

# INFLUÊNCIA DA MORFOLOGIA DAS FIBRAS NA USINABILIDADE DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden<sup>1</sup>

José Reinaldo Moreira da Silva<sup>2</sup>, Graciela Inês Bolzon de Muñiz<sup>3</sup>, José Tarcísio Lima<sup>2</sup> e Arnaud Francis Bonduelle<sup>3</sup>

**RESUMO** – As dificuldades quanto ao uso da madeira do eucalipto, na forma sólida, estão baseadas na falta de conhecimentos de como trabalhar corretamente esse material. É preciso conhecer a estrutura da madeira e os parâmetros de usinagem para entender suas relações, que proporcionam os bons resultados em qualidade. O presente trabalho visou verificar as variações no sentido medula–casca de diferentes operações de usinagem e das dimensões das fibras da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. A madeira foi proveniente de plantio comercial da Klabin Fabricadora de Papel e Celulose S.A., com 25 anos de idade. Os dados foram avaliados através de análises de variância e testes de médias. Além disso, realizaram-se as correlações de Pearson entre as operações de usinagem e as dimensões das fibras. Foram obtidos diferentes modelos de variação da medula para a casca. Nas operações de usinagem, pôde-se concluir que as condições de corte foram insuficientes para apresentar melhores qualidades das superfícies, podendo destacar as baixíssimas velocidades de corte, que produziram pré-clivagem. A madeira de *Eucalyptus grandis* apresentou resultados satisfatórios, mas inferiores aos do mogno e da imbuía. A utilização de operações como a moldura no topo (corte 90°-90°), moldura axial “parada” (corte 90°-0°) e perfilagem axial sinuosa com faca plana (corte 90°-0°, contra as fibras) permitem apreciar a usinabilidade da madeira, pois esta é usinada sob drásticas condições, podendo mostrar seu verdadeiro potencial.

Palavras-chave: Madeira de eucalipto, usinagem da madeira e morfologia das fibras.

## INFLUENCE OF FIBER MORPHOLOGY ON THE WOOD WORKABILITY OF *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden

**ABSTRACT** – The difficulties to the use of eucalypt as solid wood are based on the lack of knowledge about the process of how to work correctly this material. It is necessary to know both the wood structure and wood workability parameters to better understand their relationships. Thus, this research aimed to identify the variation of wood machining property and the fiber morphology from pith to bark in 25-year-old *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. Data were evaluated through analysis of variance and tests of comparison of means. Then wood machining properties were correlated with fiber dimensions. Different standards of variation from pith to bark were obtained. For wood workability, it was concluded that cut conditions were considered insufficient to present better surface qualities, due to very low cutting velocities, which produced precleavage. *Eucalyptus grandis* wood presented satisfactory surface quality, but poorer than that of mahogany (*Swietenia macrophylla* R.A. King.) and Brazilian Walnut (*Ocotea porosa* (Nees ex.Mart.) Barroso). The operations, such as moulding in top (cut 90°-90°), axial moulding “stopped” (cut 90°-0°) and axial edge cutting with plane knife (cut 90°-0° against the fibers) allowed to better evaluate the workability than other properties, since wood is processed under drastic conditions, showing its true potential.

Key words: *Eucalyptus* wood, workability and fiber morphology.

---

<sup>1</sup> Recebido em 06.11.2003 e aceito para publicação em 20.04.2005.

<sup>2</sup> Departamento de Ciência Florestal da UFLA – Caixa Postal 37 – 37200-000 Lavras-MG. E-mail: <jreinaldo@ufla.br>.

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR, Curitiba-PR. E-mail: <gbmunize@barigui.ufpr.br>.

## 1. INTRODUÇÃO

A madeira, recurso natural renovável, possui vantagens diante de outros materiais utilizados na indústria moveleira, e, conseqüentemente, o conhecimento de suas propriedades associado ao domínio de sua trabalhabilidade contribuem decisivamente para o melhor aproveitamento desse importante recurso natural.

Quando a madeira é destinada ao fabrico de móveis, assoalhos e esquadrias e a outros usos que demandam alta qualidade da superfície, a usinagem bem executada melhora o seu desempenho perante os processos de acabamento superficial, tornando a operação economicamente ajustada. É importante entender a correta trabalhabilidade da madeira, o que requer conhecimento de suas propriedades, dos parâmetros de usinagem e de suas interações.

