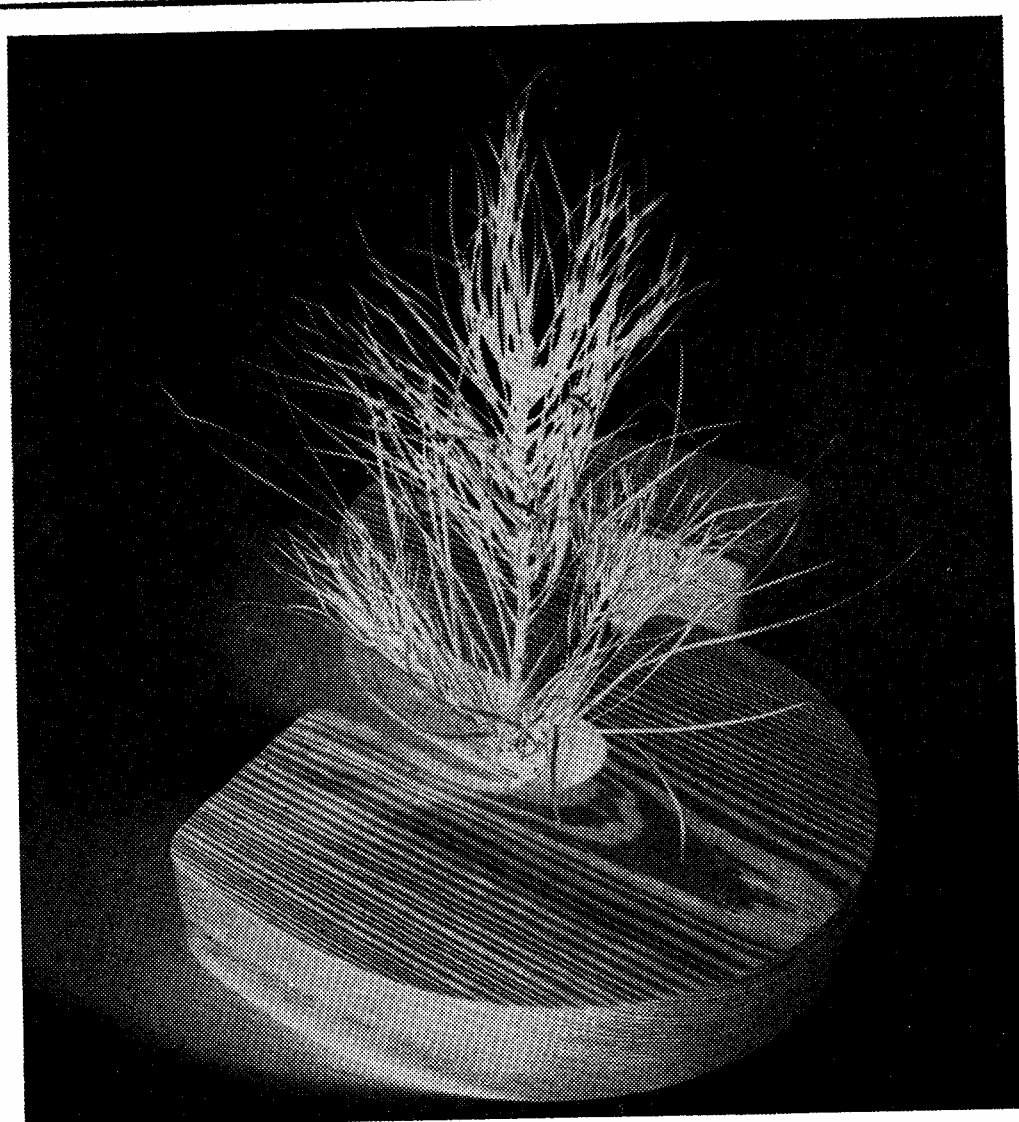
Finalmente não foi observada a existência de correlação entre os teores de lignina das madeiras e suas densidades básicas. Como se procurou, propositadamente testar diferentes espécies em diferentes idades, para se ter uma grande amplitude de variação para densidade básica e teor de lignina, provavelmente as características anatômicas podem ter mascarado uma possível correlação entre elas.

De acordo com todos esses resultados pode-se dizer que na escolha de madeiras para obtenção de carvão com melhores propriedades químicas (maiores teores em carbono fixo e menores teores em substâncias voláteis e cinzas), devem-se procurar aquelas que possuam altos teores de lignina. Com relação ao aumento do rendimento volumétrico em carvão, as madeiras devem possuir além de um mais alto teor de lignina, uma mais alta densidade básica para aumentar a quantidade de matéria seca colocada no forno de carbonização.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COLLET, F - 1955 - Estudo comparativo, em escala de laboratório, de diversas madeiras utilizadas na fabricação de carvão vegetal - **Boletim da Associação Brasileira de Metais**, **42** (12): 5-14.
- DOAT, J & PETROFF, O. - 1975 - Carbonization of tropical woods. Experimental tests and industrial perspectives. **Bois Forêts des Trop.** (159): 55-72 jan/fev. From: - ABIPC.
- ELIAS, C.A. - 1961 - **Fabricação de Carvão Vegetal**. Serviço de Informação Agrícola - Ministério da Agricultura. 43 p.
- FOREST PRODUCTS LABORATORY - 1961 - Charcoal, Production Marketing and Use - U.S. Department of Agriculture - Forest Service - 137p.
- OPARINA, L. V. et alii - 1971 - **Sb. Tr. VNII GIDROLIZA Rast Mater** **19**: 176-86. From: - ABIPC

SATANOKAS, S. - 1963 - **Hokkaido Daigaku, enshurin Hokoku**, **22**(2): 609-814. From:
C.A.



SEIVA S.A.

UMA FLORESTA COM RAÍZES DE AÇO.

AV. FARRAPOS, 1811 - FONES: 22.4777 e 22.4677 - PORTO ALEGRE - RS

mercur

Quando pensar em papel pense "Suzano-Feffer."

Naturalmente! É o que fazem 77% de todos os consumidores de papéis e cartões! E por que? Suzano-Feffer produz a mais completa linha de cartões e papéis do mercado.

Para escrever, para impressão de revistas e livros, cartazes, folhetos, displays, catálogos, calendários, formulários contínuos, impressos comerciais, pastas, fichas, embalagens de cartão e cartolina para produtos de consumo, para variados usos industriais... e outros mais que você "bolar".

Além da atenção pessoal às necessidades dos consumidores, 4 fábricas ajudam a tornar tudo isso possível. Inclui-se neste equipamento a maior e mais avançada máquina para cartões e cartolinas do país.

Por isso, pensar em papel é pensar "Suzano-Feffer." Naturalmente!



NOSSAS ARVORES PARTICIPAM DO PROGRESSO DO BRASIL



Champion Papel e Celulose S.A.

Sede e Fábrica:

Rodovia Campinas-Aguas da Prata, km. 60
13.840 — Mogi Guaçu - S.P. - Caixa Postal, 10
Telefone 6-0300 Telex n.º 019-1016

Escritório:

Rua Líbero Badaró, 377 — 8.º andar
01009 — São Paulo — S.P.
Telefone 37-9161 Telex n.º 011-21098

**EXISTEM CHAPAS DURAS
MAIS FORTES E MENOS FORTES.**



DURATEX
 **É MAIS.**