

Relação entre características da madeira da polpa celulósica de *Eucalyptus* com métodos não destrutivos na árvore vivaRelationship among wood characteristics and *Eucalyptus* cellulose pulp with the non destructive methods in the living treeAdriana de Fátima Gomes Gouvêa<sup>1</sup>, Paulo Fernando Trugilho<sup>2</sup>, Jorge Luiz Colodette<sup>3</sup>, Maria Lucia Bianchi<sup>4</sup>, Livia de Carvalho Soragi<sup>5</sup> e Adalberto Caldas Oliveira<sup>5</sup>

---

**Resumo**

A avaliação das características tecnológicas da madeira requer a medição de uma grande quantidade de amostras para obter resultado preciso, o que tem induzido à busca por novas metodologias e equipamentos que agilizem esse trabalho e reduzam os custos operacionais, se possível, ainda em condição de campo. O objetivo do presente trabalho foi verificar a relação existente entre algumas características químicas e físicas da madeira e da polpa celulósica, obtidas por meio de análises laboratoriais (destrutivas), com os métodos não destrutivos, a saber: pilodyn, resistógrafo, NIRS e extensômetro, aplicados na árvore viva. Os resultados mostraram que a densidade básica da madeira apresentou correlação positiva com a deformação residual longitudinal (DRL) e amplitude (AMP) e negativa com a penetração do pino do pilodyn (PILO). Os valores da DRL apresentaram correlação positiva com o teor de celulose e negativa com o de lignina. A AMP apresentou correlação negativa com o teor de lignina. Observa-se que DRL, PILO e AMP apresentaram correlação positiva com a relação siringila/guaiacila. A DRL e AMP apresentaram correlação negativa com o kappa e a viscosidade e positiva com o rendimento depurado. Na Espectroscopia Próxima do Infra Vermelho –NIRS, as correlações obtidas por meio dos valores de predição externa e laboratório, usando modelos criados a partir das amostras do próprio experimento, foram melhores que os valores preditos pelos modelos pré-existentes construídos numa empresa florestal brasileira.

**Palavras-Chave:** resistógrafo, celulose, pilodyn, NIRS**Abstract**

The evaluation of technological characteristics of wood requires measurements of a great amount of samples to obtain precise results, which has led to the search of new methodologies and equipments that would make this work faster and, at the same time, would reduce the operation costs if possible in field condition. The objective of the present work was to check the relationship among certain chemical and physical characteristics of wood and cellulose pulp, obtained through laboratorial analyses (destructive), with non destructive methods, namely: pilodyn, resistograph, NIRS and extensometer, applied to the living tree. The results showed that the wood basic density presented positive correlation with the longitudinal residual strain (LRS) and width (AMP) and negative correlation with the penetration of the pin of pilodyn (PILO). The values of DRL presented positive correlation with the wood cellulose content and negative correlation with the lignin content. The AMP presented negative correlation with the lignin content. It was observed that the LRS, PILO and AMP presented positive correlation with the syringyl/guaiacyl (S/G) ratio. The LRS and AMP presented negative correlation with the kappa and the viscosity but positive with the pulping yield. In the Near Infra-red Spectroscopy- NIRS, the correlations obtained through the external prediction values and laboratory by using models created from samples from these experiments were better than the values predicted by an existing model constructed by a Brazilian Forest Company.

**Keywords:** Resistograph, cellulose, pilodyn, NIRS

---

<sup>1</sup>Professora da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul. Rod Aquidauana Cera Km 12 79200-000 - Aquidauana, MS - Brasil - Caixa-Postal: 25. E-mail: [afgomes123@hotmail.com](mailto:afgomes123@hotmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Lavras / Departamento de Ciências Florestais - Caixa Postal 3037 - 37200-000 - Lavras, MG. E-mail: [trugilho@dcf.ufla.br](mailto:trugilho@dcf.ufla.br)

<sup>3</sup>Universidade Federal de Viçosa / Laboratório de Celulose e Papel - Avenida Peter Henry Rolfs, s/n - CEP: 36570-000, Viçosa, MG. E-mail: [colodett@ufv.br](mailto:colodett@ufv.br)

<sup>4</sup>Universidade Federal de Lavras / Departamento de Química -Cx.P. 3037, 37200-000, Lavras, MG. E-mail: [bianchi@dqi.ufla.br](mailto:bianchi@dqi.ufla.br)

<sup>5</sup>E-mail: [liviasoragi@yahoo.com.br](mailto:liviasoragi@yahoo.com.br); [adalberto.oliveira@uol.com.br](mailto:adalberto.oliveira@uol.com.br)

## INTRODUÇÃO

Existe grande conhecimento de como as propriedades químicas da madeira afetam a produção de celulose, porém, ele se restringe às avaliações destrutivas a partir de resultados laboratoriais. As grandes dificuldades nos trabalhos dessa natureza são a demora nas análises, o grande número de amostras a serem processadas e o elevado custo envolvido. Essa necessidade de avaliar, cada vez mais, um número maior de amostras de madeira, visando à caracterização do material para determinada finalidade, vem provocando a busca por novas metodologias e equipamentos que agilizem esse trabalho e que, ao mesmo tempo, reduzam os custos operacionais ainda em condição de campo. As técnicas de avaliação não-destrutiva da madeira podem contribuir de maneira significativa para a resolução desse problema.

A avaliação não-destrutiva compreende o uso de métodos e ensaios para a qualificação das propriedades do material, sem que haja o comprometimento de seu uso. A avaliação não destrutiva é definida como sendo a ciência de identificar as propriedades físicas, químicas e mecânicas de uma peça de determinado material sem alterar suas capacidades de uso final (Ross, 1998). Segundo Erikson (2000), a avaliação não destrutiva é uma importante ferramenta para a caracterização da madeira, podendo ser utilizada pelas indústrias para melhorar o controle de qualidade dos processos por meio de uma maior uniformidade na matéria-prima e em seus derivados.

O importante fator de uso das técnicas não-destrutivas é a possibilidade de se fazer inúmeras determinações em curto espaço de tempo. Além disso, esse tipo de avaliação permite,

também, realizar pré-classificação do material, ainda em condições de campo, o que contribui para a redução das avaliações destrutivas no âmbito dos laboratórios.

Dessa forma, é possível reduzir drasticamente os custos das avaliações laboratoriais, com a redução do número de amostras ali processadas.

Neste contexto, este trabalho teve como objetivo verificar a relação existente entre as características químicas e físicas da madeira e da polpa celulósica, obtidas por meio de análises laboratoriais (destrutivas), com alguns métodos não destrutivos, a saber: pilodyn, resistógrafo, extensômetro e NIRS, aplicados na árvore viva.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Material biológico

Foram utilizados seis clones de *Eucalyptus*, provenientes de quatro diferentes locais, no estado de Minas Gerais-Brasil, a saber: Cocais, Guanhães, Rio Doce-Ipaba e Santa Bárbara. Selecionaram-se uma parcela 10x10 e mediu-se o diâmetro de todas as árvores presentes, foram selecionadas 5 árvores que apresentassem o diâmetro médio da população (Tabela 1). Foram coletadas cinco árvores-amostra, por clone e local, totalizando 120 amostras. Os clones foram selecionados em plantios comerciais com espaçamento de 3,0 x 3,3 m e 3 anos de idade.

### Métodos não destrutivos

Os instrumentos utilizados para medição não destrutiva foram o extensômetro, pilodyn, resistógrafo e espectrômetro de infravermelho próximo (NIRS).

Para o extensômetro, pilodyn e resistógrafo, as medições foram feitas na árvore em pé, a 1,30 m de altura do solo (DAP), sendo elas tomadas

**Tabela 1.** Valores de altura e DAP dos clones utilizados.  
**Table 1.** Height and DBH values of clones used.

Cocais	DAP	Alt. Total (m)	Alt. Com (m)	Rio Doce-Ipaba	DAP	Alt. Total (m)	Alt. Com (m)
57	11,00	17,22	10,81	57	12,25	20,18	13,59
1046	11,95	15,76	9,08	1046	12,25	20,52	13,59
1213	12,00	19,34	12,90	1213	12,60	20,76	13,42
1215	11,60	17,36	10,98	1215	13,70	19,50	12,78
1274	12,50	17,84	10,89	1274	13,50	20,56	13,33
7074	11,95	15,76	9,08	7074	14,70	22,14	16,30
Guanhães	DAP	Alt. Total (m)	Alt. Com (m)	Sta Bárbara	DAP	Alt. Total (m)	Alt. Com (m)
57	29,49	15,94	10,40	57	40,40	19,30	13,05
1046	42,90	22,26	15,30	1046	43,20	21,68	16,14
1213	40,50	19,86	13,23	1213	42,10	20,92	13,93
1215	42,00	19,06	12,55	1215	41,60	18,58	12,10
1274	44,50	22,24	15,24	1274	41,20	20,08	13,77
7074	34,13	17,64	11,06	7074	44,70	20,36	14,14

em torno da circunferência do tronco das árvores vivas, realizando-se três medidas, na face voltada para a parte de cima e baixo do declive do terreno (posições de dentro da linha de plantio), além de uma na posição de entre a linha de plantio.