As variações das propriedades da madeira no sentido da medula à casca se apresentam em maiores ou menores magnitudes, dependendo da espécie e da idade. A otimização do aproveitamento ocorrerá com o conhecimento da variação radial existente, bem como a sua interação com as diferentes operações de usinagem. Isso permitirá estratificar as árvores para fins específicos. Porções de tábuas, dependendo de sua localização no interior da árvore, serão utilizadas para formar componentes específicos dos móveis, baseando-se nas operações de usinagem necessárias à sua confecção.

Segundo Cruz (2000), apesar do grande incremento verificado nas árvores de eucalipto, a madeira não interessava à indústria moveleira, pois apresentava grandes defeitos. Assim, para a sua melhor utilização é essencial o conhecimento das suas propriedades que auxiliarão a escolha correta das espécies mais apropriadas a determinados usos. A madeira apresenta variações nos seus componentes anatômicos, tanto na direção axial (base–topo) quanto na radial (medula–casca), fato intensamente observado em madeiras de eucalipto. Tais variações são de grande importância para sua melhor utilização. A variação existente no sentido axial se apresenta em menores intensidades que àquelas encontradas da medula para a casca (DOWNES et al., 1997; LIMA, 1999).

Diversos autores (BARRICHELO e BRITO, 1976; TOMAZELLO FILHO, 1985; SHIMOYAMA, 1990; CRUZ, 2000) apresentaram resultados inerentes ao comprimento médio das fibras do *Eucalyptus grandis* de aproximadamente 1.000  $\mu\text{m}$ . A variação das proprie-

dades das fibras na direção medula–casca é quase sempre crescente, acompanhando a variação da massa específica.

É sabido que a madeira é anisotrópica, podendo ser usinada em diferentes planos e de diferentes maneiras, em razão da direção e sentido de ataque da ferramenta em relação às fibras. Leitz (2001) definiu que se pode trabalhar a madeira longitudinal e, transversalmente e no topo, conhecendo previamente suas peculiaridades.

É importante ressaltar que a qualidade da usinagem é apresentada diferentemente por dois grupos de pesquisadores. O primeiro grupo conceitua a qualidade apenas através dos valores normativos da usinagem, com base no cálculo do avanço por dente ( $f_z$ ) ou da profundidade do arco ciclóide ( $t$ ), sendo expresso em marcas por milímetros (COSTA, 1996; CETMAM/SENAI, 1996; SENAI, 1995). O segundo grupo considera não somente esses parâmetros, como também a presença de falhas na superfície. Elas são geradas pela estrutura da madeira, em função dos diferentes tipos, dimensões e orientações das células. Toda essa variação estrutural pode apresentar defeitos na forma de “buracos”, trincas e pré-rachamentos (BONDUELLE et al., 2002; SILVA et al., 1999). A diferença entre os dois grupos está relacionada às características do material a ser usinado.

O presente trabalho objetivou estudar o comportamento das operações de usinagem e caracterizar a variação radial das propriedades das fibras de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, bem como analisar as associações de cada operação de usinagem com as propriedades estudadas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

As árvores de *Eucalyptus grandis* utilizadas, em número de 6, possuíam 25 anos de idade e eram procedentes da Klabin Fabricadora de Papel e Celulose S.A. Após o abate foi coletada uma tora localizada entre 3 e 6 m de altura. De cada tora, coletaram-se dois discos, sendo um em cada extremidade, para a caracterização morfológica das fibras. Esses discos foram identificados, mantendo-se seu posicionamento original. A retirada das amostras para as análises anatômicas foi executada nas regiões central, intermediária e externa, ressaltando-se que cada uma correspondia a 33% do raio. As amostras foram transformadas em palitos finos. A mistura foi depositada em tubos de ensaio, macerada através do método de Jeffrey e corada

com safranina (1,0%). Aleatoriamente, mediram-se o comprimento total e os diâmetros externo e interno em 30 fibras inteiras.

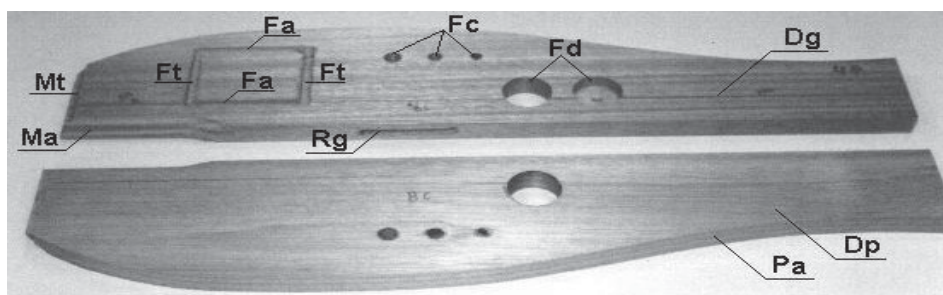
As toras foram imediatamente encaminhadas à serraria, em que os topos das toras foram pintados em três cores, definindo as regiões central, intermediária e externa. Num intervalo de 24 horas, as toras foram desdobradas em uma serra de fita simples e refiladas numa serra circular múltipla, originando tábuas radiais e tangenciais, que foram identificadas por região e secadas em estufa convencional até 12% de umidade. As tábuas secas foram transportadas para o Centro de Tecnologia da Madeira e do Mobiliário (CETMAM/SENAI), localizado em São José dos Pinhais, PR, onde foram novamente entabecadas, por 30 dias, para a uniformização da umidade. Após esse período, foram executados cortes transversais para descartar 200 mm e obter duas peças de 800 mm. A seguir, executou-se o aplainamento, obtendo 20 corpos-de-prova (800 x 185 x 25 mm) por tora. Foram registradas as regiões de origem de cada corpo-de-prova dentro da tora. Paralelamente, cinco peças de mogno e cinco de imbuúia foram empregadas para comparação com os testes de usinagem do eucalipto. Baseando-se na norma ASTM D1666-87 (1995), foram executados os testes de usinagem, englobando desempenho, desengrosso, moldura axial “parada”, moldura no topo, perfilagem axial sinuosa com faca plana, rasgo na furadeira horizontal, fresagem axial e transversal na tupa superior e furação para cavilha e para dobradiça (Figura 1).

Para evitar variações causadas pelo operador foram

executados pré-testes, estabelecendo-se velocidades de avanço semelhantes. Posteriormente, foram verificadas as rotações dos eixos, e mediram-se os diâmetros das ferramentas. Calcularam-se os parâmetros de usinagem e as velocidades de corte. A influência do desgaste das ferramentas na qualidade das usinagens foi minimizada pelo sorteio dos corpos-de-prova e pela troca freqüente das ferramentas. Para qualificação das usinagens, utilizaram-se notas de apreciação da superfície com critérios cuidadosamente determinados, mas que possuíam caráter subjetivo. A sistemática foi através de notas de três avaliadores isolados e das combinações dos anteriores dois a dois, que foram atribuídas separadamente para cada peça e região. Os defeitos observados foram lasqueamento, arrancamento de fibras com formações de depressões e arripiamento (presença de pedaços de fibras), que foram quantificados em função da necessidade de retrabalho para obter uma ótima qualidade.

Os resultados foram interpretados estatisticamente, por meio da análise de variância, sendo a comparação entre os tratamentos feita através do teste F a 5% de significância. Nas propriedades em que a hipótese nula foi rejeitada, as médias foram comparadas também a 5% de significância, pelo teste de Tukey (software “Statgraphics”).

Determinaram-se, ainda, as correlações de “Pearson” entre as operações de usinagem com a morfologia das fibras da madeira. Essas correlações foram testadas pelo teste F a 5% de significância e realizadas no software “Statistica”.



**Figura 1** – Corpo-de-prova dos testes de usinagem, em que Dp= desempenho, Dg= desengrosso, Ma= moldura axial “parada”, Mt= moldura no topo, Pa= perfilagem axial sinuosa com faca plana, Rg= rasgo na furadeira horizontal, Fa= fresagem axial, Ft= fresagem transversal, Fc= furação para cavilha e Fd= furação para dobradiça.

**Figure 1** – Wood workability specimens, where Dp = jointing, Dg = planing, Ma = stopped axial moulding, Mt = top moulding, Pa = axial sinuous profiling using plane knife, Rg = mortising in the horizontal drill, Fa = axial fresagem, Ft = transversal cutter block, Fc = boring for dowell and Fd = boring for hinge.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. Dimensões das fibras

Os valores médios obtidos para as dimensões das fibras da madeira nas três diferentes regiões, bem como os respectivos coeficientes de variação, encontram-se na Tabela 1.