O extensômetro é um instrumento adaptado para funcionar com dois relógios comparadores (0,01 mm). O primeiro relógio é para medir a deformação residual longitudinal (DRL) e o outro para medir a deformação residual tangencial (DRT). As medições com o extensômetro forneceram dados digitais de deformação residual longitudinal (DRL) e deformação residual tangencial (DRT), as quais são indicadoras da tensão longitudinal e tangencial de crescimento. O aparelho consiste em medir, com o auxílio de um relógio comparador, a movimentação sofrida por dois pinos fixados a 45 mm um do outro, ao longo da grã, na superfície do tronco sem casca. Para liberar as tensões e promover a movimentação dos pinos, é feito um furo entre os dois pinos com uma broca de 20 mm de diâmetro. O pilodyn mede a resistência à penetração de uma agulha na madeira e está relacionada com a dureza da madeira. O resistógrafo gera valores de amplitude em uma escala relativa de resistência à penetração de uma broca, variando de 0% a 100% (amplitude). Por meio desses dados pode-se inferir sobre a densidade, sanidade (ataque de brocas e cupins) e as propriedades mecânicas da madeira. Os espectros na região do infravermelho próximo foram obtidos em um equipamento da marca FOSS, modelo NirSystem 500. Para a leitura dos espectros de absorção foi utilizada amostra de madeira com granulometria uniforme de, aproximadamente, 0,05 mm. As amostras de serragem foram retiradas do DAP, com furadeira manual dotada de broca, com 3 mm de diâmetro, sendo posteriormente processadas em moinho tipo ciclone para a padronização da sua granulometria. Antes das leituras todas as amostras foram aclimatizadas em sala refrigerada para evitar a interferência do teor de umidade. Foram criados

modelos com 96 amostras e validados com 24 amostras. As 120 amostras também foram preditas a partir de modelos pré-existent de uma empresa do setor florestal.

### Métodos destrutivos

Foram determinadas densidades básicas da madeira, por dois diferentes métodos de amostragem, ou seja, uma determinada a 1,3 m de altura do solo (DAP) e outra como sendo a média da árvore. A densidade básica média da árvore foi determinada de uma amostra composta por diferentes alturas no tronco (base, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial). Nessas alturas foram retirados toretes de 1 m de comprimento, os quais foram transformados em cavacos, peneirados e homogeneizados para a geração da amostra composta. A determinação da densidade básica da madeira seguiu o recomendado pela norma TAPPI 258 om-85 (TAPPI, 2002)

Para a determinação das dimensões das fibras utilizou-se um total de 40 fibras por árvore-amostra. A preparação do macerado foi realizado a partir de amostras retiradas dos cavacos, feita de acordo com o método descrito por Ramalho (1987).

A composição química da madeira foi determinada em material obtido a partir de discos retirados a 1,30 m da altura do solo (DAP), conforme a norma TAPPI T 257 om-92 (TAPPI, 2002). Na Tabela 2 estão apresentadas as análises químicas realizadas e as respectivas normas utilizadas.

Para a etapa do cozimento kraft, foram utilizadas 24 amostras de cavacos, compostas pela mistura das 5 árvores-amostra de cada clone e local. Os cozimentos kraft foram realizados nas seguintes condições: sulfidez: 25%, álcali ativo, como NaOH: 18,4%, relação licor/madeira: 4/1, temperatura máxima: 170 °C, tempo até a temperatura máxima: 90 min, tempo na temperatura máxima: 60 min. Foi estabelecida uma carga de álcali fixa de 18,4% para todas as 24 amostras, objetivando alcançar número kappa próximo de 17, o que é convencionalmente utilizado pela indústria nacional.

**Tabela 2.** Análises químicas da madeira de eucalipto.  
**Table 2.** Chemical analyses of the eucalyptus wood.

Características	Metodologia
Extrativos em acetona	SCAN TEST CM 49-93
Lignina insolúvel	Gomide & Demuner (1986)
Lignina solúvel	Godschmid (1971)
Relação siringila/guaiacila (S/G)	Lin & Dence (1992)
Grupos acetilas	Solar et al. (1987)
Ácidos urônicos	Scott (1979)
Análise de carboidratos	Kaar (1991)

Após os cozimentos foram realizadas as formações das folhas de papel para posterior análise de acordo com a Tabela 3.

**Tabela 3.** Procedimentos analíticos.  
**Table 3.** Analytic procedures.

Procedimento	Normas
Formação de folhas manuais	TAPPI T218 om-91
Número kappa	TAPPI 236 cm-85
Viscosidade	TAPPI 230 om-89

### Análise estatística

Na avaliação do experimento foi utilizada a análise de correlação para verificar a associação existente entre as características avaliadas por métodos não destrutivos e destrutivos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios e o teste de comparação múltipla para a densidade básica e mor-

fologia das fibras encontram-se na Tabela 4. Verifica-se que, na média, a densidade básica a 1,3 m do solo (DAP) é maior que a média da árvore inteira, exceto para o clone 1215. Foi também observada maior variabilidade entre árvores, nas medições efetuadas a 1,3 do solo (DAP), tendo em vista que a densidade da árvore inteira foi determinada em cavacos previamente selecionados e isento de defeitos, o que pode contribuir para a menor variabilidade entre árvores.

Por outro lado, os menores valores médios de densidade observados para a árvore inteira podem estar relacionados à variação que existe ao longo do seu fuste, sabendo que frações significativas do tronco apresentam densidade menor que a densidade a 1,3 do solo (DAP). O clone 7074 apresentou o menor valor de densidade básica em todos os locais avaliados, independentemente do método de medição.

**Tabela 4.** Resultados médios e testes de comparação de médias da densidade básica e morfologia de fibras para os 24 clones/locais avaliados.

**Table 4.** Mean results and comparison tests of means of basic density and fiber morphology for the 24 clones/evaluated sites.

Clones	Locais	DBM	DBDAP	COMP	LARG	LUME	ESPAR
57	Cocais	0,418 b	0,461	1,11 a	16,32 a	9,38 a	3,50 b
	Guanhães	0,441 a	0,455	0,97 b	16,29 a	8,63 a	3,86 a
	Rio Doce	0,444 a	0,455	1,04 a	15,71 a	8,77 a	3,49 b
	Sta Bárbara	0,434 a	0,437	0,89 c	14,02 b	7,18 b	3,42 b
	Média	0,434	0,452 b	1,00	15,59	8,49	3,57
1046	Cocais	0,434 a	0,472	1,10 a	17,41 a	9,71 a	3,88 b
	Guanhães	0,439 a	0,449	1,06 a	17,35 a	8,86 a	4,30 a
	Rio Doce	0,429 a	0,440	1,05 a	16,15 a	8,78 a	3,68 b
	Sta Bárbara	0,437a	0,429	0,93 b	13,81 b	6,69 b	3,56 b
	Média	0,435	0,448 b	1,04	16,18	8,51	3,86
1213	Cocais	0,453 b	0,511	1,02 b	17,73 a	9,92 a	3,93 a
	Guanhães	0,467 a	0,460	1,11 a	16,88 a	9,46 a	3,73 a
	Rio Doce	0,471 b	0,464	1,07 a	16,40 a	8,74 a	3,84 a
	Sta Bárbara	0,456 a	0,446	0,94 c	14,14 b	7,51 b	3,31 b
	Média	0,462	0,470 a	1,04	16,29	8,91	3,70
1215	Cocais	0,430 b	0,422	1,05 a	17,50 a	10,27 a	3,65 a
	Guanhães	0,459 a	0,450	1,06 a	17,06 a	9,40 a	3,86 a
	Rio Doce	0,447 a	0,439	1,00 b	14,69 b	8,05 b	3,32 b
	Sta Bárbara	0,446 a	0,438	0,95 b	14,21 b	7,57 b	3,32 b
	Média	0,446	0,437 b	1,02	15,87	8,82	3,54
1274	Cocais	0,439 b	0,545	1,07 a	16,85 a	10,13 a	3,40 b
	Guanhães	0,464 a	0,461	1,10 a	16,76 a	8,30 b	4,27 a
	Rio Doce	0,451 a	0,459	0,93 b	15,24 b	8,29 b	3,48 b
	Sta Bárbara	0,431 b	0,427	0,97 b	14,24 b	7,22 c	3,51 b
	Média	0,446	0,473 a	1,02	15,77	8,49	3,67
7074	Cocais	0,372 b	0,379	0,90 b	16,70 a	9,84 b	3,47 a
	Guanhães	0,372 b	0,375	1,07 a	17,76 a	11,40 a	3,21 a
	Rio Doce	0,392 a	0,396	0,87 b	14,44 b	8,05 c	3,20 a
	Sta Bárbara	0,355 c	0,357	1,00 a	15,27 b	8,70 c	3,29 a
	Média	0,373	0,377 c	0,96	16,04	9,50	3,29

DBDAP E DBM = densidade básica a 1,3 m de altura do solo (DAP) e densidade básica média da árvore ( $g/cm^3$ ), COMP, LARG, LUME E ESPAR = comprimento da fibra (mm), largura da fibra ( $\mu m$ ), diâmetro do lume ( $\mu m$ ) e espessura da parede ( $\mu m$ ).

Médias seguidas de mesma letra, dentro de clone, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Os dados da Tabela 5 referem-se às correlações simples obtidas entre a densidade básica e dimensões das fibras com os resultados obtidos pela avaliação não-destrutiva, utilizando-se o extensômetro, resistógrafo e pilodyn, dentro das quatro regiões. Observa-se que a deformação residual longitudinal (DRL) apresentou correlação positiva com a densidade básica média da árvore (DBM) e a densidade básica obtida a 1,3 m de altura do solo (DBDAP) em todas as regionais, apresentando elevada magnitude somente na regional de Cocais. Para a deformação residual tangencial (DRT), somente a regional de Guanhães apresentou correlação satisfatória com a DBM. De modo geral a DRT apresentou baixas correlações tanto com a DBM como DBDAP.

O resistógrafo e o pilodyn apresentaram, de modo geral, correlação positiva e negativa de elevada magnitude, respectivamente, com as estimativas de densidade básica. O resistógrafo apresentou correlação de elevada magnitude com a DBM em todas as regionais, já

com a DBDAP na regional de Cocais a correlação foi de baixa magnitude. Para o pilodyn fracas correlações foram observadas nas regionais de Cocais e Rio Doce-Ipaba, para a DBM, e em Cocais, para a DBDAP. Uma hipótese para esse comportamento pode ser a influência do local nos resultados ou mesmo a intensidade da amostragem, ou seja, o número de árvores por local.

O extensômetro, o resistógrafo e o pilodyn não apresentaram correlações satisfatórias com as características dimensionais das fibras. Observa-se uma alternância de sinais nas correlações, exceto para o resistógrafo e pilodyn com a espessura da parede celular (ESPES), onde foi observado comportamento idêntico ao da densidade básica da madeira, ou seja, relação positiva e negativa com o resistógrafo e pilodyn, respectivamente. Entretanto, somente na regional de Guanhães a correlação foi elevada. Este resultado era esperado um vez que a espessura da parede celular tem alta relação com a densidade básica da madeira.

**Tabela 5.** Correlações entre a densidade básica da madeira e dimensões das fibras com as características obtidas por meio do extensômetro, resistógrafo e pilodyn, por região.

**Table 5.** Correlations between the basic wood density and dimensions of the fibers with the characteristics obtained through the extensometer, resistograph and pilodyn, by region.

Física e fibra	Local	Extensômetro		Resistógrafo	Pilodyn
		DRL	DRT	AMP	PIL0
DBM	Cocais	0,8411	0,2958	0,8948	-0,3701
	Guanhães	0,6754	0,7902	0,7798	-0,9048
	RD-Ipaba	0,0629	0,2796	0,9048	-0,5967
	St. Bárbara	0,6746	-0,0460	0,9731	-0,9246
DBDAP	Cocais	0,8613	0,6913	0,5662	-0,4875
	Guanhães	0,5884	0,6917	0,8717	-0,9493
	RD-Ipaba	0,1947	0,5604	0,7394	-0,8086
	St. Bárbara	0,6343	0,0543	0,9662	-0,9578
COMP	Cocais	0,6474	0,5867	0,8508	-0,6672
	Guanhães	0,4447	0,3791	-0,3506	0,0194
	RD-Ipaba	-0,0488	0,2019	0,4999	-0,6396
	St. Bárbara	-0,2057	-0,2335	-0,5958	0,7425
LARG	Cocais	0,1508	-0,5341	0,4857	-0,0064
	Guanhães	-0,2546	-0,2446	-0,8773	0,7147
	RD-Ipaba	-0,1452	0,4497	0,3022	-0,6552
	St. Bárbara	-0,5720	0,0386	-0,8710	0,8836
LUME	Cocais	0,1192	-0,4863	0,1012	0,0860
	Guanhães	-0,2589	-0,3799	-0,9528	0,9760
	RD-Ipaba	0,0964	0,5909	0,1295	-0,7493
	St. Bárbara	-0,5518	0,0409	-0,7610	0,7962
ESPES	Cocais	0,0897	-0,3113	0,5058	-0,0700
	Guanhães	0,1853	0,3635	0,7639	-0,9021
	RD-Ipaba	-0,2886	0,3256	0,4236	-0,5474
	St. Bárbara	0,3345	-0,0266	0,2886	-0,3669

DBM E DBDAP = densidade básica média da árvore e densidade básica a 1,3 m de altura do solo (DAP) ( $g/cm^3$ ). COMP, LARG, LUME E ESPES = comprimento da fibra (mm), largura da fibra ( $\mu m$ ), diâmetro do lume ( $\mu m$ ) e espessura da parede ( $\mu m$ ). DRL e DRT = deformação residual longitudinal e tangencial ( $\mu m$ ), AMP = amplitude do resistógrafo (%), PIL = penetração do pino do Pilodyn (mm).

Na Tabela 6 são apresentadas as correlações simples entre as características de densidade básica e dimensões das fibras com os resultados obtidos pela avaliação não-destrutiva, pelos métodos do extensômetro, resistógrafo e pilodyn, dentro dos seis clones. Observa-se que a magnitude das correlações entre a DRL e as densidades básicas foi menor que as apresentadas na Tabela 5, inclusive, em alguns casos, ocorrendo uma mudança do sinal. Somente para as correlações entre a

DBM e a amplitude (AMP) e pilodyn (PILO) os sinais, positivo e negativo, permaneceram iguais aos relatados na Tabela 5, porém, com menores magnitudes. Essa mudança de sinal da correlação pode estar associada à influência do local de amostragem, material genético e a intensidade amostral, onde o número de indivíduos amostrados podem não ter sido suficientes para esse propósito. Outras intervenções deveriam ser realizadas para confirmação dos resultados.

**Tabela 6.** Correlações entre as estimativas de densidade básica da madeira e morfologia de fibras e as características obtidas através do extensômetro, resistógrafo e pilodyn, por clone.

**Table 6.** Correlations between the estimates of basic wood density and morphology of fibers and the characteristics obtained through the extensometer, resistograph and pilodyn, by clone.

Característica	Clone	Extensômetro		Resistógrafo	Pilodyn
		DRL	DRT	AMP	PILO
DBM	57	-0,2505	-0,1372	0,3415	-0,8410
	1046	0,6315	-0,5871	0,8893	-0,7206
	1213	-0,6993	0,4363	0,3478	-0,8881
	1215	-0,6337	0,494	0,2749	-0,9191
	1274	-0,5608	-0,3447	0,6809	-0,9109
	7074	0,7923	-0,4085	0,9691	-0,5818
DBDAP	57	0,6462	-0,0163	0,0374	0,0867
	1046	0,4152	0,6313	0,2483	-0,3564
	1213	0,6087	0,4298	-0,3221	0,7979
	1215	-0,6487	0,4867	0,2922	-0,9234
	1274	0,8350	0,4123	-0,4387	0,2537
	7074	0,7268	-0,3425	0,9517	-0,6759
COMP	57	0,8613	0,3515	-0,3680	0,1195
	1046	-0,0823	0,9183	-0,1614	-0,7500
	1213	-0,0610	0,9287	-0,2560	-0,3800
	1215	0,7221	-0,1097	-0,8737	0,2973
	1274	0,0749	-0,5664	0,5133	0,0127
	7074	-0,5278	-0,4919	-0,3841	0,5373
LARG	57	0,4401	-0,2603	0,2897	0,1174
	1046	-0,0283	0,8327	-0,0111	-0,6512
	1213	0,4384	0,8799	-0,4242	0,3699
	1215	0,7344	0,0342	-0,7673	0,3980
	1274	0,2691	-0,1219	0,2341	-0,2466
	7074	-0,7229	-0,4319	-0,0831	-0,2812
LUME	57	0,7016	0,0623	-0,0522	0,1083
	1046	-0,0667	0,9181	-0,1654	-0,7467
	1213	0,5617	0,8864	-0,5650	0,4327
	1215	0,8351	-0,1037	-0,8094	0,5619
	1274	0,7830	0,4222	-0,3993	0,1366
	7074	-0,6368	-0,5590	-0,0114	-0,2139
ESPES	57	-0,4226	-0,8786	0,9363	0,0786
	1046	0,0909	0,3620	0,3486	-0,2117
	1213	0,1776	0,8058	-0,1322	0,2262
	1215	0,3916	0,3580	-0,5548	-0,0432
	1274	-0,7342	-0,8332	0,9749	-0,5916
	7074	-0,6246	0,7172	-0,4180	-0,5064

DBM E DBDAP = densidade básica média da árvore e densidade básica a 1,3 m de altura do solo (DAP) (g/cm<sup>3</sup>). COMP, LARG, LUME E ESPES = comprimento da fibra (mm), largura da fibra (µm), diâmetro do lume (µm) e espessura da parede (µm). DRL e DRT= deformação residual longitudinal e tangencial (µm), AMP= amplitude do resistógrafo (%), PILO= penetração do pino do Pilodyn (mm).

Na Tabela 7 são apresentadas as correlações gerais entre as características de densidade básica e dimensões das fibras e os resultados obtidos por meio dos métodos não destrutivos. Observa-se que existe uma relação positiva entre a densidade básica da madeira e os ensaios não destrutivos, exceto para o pilodyn. Para os valores de DBM e DBDAP, tanto a DRL quanto a DRT apresentaram correlações positivas, porém, a DRL apresentou a maior magnitude com DBDAP. A correlação com AMP e PILO foram as de mais alta magnitude com DBM e DBDAP, sendo, positiva e negativa, respectivamente. Observa-se que a correlação entre a densidade básica e o resistógrafo foi elevada, indicando o potencial de utilização desse equipamento para a estimativa indireta dessa característica da madeira. Greaves *et al.* (1996), em estudo com diferentes espécies de eucalipto, encontraram altas relações entre a densidade básica com os valores obtidos por meio da penetração do pino do pilodyn.