A análise de variância (Anexo 1) apresentou diferença significativa, considerando-se as regiões central, intermediária e externa. Pela comparação múltipla (Tabela 2), observou-se uma tendência ao aumento da medula à casca no comprimento das fibras, ressaltando-se que as regiões intermediária e externa se mostraram mais próximas entre si, que, segundo Ceccantini (1996), pode estar demonstrando a tendência à formação de madeira adulta a partir desse ponto. Esses resultados estão em conformidade com Shimoyama (1990), que afirmou que o gênero *Eucalyptus* possui comprimento de fibras próximo de 1.000  $\mu\text{m}$  e que tende a variar crescentemente da medula para a casca. A região central registrou menor média geral, não diferindo estatisticamente da região intermediária, mas que diferiu da região externa. Considerando os dados absolutos, pode-se afirmar que os resultados se encontram de acordo com Tomazello Filho (1985), Alfonso (1987), Shimoyama (1990) e Cruz (2000). A presença de madeira juvenil pode ser verificada através dos reduzidos valores dos comprimentos das fibras e resultar em alterações na qualidade da madeira.

Para o diâmetro externo, observou-se que não existe um padrão de variação definido nas diferentes regiões radiais. Esse resultado foi diferente daqueles encontrados por Tomazello Filho (1985), Shimoyama (1990) e Cruz (2000), que mostraram tendências de aumento da medula para a casca. Contudo, os valores médios de cada região encontram-se em consonância com os trabalhos dos autores citados. No Anexo 1, encontra-se a análise de variância do diâmetro externo. Pode-se notar que não existe diferença significativa entre as diferentes regiões.

Os valores médios obtidos para o diâmetro interno das fibras, também denominados diâmetros do lume, encontram-se na Tabela 2, indicando uma tendência decrescente da medula para a casca. Esses resultados diferem de alguns dados encontrados na literatura, que apontam tendências de variação crescente, relacionando-se diretamente com a variação da massa específica. É certo esperar que se a massa específica tende a aumentar da medula para a casca, contudo, para ratificar esse aumento, seria esperado um decréscimo do diâmetro interno e não um aumento. Dessa forma, seria apresentada uma tendência de variação inversa com a massa específica, conforme encontrado neste trabalho. Pelo Anexo 1, verifica-se a existência de diferença significativa nas regiões radiais. A Tabela 2 ilustra a magnitude da variação existente e a comparação múltipla entre as médias obtidas.

**Tabela 1** – Valores médios e coeficiente de variação (CV) das dimensões das fibras da madeira de *Eucalyptus grandis*  
**Table 1** – Mean values and coefficient of variation (CV) for fiber dimensions of *Eucalyptus grandis* wood

Dimensões das fibras	Média ( $\mu\text{m}$ ) por Região			CV (%) por Região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
Comprimento	1046,7	1147,6	1199,1	16,4	14,8	14,2
Diâmetro externo	18,4	19,1	18,7	23,5	22,6	23,6
Diâmetro interno	11,2	10,7	9,2	34,12	35,2	38,7
Espessura da parede	3,6	4,2	4,8	31,6	33,0	32,0

**Tabela 2** – Comparação múltipla das médias das dimensões das fibras ( $\mu\text{m}$ ) da madeira de *Eucalyptus grandis*  
**Table 2** – Multiple comparison of means for fiber dimensions ( $\mu\text{m}$ ) of *Eucalyptus grandis* wood

Regiões	Comprimento ( $\mu\text{m}$ )	Diâmetro Interno ( $\mu\text{m}$ )	Espessura da Parede ( $\mu\text{m}$ )
Central	1046,7 a	11,2 a	3,6a
Intermediária	1147,6 ab	10,7 ab	4,2 b
Externa	1199,1 b	9,2 b	4,8 c

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A espessura das paredes das fibras representa uma operação matemática entre os diâmetros externo e interno. Os resultados (Tabela 1) indicam uma variação crescente da medula para a casca. Esses resultados estão em conformidade com Cruz (2000). Através da análise de variância, notou-se uma diferença significativa nas três regiões (Anexo 1), fato comprovado pela comparação múltipla das médias, presente na Tabela 2.

### 3.2. Operações de usinagem

Os valores médios obtidos para as operações de usinagem da madeira, nas três diferentes regiões e nos respectivos coeficientes de variação, encontram-se listados na Tabela 3.