Para as características dimensionais das fibras, somente a espessura da parede celular (ESPES) apresentou correlação positiva e negativa com a amplitude (AMP) e o pilodyn (PILO), respectivamente. Este resultado foi o mesmo observado para as densidades básicas, porém de magnitude bem inferior, indicando que, apesar da espessura da parede celular ser altamente correlacionada com a densidade básica da madeira, estes equipamentos não podem ser recomendados para a estimativa indireta dessa característica. Na melhor das hipóteses os equipamentos podem apenas proporcionar uma idéia do comportamento dessa característica da madeira. Há a necessidade de se fazer novas avaliações com uma amostragem mais intensiva para que se tenha uma melhor representatividade dos resultados.

Nas Tabelas 8 e 9 encontram-se os valores das características químicas das madeiras estu-

dados, por clone e região. Os clones plantados em regiões montanhosas - 57, 1213 e 1215, em Cocais e 7074, em Rio Doce-Ipaba, produziram madeira com maior teor de celulose. Os resultados da Tabela 9 indicam que as madeiras da região de Cocais se destacam pelos seus maiores teores de celulose, sendo estatisticamente diferente das demais. Esse resultado é explicado pelo fato de árvores de regiões montanhosas possuírem, usualmente, maior quantidade de madeira de tração, que contém camada gelatinosa na parede celular, rica em celulose (TIMELL, 1969).

Os clones 7074 e 1274 apresentaram os maiores teores de hemiceluloses (27,4%-27,5%) enquanto os menores valores desses polissacarídeos foram observados para o clone 57 e 1213 (25,2%-25,8%). As regiões mais montanhosas (Cocais) produziram madeiras com menores teores de hemiceluloses, refletindo seus maiores teores de celulose. O teor de extrativos em acetona das madeiras variou de 0,70% a 1,71%, sendo estatisticamente insignificantes as diferenças entre os vários clones e locais, exceto para o clone 1215 da região de Santa Bárbara que apresentou teor de extrativo significativamente inferior ao das demais regionais (Tabela 8).

O teor de lignina dos vários clones variou na faixa de 27,9%-32,2%. As madeiras com maiores teores de lignina foram encontradas nas regiões do Rio Doce e Santa Bárbara (Tabela 9) e para os clones 7074 e 57 (Tabelas 8 e 9). A relação siringila/guaiacila da lignina foi bastante variável dentro da árvore, entre árvores e entre espécies (Wu *et al.*, 1992). Para eucalipto, os dois principais tipos de lignina são siringila/guaiacila (S/G) (Wu *et al.*, 1992). Nesse estudo, a relação S/G das ligninas variou na faixa de 2,50 a 3,12, sendo os maiores valores observados para os clones 1046 e 1213 (Tabela 8), não havendo efeito significativo das regionais nesse parâmetro.

**Tabela 7.** Correlações geral entre a densidade básica da madeira e dimensões das fibras com as características obtidas nos ensaios não destrutivos, independente de clone e regionais.

**Table 7.** General correlations between the basic wood density and dimensions of the fibers with the characteristics obtained in non-destructive trials, independent of clone and regions.

Propriedade	Extensômetro		Resistógrafo	Pilodyn
	DRL	DRT	AMP	PILO
DBM	0,457	0,248	0,864	-0,723
DBDAP	0,717	0,474	0,597	-0,533
COMP	0,317	0,222	0,169	-0,219
LARG	0,149	0,098	-0,075	0,042
LUME	0,155	0,076	-0,348	0,278
ESPES	0,043	0,075	0,486	-0,426

DBM E DBDAP = densidade básica média da árvore e densidade básica a 1,3 m de altura do solo (DAP) (g/cm<sup>3</sup>). COMP, LARG, LUME E ESPES = comprimento da fibra (mm), largura da fibra (µm), diâmetro do lume (µm) e espessura da parede (µm). DRL e DRT = deformação residual longitudinal e tangencial (µm), AMP = amplitude do resistógrafo (%), PILO = penetração do pino do Pilodyn (mm).

A partir dos resultados apresentados, pôde-se concluir que o clone 7074 da região de Santa Bárbara foi o de menor atratividade em relação qualidade da madeira para a produção de celulose, pois apresentou os piores atributos, ou seja, alto teor de lignina (32,2%), baixo teor de celulose (38,7%), alto teor de extrativos (1,34%) e baixa relação S/G (2,50) em relação aos demais. Além disso, este clone foi o que apresentou a menor densidade básica dentre todos. De acordo com Wallis *et al.*, (1996), um bom clone é aquele que apresenta alto teor de celulose.

Na Tabela 10 estão apresentadas as correlações simples obtidas entre as características químicas da madeira e os ensaios não destrutivos, dentro das quatro regionais. Observa-se que a DRL apresentou correlação negativa com o teor de lignina total e positiva com a relação siringila/guaiacila (S/G) em todas as regionais. Bailleres *et al.* (1995), estudando várias espécies de eucalipto, encontraram, também, correlação positiva entre S/G e as tensões de crescimento. A correlação negativa entre a DRL e o teor de lignina sugere a presença de madeira de rea-

**Tabela 8.** Resultados médios de características químicas da madeira para os 24 clones/locais avaliados.

**Table 8.** Mean results of wood chemical characteristics for the 24 clones/evaluated sites.

Clones	Locais	Celulose*	Hemiceluloses**	Ligninas***	Extrativos****	S/G
57	Cocais	45,50 a	22,74 c	30,80 a	0,96 a	2,71 a
	Guanhães	42,25 b	26,26 a	30,56 a	0,93 a	2,70 a
	Rio Doce-Ipaba	42,50 b	25,05 b	31,22 a	1,22 a	2,78 a
	S. Bárbara	40,08 c	26,91 a	31,83 a	1,18 a	2,71 a
	Média	42,58 a	25,24 d	31,10 a	1,07 a	2,73 c
1046	Cocais	44,15 a	25,44 b	29,70 b	0,71 a	2,97 b
	Guanhães	44,78 a	25,71 b	28,58 b	0,92 a	3,10 a
	Rio Doce-Ipaba	41,54 b	26,14 b	30,98 a	1,34 a	2,77 b
	S. Bárbara	42,22 b	27,77 a	28,81 b	1,20 a	3,06 a
	Média	43,17 a	26,27 c	29,52 b	1,04 a	2,98 a
1213	Cocais	45,96 a	24,36 c	28,92 a	0,77 a	3,04 a
	Guanhães	40,26 c	27,68 a	30,48 a	1,57 a	2,91 b
	Rio Doce-Ipaba	43,54 b	25,12 c	30,26 a	1,08 a	2,78 b
	S. Bárbara	43,06 b	26,17 b	29,48 a	1,29 a	2,99 a
	Média	43,21 a	25,83 c	29,79 b	1,18 a	2,93 a
1215	Cocais	43,71 a	25,47 b	29,97 a	0,85 a	2,93 a
	Guanhães	40,29 b	27,63 a	30,36 a	1,71 a	2,61 a
	Rio Doce-Ipaba	40,31 b	27,48 a	30,88 a	1,32 a	2,60 a
	S. Bárbara	41,13 b	26,48 b	31,68 a	0,70 b	2,72 a
	Média	41,36 a	26,77 b	30,72 a	1,15 a	2,72 c
1274	Cocais	40,15 b	27,81 a	30,70 a	1,35 a	2,88 a
	Guanhães	44,51 a	26,59 b	27,91 b	0,99 a	2,70 b
	Rio Doce-Ipaba	40,91 b	28,10 a	30,19 a	0,80 a	2,66 b
	S. Bárbara	40,73 b	27,01 b	31,38 a	0,87 a	2,85 a
	Média	41,58 a	27,38 a	30,05 b	1,00 a	2,77 b
7074	Cocais	39,90 a	27,87 a	31,10 a	1,13 a	2,67 b
	Guanhães	39,28 a	27,85 a	31,84 a	1,03 a	2,88 a
	Rio Doce-Ipaba	41,16 a	26,43 b	31,26 a	1,15 a	3,12 a
	S. Bárbara	38,74 a	27,88 a	32,18 a	1,34 a	2,50 b
	Média	39,77 c	27,51 a	31,60 a	1,16 a	2,79 b

Médias seguidas de mesma letra, dentro de clone, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

\*Para o cálculo do teor de celulose, foi utilizado o teor de glicose total, descontado do teor de glicose associado às glicomananas

\*\* Somatório dos polímeros de xilanas, mananas, arabinanas, galactanas, ácidos urônicos e acetil

\*\*\* Somatório de lignina insolúvel e solúvel

\*\*\*\* Extrativos em acetona

**Tabela 9.** Composição química da madeira por regional.

**Table 9.** Wood chemical composition by region.

Local	Celulose (%)	Hemiceluloses (%)	Lignina Total (%)	Extrativos (%)	S/G (mol/mol)
Cocais	43,23 a	25,61 c	30,19 b	0,99 a	2,86 a
Guanhães	41,89 b	26,95 a	29,96 b	1,19 a	2,82 a
Rio Doce	41,66 b	26,38 b	30,79 a	1,12 a	2,78 a
Santa Bárbara	40,99 c	27,03a	30,89 a	1,09 a	2,82 a

Médias seguidas de mesma letra, dentro de clone, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade



ção (tração) no lenho, tendo em vista que uma das características deste tipo de madeira é possuir um menor teor de lignina, possuindo uma relação mais intensa na regional de Santa Bárbara. Okuyama *et al.* (1994) e Sugiyama *et al.* (1993) observaram forte correlação entre o teor de celulose e as tensões de crescimento da madeira normal e de tração de várias folhosas que crescem no Japão. Níveis elevados de celulose foram considerados por Boyd (1980) como o fator mais importante dentro das tensões de crescimento geradas na madeira de eucaliptos. A DRT não se apresentou como um bom indicador das características químicas da madeira, tendo em vista a baixa magnitude das correlações e alternância de sinais entre as regionais. Este resultado pode estar associado a influência da interação genótipo x ambiente.

A amplitude (AMP) apresentou o melhor desempenho na avaliação indireta das propriedades químicas da madeira, pois mostrou sempre o mesmo padrão das correlações em relação ao sinal, inclusive idêntico a DRL para o teor de lignina total e relação S/G. Os resultados encontrados estão de acordo com os de Nicholson *et al.* (1972). Estes autores no estudo de *Eucalyptus regnans* de 30 anos de idade observaram que as tensões de crescimento foram correlacionadas negativamente com a o teor de lignina. Bamber

(1979; 1987) encontrou tendência semelhante para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptu pilularis*. Os valores do pilodyn (PILO) também apresentou correlação positiva com a relação S/G, porém, de menor magnitude que as observadas para os valores do resistógrafo (AMP).

Na Tabela 11 são apresentadas as correlações simples obtidas entre as características químicas da madeira e os resultados obtidos do extensômetro, do resistógrafo e do pilodyn, dentro dos seis clones. Observa-se que somente a DRL apresentou o mesmo comportamento em relação o teor de lignina total e a relação sinrigila/guaiacila (S/G) na avaliação das regionais (Tabela 10). Para a relação S/G as correlações dentro dos clones foram de maior magnitude comparada as dentro de regionais. Estes resultados reforçam a hipótese de que a madeira de reação está presente na madeira dos clones, porém em níveis diferentes.

A amplitude (AMP) apresentou correlação negativa e de alta magnitude com o teor de extrativos, o que não era esperado, visto que alguns estudos já comprovaram que a presença de extrativos no cerne de eucalipto causa coloração na madeira e aumento notável no valor de sua densidade básica, em relação ao alburno, que é tipicamente livre de extrativos (Ona *et al.*, 1997; Smith, 1982; Wilkes, 1984). Este resultado pode estar relacionado à pequena idade dos clones.

**Tabela 10.** Correlações entre as características químicas da madeira e as características obtidas por meio do extensômetro, resistógrafo e pilodyn, por região.

**Table 10.** Correlations between the chemical wood characteristics and the characteristics obtained through of the extensometer, resistograph and pilodyn, by clone.

Química da madeira	Local	Extensômetro		Resistógrafo	Pilodyn
		DRL	DRT	AMP	PILO
Celulose (%)	Cocais	0,4163	0,0616	0,7021	0,0789
	Guanhães	-0,1002	-0,0084	0,6211	-0,7096
	RD-Ipaba	0,1249	0,3259	0,3483	-0,3761
	St. Bárbara	0,8291	-0,5980	0,7266	-0,5576
Hemiceluloses (%)	Cocais	-0,3983	-0,2282	-0,5951	-0,1074
	Guanhães	0,1818	0,1054	-0,5865	0,5671
	RD-Ipaba	-0,2073	-0,1796	-0,0553	0,2702
	St. Bárbara	-0,4789	-0,1485	-0,7150	0,6710
Lignina total (%)	Cocais	-0,3759	0,2452	-0,6448	0,0136
	Guanhães	-0,1066	-0,2355	-0,6266	0,8111
	RD-Ipaba	-0,2906	-0,1635	-0,6402	0,1978
	St. Bárbara	-0,7118	0,8149	-0,3815	0,2270
Extrativo (%)	Cocais	0,0604	0,3874	-0,5133	-0,0160
	Guanhães	0,6325	0,7421	-0,0765	-0,0393
	RD-Ipaba	-0,1522	-0,4283	-0,2183	0,0896
	St. Bárbara	0,0451	-0,4923	-0,6004	0,5453
S/G (mol/mol)	Cocais	0,4868	-0,1449	0,7230	0,2752
	Guanhães	0,2014	0,0503	0,4582	0,2629
	RD-Ipaba	0,0305	-0,1985	0,6568	0,5723
	St. Bárbara	0,8497	-0,5747	0,6425	0,5350

DRL e DRT = deformação residual longitudinal e tangencial ( $\mu\text{m}$ ), AMP = amplitude do resistógrafo (%), PILO = penetração do pino do Pilodyn (mm).

**Tabela 11.** Correlações entre as características químicas da madeira e as características obtidas por meio do extensômetro, resistômetro e pilodyn, por clone.

**Table 11.** Correlations between the wood chemistry characteristics and the characteristics obtained through of the extensometer, resistometer and pilodyn, by clone.

Química da madeira	Clone	Extensômetro		Resistômetro	Pilodyn
		DRL	DRT	AMP	PILO
Celulose	57	0,6893	0,1392	-0,2070	0,3895
	1046	0,5548	0,1788	0,6930	0,0852
	1213	0,1879	-0,2454	0,2701	0,6832
	1215	0,6897	-0,2133	-0,3623	0,8409
	1274	-0,7636	-0,7959	0,9671	-0,6546
	7074	0,8107	-0,1371	0,8598	-0,5844
Hemiceluloses	57	-0,8030	-0,3880	0,4657	-0,3391
	1046	0,0770	-0,8894	0,1038	0,7187
	1213	0,0116	0,1770	-0,4339	-0,5067
	1215	-0,4658	0,0986	0,0845	-0,7344
	1274	0,6501	0,9963	-0,8827	0,0324
	7074	-0,9864	0,1902	-0,7562	0,1569
Lignina total	57	-0,1673	0,5239	-0,5370	-0,2430
	1046	-0,6677	0,6593	-0,9045	-0,7873
	1213	-0,5539	0,4035	0,1149	-0,8997
	1215	-0,8930	0,0314	0,9438	-0,5683
	1274	-0,5838	0,5723	-0,8252	0,7713
	7074	-0,2958	-0,1073	-0,6338	0,9334
Extrativo	57	0,1915	0,7240	-0,6249	-0,7099
	1046	-0,7361	-0,2292	-0,6840	-0,0880
	1213	-0,1648	0,0795	-0,2624	-0,6391
	1215	0,0387	0,3104	-0,4351	-0,4277
	1274	0,7667	0,1015	-0,2552	0,4705
	7074	-0,0300	0,7463	-0,7129	0,6644
S/G	57	0,6832	0,7399	-0,5721	-0,8747
	1046	0,7185	-0,6132	0,9354	0,7678
	1213	0,8575	-0,2462	-0,6058	0,8835
	1215	0,5977	-0,1232	-0,2511	0,7820
	1274	0,6677	0,0247	-0,4126	0,9761
	7074	0,8092	-0,6528	0,9789	-0,3793

DRL e DRT= deformação residual longitudinal e tangencial ( $\mu\text{m}$ ), AMP= amplitude do resistômetro (%), PILO= penetração do pino do Pilodyn (mm).

A penetração do pino do pilodyn (PILO) também apresentou correlação de elevada magnitude com a relação S/G, porém, tendo sido negativa para os clones 57 e 7074 e positiva para os demais.

Na Tabela 12 são apresentadas as correlações gerais entre as características químicas da madeira e os resultados obtidos por meio dos métodos não destrutivos. Observa-se que a DRL apresen-

tou correlação positiva com o teor de celulose, extrativos e a relação SG, e negativa com o teor de hemiceluloses e lignina. Resultado semelhante ao observado para o resistômetro, exceto para o teor de extrativos. Apesar da baixa magnitude dessas correlações, pode-se perceber que as leituras de DRL e de amplitude sofrem influência da madeira de reação presente no lenho, a qual deve potencializar as tensões de crescimento.

**Tabela 12.** Correlações gerais entre as características químicas da madeira com as características obtidas nos ensaios não destrutivos, independente de clone e região.

**Table 12.** General correlations between the chemical wood characteristics and characteristics obtained in non destructive trials, independent of clone and region.

Química da madeira	Extensômetro		Resistômetro	Pilodyn
	DRL	DRT	AMP	PILO
Celulose	0,405	0,038	0,493	-0,239
Hemiceluloses	-0,415	-0,225	-0,295	0,142
Lignina total	-0,259	0,205	-0,505	0,280
Extrativo	0,037	-0,027	-0,250	0,007
S/G	0,374	-0,223	0,044	0,113

DRL e DRT= deformação residual longitudinal e tangencial ( $\mu\text{m}$ ), AMP= amplitude do resistômetro (%), PILO= penetração do pino do Pilodyn (mm).

Os resultados das análises dos cozimentos kraft estão apresentados na Tabela 13. A taxa de deslignificação, medida pelo número kappa após cozimento, variou de 14,6-17,5, para uma carga de álcali ativo fixa de 18,4%, como NaOH. O número kappa está relacionado com o teor de lignina residual na polpa produzida, ou seja, quanto maior o kappa, maior a quantidade de lignina residual na polpa e mais difícil e caro será o seu branqueamento. O número kappa da polpa indica também a polpabilidade da madeira, já que o álcali ativo foi constante para todas as 24 amostras. Os clones 57 e 1213 da regional de Cocais e Santa Bárbara apresentaram o maior número kappa (17,5) e o menor número kappa (14,6), respectivamente. A polpabilidade da madeira de Santa Bárbara foi significativamente superior à das demais regiões.

O rendimento depurado do cozimento variou na faixa de 50,3%-52,9%, sendo mais alto para o clone 1046 na regional de Guanhões e o

mais baixo para o clone 7074 da regional Cocais. Essa mesma tendência foi mantida comparando-se os rendimentos ao kappa fixo de 17. Colodette *et al.* (2006), trabalhando com um híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* de número kappa 14-21, observaram que cada unidade de kappa reduzida no cozimento corresponde à perda de 0,5% de rendimento.

A viscosidade está relacionada com a degradação dos carboidratos provocada pelos reagentes de cozimento. Ela dá idéia da seletividade do cozimento kraft. Maiores valores de viscosidade indicam melhores seletividades. Neste estudo, foram obtidas viscosidades variando na faixa de 26,0-44,3 cP, indicando a existência de significativa variação entre as madeiras. Os maiores valores de viscosidade da polpa marrom foram alcançados com a madeira do clone 1046, regional do Rio Doce-Ipaba, enquanto que a de menor viscosidade foi obtida com a madeira do clone 1213, na mesma regional.

**Tabela 13.** Resultados médios experimentais do cozimento kraft dos 24 clones avaliados.

**Table 13.** Mean results of the 24 clones Kraft pulping.

Clone	Local	Característica			
		Kappa	RD (%)	RD17 (%)	Viscosidade (cP)
57	Cocais	17,5 a	51,8 a	51,6 a	31,0 b
	Guanhões	17,3 a	51,8 a	51,7 a	36,6 a
	Rio Doce	16,5 a	51,8 a	52,1 a	32,3 b
	Santa Bárbara	17,2 a	51,9 a	51,8 a	35,8 a
	Média	17,1 a	51,8 a	51,8 c	33,9 b
1046	Cocais	15,7 b	52,3 a	53,0 a	31,2 d
	Guanhões	15,3 b	52,9 a	53,8 a	40,1 b
	Rio Doce	17,3 a	50,5 b	50,4 b	44,3 a
	Santa Bárbara	15,1 b	52,4 a	53,4 a	38,2 c
	Média	15,9 d	52,0 a	52,7 a	38,5 a
1213	Cocais	15,2 a	50,8 b	51,7 b	28,0 a
	Guanhões	15,7 a	51,4 a	52,1 b	28,1 a
	Rio Doce	16,1 a	51,5 a	52,0 b	26,0 b
	Santa Bárbara	14,6 a	51,9 a	53,1 a	29,1 a
	Média	15,4 d	51,4 b	52,2 b	27,8 c
1215	Cocais	15,7 b	51,2 a	51,9 a	31,2 c
	Guanhões	17,0 a	50,7 a	50,7 b	35,8 a
	Rio Doce	17,1 a	50,7 a	50,7 b	33,8 b
	Santa Bárbara	16,0 b	51,2 a	51,7 a	36,4 a
	Média	16,5 b	51,0 c	51,3 d	34,3 b
1274	Cocais	16,7 b	51,0 b	51,2 a	39,3 a
	Guanhões	17,4 a	51,9 a	51,7 a	41,1 a
	Rio Doce	17,2 a	51,0 b	50,9 a	31,6 b
	Santa Bárbara	16,4 b	51,2 b	51,5 a	40,2 a
	Média	16,9 a	51,3 b	51,3 d	38,1 a
7074	Cocais	16,9 a	50,3 b	50,4 b	38,3 b
	Guanhões	16,4 b	50,9 b	51,2 b	39,3 a
	Rio Doce	15,5 b	52,2 a	53,0 a	36,7 b
	Santa Bárbara	16,5 a	50,6 b	50,9 b	40,5 a
	Média	16,3 c	51,0 c	51,4 d	38,7 a

Médias seguidas de mesma letra, dentro de clone, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Na Tabela 14 são apresentadas as correlações simples obtidas entre as características de polpação da madeira e os resultados obtidos por meio do extensômetro, do resistógrafo e do pilodyn, dentro das quatro regionais. Observa-se que a DRL apresentou correlação negativa com kappa e viscosidade e positiva com o rendimento depurado (RD). Chantre *et al.* (1995), estudando clones de eucalipto aos 7 anos, também encontraram correlação positiva do rendimento com os valores de DRL. DRT, AMP e PILO não apresentaram correlações consistentes com as características de polpação.

Na Tabela 15 são apresentadas as correlações simples obtidas entre as características de polpação da madeira e os resultados obtidos por meio do extensômetro, do resistógrafo e do pilodyn, dentro dos seis clones. A DRL continuou apresentando correlação negativa com o kappa, sendo a mais elevada magnitude encontrada no clone 7074. Em relação à viscosidade, a correlação foi negativa para todos os clones, exceto para o clone 1213. Este resultado foi semelhante ao observado na Tabela 14.

**Tabela 14.** Correlações entre as características de polpação da madeira e as características obtidas por meio do extensômetro, resistógrafo e pilodyn, por região.

**Table 14.** Correlations between wood pulping characteristics and the characteristics obtained through of the extensometer, resistograph and pilodyn, by region.

Polpação	Local	Extensômetro		Resistógrafo	Pilodyn
		DRL	DRT	AMP	PILO
Kappa	Cocais	-0,1437	0,5143	-0,4808	0,0180
	Guanhães	-0,4649	-0,3648	0,4931	-0,2519
	RD-Ipaba	-0,1214	0,2791	0,1562	-0,5503
	St. Bárbara	-0,6717	0,9011	-0,3236	0,0634
Viscosidade (cP)	Cocais	-0,3034	0,1580	-0,6764	-0,1406
	Guanhães	-0,8502	-0,6987	0,0578	-0,0066
	RD-Ipaba	-0,3329	-0,0933	-0,8215	0,1045
	St. Bárbara	-0,5646	0,3260	-0,4921	0,4199
Rendimento Depurado (%)	Cocais	0,1882	0,3706	0,6481	-0,7297
	Guanhães	0,0437	0,0279	0,3787	-0,4780
	RD-Ipaba	0,4778	0,0511	-0,1722	0,2947
	St. Bárbara	0,5461	-0,3430	0,5714	-0,5836

**Tabela 15.** Correlações entre as características de polpação da madeira e as características obtidas por meio do extensômetro, resistógrafo e pilodyn, por clone.

**Table 15.** Correlations between wood pulping characteristics and characteristics obtained through extensometer, resistograph and pilodyn, by clone.

Polpação	Clone	Extensômetro		Resistógrafo	Pilodyn
		DRL	DRT	AMP	PILO
Kappa	57	-0,4044	-0,5609	0,3636	0,9822
	1046	-0,8361	0,6886	-0,9744	-0,8591
	1213	-0,4375	0,7293	0,2111	-0,5363
	1215	-0,2205	-0,1419	-0,1639	-0,5237
	1274	-0,4982	-0,1614	0,5385	-0,9578
	7074	-0,9777	0,3977	-0,6872	-0,1324
Viscosidade (cP)	57	-0,9546	-0,7339	0,7630	-0,0102
	1046	-0,9054	0,0649	-0,6997	-0,3573
	1213	0,6230	-0,4246	-0,5726	0,4625
	1215	-0,9520	0,7292	0,7709	-0,9772
	1274	-0,0635	-0,7862	0,5120	0,4534
	7074	-0,7394	0,1732	-0,8841	0,6774
Rendimento Depurado (%)	57	-0,5300	0,0780	-0,1484	0,1211
	1046	0,7963	-0,4682	0,9690	0,6787
	1213	-0,6289	-0,6462	0,4498	-0,6908
	1215	0,0562	0,1924	0,3336	0,4159
	1274	-0,7284	-0,9098	0,9886	-0,4628
	7074	0,9851	-0,4162	0,7716	0,0000

Na Tabela 16 são apresentadas as correlações gerais entre as características de polpação da madeira e as características obtidas nos ensaios não destrutivos. Pode-se observar que a DRL e a amplitude (AMP) apresentaram correlação negativa com o número kappa (Kappa) e a viscosidade, e positiva com os rendimentos. Apesar das baixas magnitudes dessas correlações, a DRL e a amplitude podem dar indicação da performance da madeira para produção de celulose, especialmente se for utilizado na seleção massal, onde seria realizada uma classificação de materiais genéticos potenciais a este uso.

A DRT e a penetração do pino do pilodyn (PILO) não apresentaram relação satisfatória com as características de polpação.

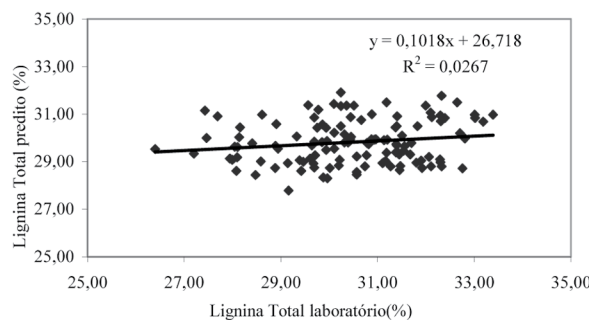
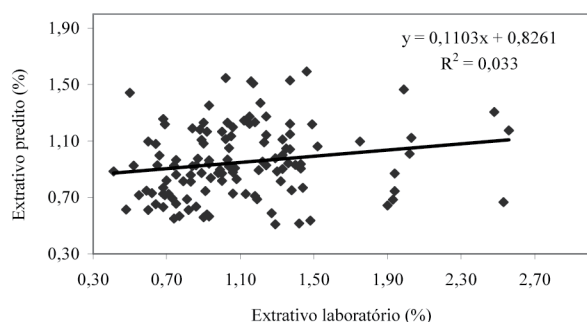
As Figuras 1, 2 e 3 mostram a relação observada entre os valores obtidos nas análises de laboratório de extrativos, lignina total, rendimento depurado, densidade básica média da árvore e densidade básica na altura do DAP e as amostras preditas pelo NIR a partir de modelos pré-existentes de uma empresa do setor florestal. Observa-se que os ajustes não foram bons, demonstrando a baixa relação funcional existente entre os valores preditos pelo NIR e os valores determinados em laboratório. Rezende *et al.* (2001), estudando clones plantados em vários sítios, também encontraram baixa correlação para os valores de lignina e densidade básica média.

**Tabela 16.** Correlações gerais entre as características de polpação da madeira e as características obtidas nos ensaios não destrutivos, independente de clone e regionais.

**Table 16.** General correlations between wood pulping characteristics and the characteristics obtained in non destructive trials, independent of clone and places.

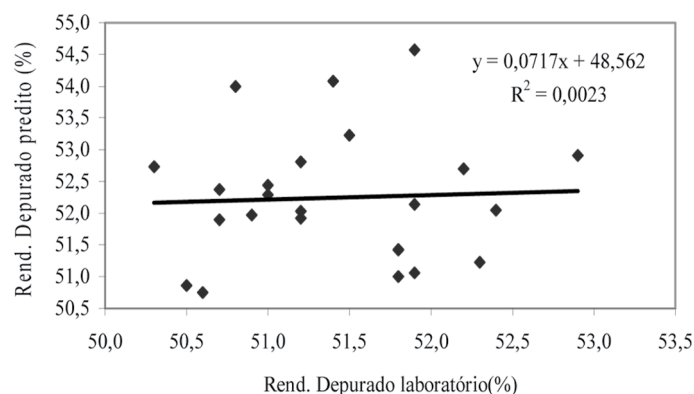
Polpação	Extensômetro		Resistógrafo	Pilodyn
	DRL	DRT	AMP	PILO
Kappa	-0,251	0,387	-0,035	-0,264
Viscosidade	-0,525	-0,138	-0,363	0,081
Rend. Depurado	0,135	-0,043	0,392	-0,265

DRL e DRT= deformação residual longitudinal e tangencial ( $\mu\text{m}$ ), AMP= amplitude do resistógrafo (%), PILO= penetração do pino do Pilodyn (mm).



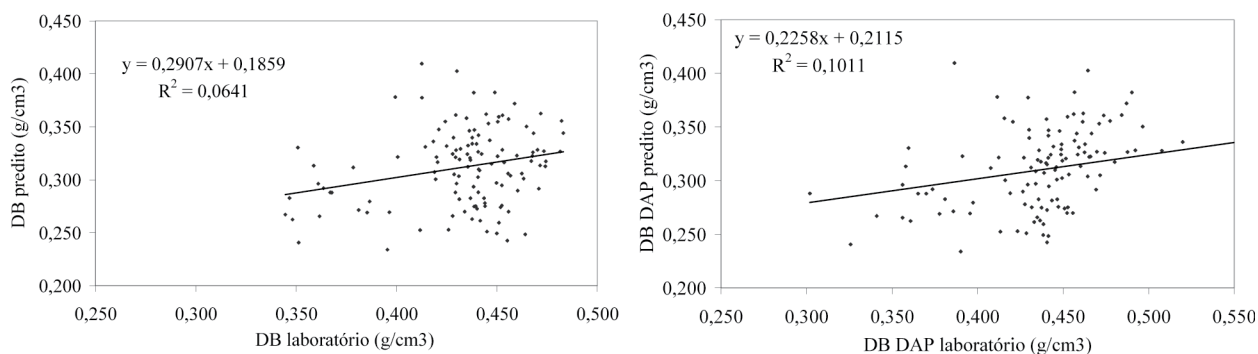
**Figura 1.** Relação entre as análises de laboratório e amostras preditas no NIR para as características de extrativos em acetona e lignina total das 120 amostras.

**Figure 1.** Relation between laboratory analyses and samples predicted by NIR for extractives characteristics in acetone and total lignin for the 120 samples.



**Figura 2.** Relação entre as análises de laboratório e amostras preditas no NIR para as características de rendimento das 120 amostras.

**Figure 2.** Relation between laboratory analyses and samples predicted by NIR for wood density characteristics of yield for the 120 samples.



**Figura 3.** Relação entre as análises de laboratório e amostras previstas no NIR para as características de densidade básica dos cavacos e densidade básica na altura do DAP das 120 amostras.

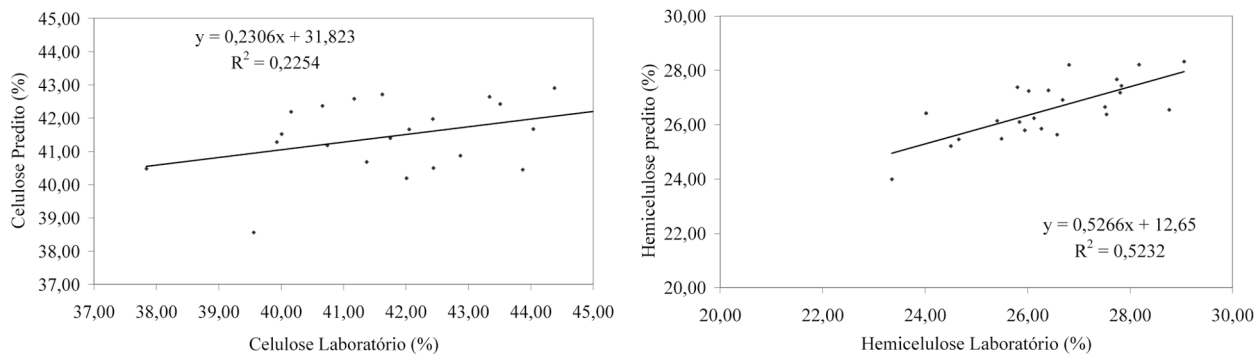
**Figure 3.** Relationship between laboratory analyses and samples predicted by the NIR for basic density characteristics of the chips and basic density at DBH of the 120 samples.

Nas Figuras 4, 5 e 6 observam-se a relação entre os valores obtidos nas análises de laboratório de celulose e hemiceluloses, lignina total e relação S/G, densidade básica média da árvore e densidade básica no DAP e as previstas na validação externa pelo método do NIR.

Pelas Figuras 4 e 5 verifica-se que entre as características químicas da madeira os melhores ajustes ocorreram para o teor de hemiceluloses e relação S/G. Os teores de celulose e de lignina total na madeira não apresentaram bons ajustes.

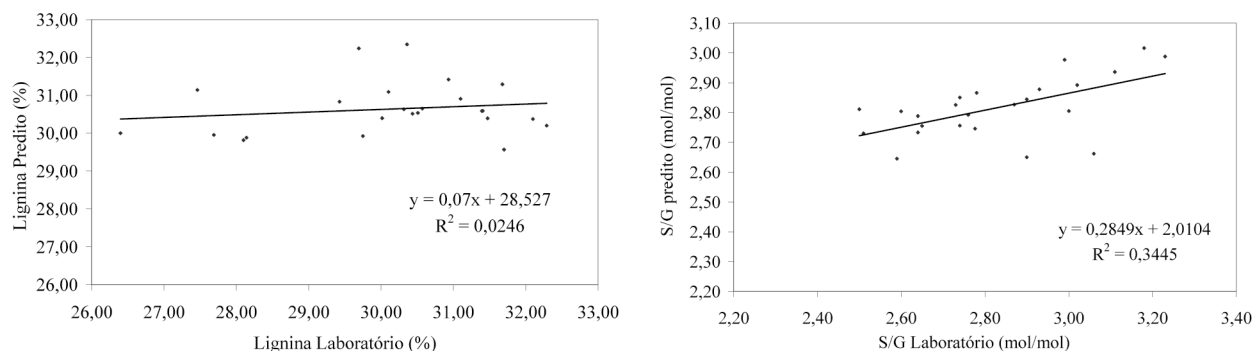
De acordo com a Figura 6, observa-se que a relação funcional existente entre os valores de densidade básica, média da árvore e no DAP, e as previstas na validação externa pelo método do

NIR, foi mais forte que para as características químicas da madeira. O ajuste para densidade básica média da árvore foi superior ao valor obtido por meio da densidade básica no DAP, de 0,77 e 0,46, respectivamente. Esse resultado pode ser considerado esperado, tendo em vista a grande variabilidade existente ao longo do tronco da árvore. A variação longitudinal da densidade básica da madeira de eucalipto possui vários tipos de tendência. Em algumas espécies, a densidade tende a ser decrescente da base para o topo e, em outras, tende a ser crescente a partir do nível do DAP, podendo, ainda, em outras espécies, apresentar valores alternados com tendência decrescente e crescente (Barrichelo *et al.*, 1983).



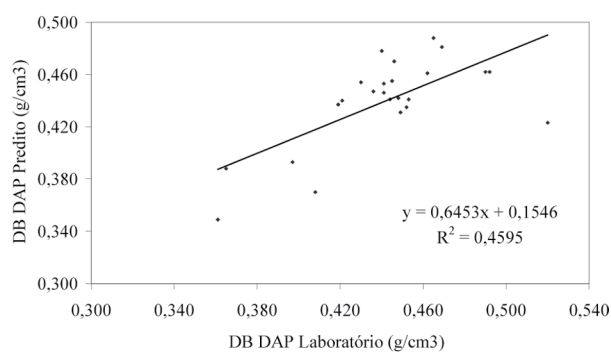
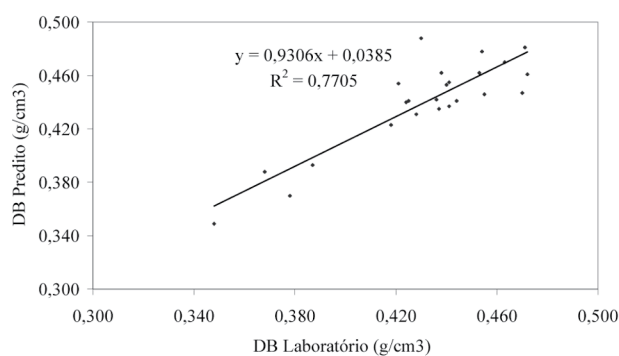
**Figura 4.** Relação entre análise de laboratório e amostras previstas na validação externa para as características de densidade básica dos cavacos e densidade básica na altura do DAP das 24 amostras.

**Figure 4.** Relationship between laboratory analysis and samples predicted in external validation for basic density characteristics of the chips and basic density at DBH for the 24 samples.



**Figura 5.** Relação entre análise de laboratório e amostras previstas na validação externa para as características de lignina total e relação S/G da lignina das 24 amostras.

**Figure 5.** Relationship between laboratory analysis and samples predicted in the external validation for the characteristics of total lignin and relationship S/G of lignin for the 24 samples.



**Figura 6.** Relação entre análise de laboratório e amostras previstas na validação externa para as características de densidade básica dos cavacos e densidade básica na altura do DAP das 24 amostras.

**Figure 6.** Relationship between laboratory analysis and samples predicted in the external validation for basic density characteristics of chips and basic density at DBH for the 24 samples.

## CONCLUSÃO

- De modo geral, as melhores correlações ocorreram entre os métodos não destrutivos e a densidade média da árvore (DBM).
- A DRL apresentou correlações positivas e significativas com as densidades básicas, porém, de baixa magnitude.
- As correlações mais significativas ocorreram entre a densidade básica média da árvore inteira (DBM) e a amplitude (AMP) e com o pilodyn (PILO), demonstrando a possibilidade de estimar a densidade básica da madeira com uma dessas ferramentas, o qual é um importante parâmetro de qualidade para a indústria de celulose.
- O extensômetro e a amplitude se mostraram como potencial de utilização para a predição de lignina total, relação S/G e rendimento da polpa celulósica, especialmente se utilizado em seleção massal. DRT e pilodyn não apresentaram a mesma performance.
- Os valores preditos pelo NIRS a partir de modelos pré-existentes numa empresa florestal não foram satisfatórios, em função das inconsistências dos modelos para as amostras.
- Os valores de predição externa apresentaram melhores resultados, visto que o modelo utilizado foi gerado a partir de amostras do próprio experimento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAILLERES, H.; CHANSON, B.; FOURNIER, M.; TOLLIER, M.; MONTIES, B. Wood structure, chemical composition, and growth strains in *Eucalyptus* clones. *Annales des Sciences Forestieres*, Paris, v.52, n.2, p.157-172, 1995.

BAMBER, R. The origin of growth stresses: a rebuttal. *IAWA Bulletin*, Leiden, v.8, n.1, p.80-84, 1987.

BAMBER, R. The origin of growth stresses. *Forpride Digest*, Laguna, v.8, n.1, p.75-79, 96, 1979.

BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O.; MIGLIORINI, A.J. Estudo da variação longitudinal da densidade básica de *Eucalyptus* spp. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO – SILVICULTURA, 4., 1983, São Paulo. *Anais...* São Paulo: SBS, 1983.

BOYD, J. Relationships between fibre morphology, growth strains and physical properties of wood. *Australian Forest Research*, Yarralumla, v.10, p.337-360, 1980.

CHANTRE, G.; GOUARI-MOUKINI, R.; GÉRARD, J. Longitudinal residual strains of manuration and kraft pulp yield in the Genus *Eucalyptus*-First Results. In: CONFERENCE EUCALYPTUS PLANTATIONS: improving fibre yield and quality, 1995, Hobart. *Proceedings...*, Hobart: CRCTHF – IUFRO, 1995. p.79.

COLODETTE, J.L.; GOMIDE, J.L.; LONGUE JR., D.; GOMES, C.M. Improving the economics of eucalyptus kraft pulp ECF bleaching. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON EMERGING TECHNOLOGIES OF PULPING AND PAPERMAKING, 3., 2006, Guangzhou. *Proceedings...* Guangzhou: SCUT, 2006. v.1. p.330-335

ERIKSON, R.G. Mechanical grading of lumber sawn from small-diameter lodgepole pine, ponderosa pine and grand fir trees from northern Idaho. *Forest Products Journal*, Madison, v.50, n.7/8, p.59-65, 2000.

- GREAVES, B.L.; BORRALHO, N.M.G.; RAYMOND, C.A.; FARRINGTON, A. Use of a Pilodyn for the indirect selection of basic density in *Eucalyptus nitens*. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v.26, n.9, p.1643-1650, 1996.
- GOMIDE, J.L.; DEMUNER, B.J. Determinação do teor de lignina na madeira: método Klason modificado. **O Papel**, São Paulo, v.47, p.36-38, 1986.
- LIN, S.Y.; DENCE, C.W. **Methods in lignin chemistry**. Berlin: Springer-Verlag, 1992. 48p.
- NICHOLSON, J.; CAMPBELL, G.; BLAND, D. Association between wood characteristics and growth stress level: A preliminary study. **Wood Science**, Madison, v.5, n.2, p.109-112, 1972.
- OKUYAMA, T.; YAMAMOTO, H.; YOSHIDA, Y.; HATTORI, Y.; ARCHER, R. Growth stresses in tension wood: Role of microfibrils and lignification. **Annals of Science Forestry**, Paris, v.51, p.291-300, 1994.
- ONA, T.; SONODA, T.; SHIBATA, M. Relationship between various extracted basic densities and wood chemical components in *Eucalyptus camaldulensis*. **Wood Science and Technology**, New York, v.31, p.205-216, 1997.
- KAAR, W.E.; COOL, L.G.; MERRIMAN, M.M.; BRINK, D.L. The complete analysis of wood polysaccharides using HPLC. **Journal of Wood Chemistry and Technology**, Philadelphia, v.11, p.447-463, 1991.
- RAMALHO, R.S. **O uso de macerado no estudo anatômico de Madeiras**. Viçosa: UFV, 1987. 4p
- REZENDE, G.D.S.P.; SCHIMLECK L.; DEMUNER B.J. Near infrared spectroscopy as an alternative to evaluate eucalypt wood quality at Aracruz. In: BRAZILIAN SYMPOSIUM IN THE CHEMISTRY OF LIGNINS AND OTHER WOOD COMPONENTS, 7., 2001, Viçosa. **Proceedings...** Viçosa: UFV, 2001. p.25-28.
- ROSS, R.J. Nondestructive evaluation of wood. **Forest Products Journal**, Madison, v.48, n.1, p.14-19, 1998.
- SCOTT, R.W. Colometric determination of hexuronic acids in plant materials. **Analytical Chemistry**, Washington, n.7, p.936-941, 1979.
- SMITH, W. Wood quality of some Queensland re-growth open forest hardwoods. IN: ROUTINE RESEARCH CONFERENCE, 1982, Queensland. **Proceedings...** Queensland: Qld Dept Forestry, 1982. p.83
- SOLAR, R.; KACIK, F.; MELCER, I. Simple semi-micro method for the determination of O-acetyl groups in wood and related materials. **Nordic Pulp and Paper Research Journal**, Stockolm, v.4, p.139-141, 1987.
- SUGIYAMA, K.; OKUYAMA, T.; YAMAMOTO, H.; YOSHIDA, M. Generation process of growth stresses in cell walls: Relation between longitudinal released strain and chemical composition. **Wood Science and Technology**, New York, v.27, p.257-262, 1993.
- TAPPI - TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **Standard Methods of Technical Association of the Pulp and Paper Industry**. Atlanta, 2002
- TIMELL, T.E. The chemical composition of tension Wood. **Svensk Papperstidning**, Stockholm v.72, p.173-181, 1969.
- WALLIS, A.; WERNE, R.; WRIGHT, P. Chemical analysis of polysaccharides in plantation eucalypt woods and pulps. **Appita Journal**, Melbourne, v.49, p.427-432, 1996.
- WILKES, J. The influence of rate of growth on the density and heartwood extractives content of eucalypt species. **Wood Science and Technology**, New York, v.18, n.113-120, 1984.
- WU, J.; FUKAZAWA, K.; OHTANI, J. Distribution of syringyl and guaiacyl lignins in hardwoods in relation to habitat and porosity form in wood. **Holzforschung**, Berlin, v.46, n.3, p.181-185, 1992.

Recebido em 24/09/2010  
Aceito para publicação em 05/04/2011