Podem-se dividir os resultados das operações de usinagem em dois grupos. O primeiro grupo é representado pelas operações com diferenças estatísticas não-significativas (Anexo 2), englobando o desempenho, o desengrosso, a fresagem axial e transversal e a furação para cavilha. O segundo grupo resultou em diferenças significativas entre posições radiais (Anexo 3), que serão discutidas separadamente.

O aspecto final do produto pode ser melhorado, alterando as linhas retas por diversos perfis. Essa operação é conhecida por moldura axial, grandemente difundida pelos “designers”, e representa os perfis ao longo das fibras. Para essa operação, as notas obtidas foram consideradas altas, e nenhum corpo-de-prova recebeu nota inferior a 2, e a máxima foi 7. Esses altos valores devem-se ao fato de que a moldura foi realizada com uma parada final, isto é, após a introdução do corpo-de-prova executava-se a usinagem por certa distância e retirava-se o corpo-de-prova sem que toda a sua extensão fosse usinada. Esse procedimento

promoveu tensões de lasqueamento no ponto de saída da ferramenta. Na prática, quando o objetivo é executar esse tipo de operação parada, deve-se utilizar uma máquina que possua, pelo menos, dois eixos, sendo a usinagem executada no mesmo plano e direção, mas em sentidos opostos. A média geral da moldura axial “parada” para o eucalipto foi igual a 5,0. Comparativamente ao mogno e à imbuía, que foram de 4,5 e 3,8, respectivamente, o eucalipto apresentou desempenho de forma satisfatória. Através da análise de variância, presente no Anexo 3, notou-se que existe diferença significativa entre as regiões radiais. Na Tabela 4, encontra-se a comparação múltipla entre as regiões radiais. Observa-se, nessa figura, que a região central diferiu das demais e obteve a menor média, indicando melhor qualidade para a operação de moldura axial “parada”.

Da mesma forma que a moldura axial, é comum confeccionar molduras transversais nas peças. Essa operação é mais delicada que a anterior, em razão da orientação dos esforços de corte diante da disposição das fibras. Observou-se que existe tendência decrescente das notas atribuídas à moldura de topo da medula para a casca (Tabela 3). A análise de variância (Anexo 3) indicou a diferença estatística nas diferentes regiões radiais. Na Tabela 4, encontra-se a comparação múltipla das médias das regiões radiais. A região externa apresentou a menor nota média, o que significa melhor qualidade para a operação de moldura no topo. A nota média geral da madeira do eucalipto foi de 3,2, resultando em qualidade inferior à do mogno e à da imbuía, que receberam notas de 1,7 e 2,3, respectivamente. É importante salientar que, quanto menor o valor da nota atribuída, melhor a qualidade da superfície usinada.

**Tabela 3** – Valores médios das notas e coeficiente de variação (CV) por árvore e região dentro da tora, para as operações de usinagem da madeira de *Eucalyptus grandis*

**Table 3** – Mean scores and coefficient of variation (CV) of wood machining processes per tree and within the log of *Eucalyptus grandis*

Operações de Usinagem	Média por Região			CV (%) por Região		
	C	I	E	C	I	E
Desempenho	2,3	2,3	1,8	61,3	61,3	67,6
Desengrosso	1,6	1,6	1,3	64,4	58,5	49,9
Moldura axial “parada”	4,2	5,2	5,5	28,4	23,0	18,5
Moldura no topo	4,3	2,9	2,5	16,2	29,2	24,4
Perfilagem axial sinuosa	3,0	3,6	4,2	38,5	36,6	32,3
Rasgo na furadeira horizontal	2,6	3,3	2,9	21,8	23,5	26,7
Fresagem axial e transversal	3,9	3,9	3,8	27,2	20,9	22,7
Furação para cavilhas	4,2	4,5	4,3	14,1	12,2	14,0
Furação para dobradiça (mm)	0,51	0,38	0,32	50,3	56,1	64,3

C, I e E representam as regiões central, intermediária e externa, respectivamente.

**Tabela 4** – Comparação múltipla das médias das operações de usinagem da madeira de *Eucalyptus grandis*  
**Table 4** – Multiple comparison of means for wood machining processes of *Eucalyptus grandis*

Operação de Usinagem	Região Dentro da Tora		
	Central	Intermediária	Externa
Moldura axial “parada”	4,2 a	5,2 b	5,5 b
Moldura no topo	4,3 a	2,9 b	2,5 c
Perfilagem axial sinuosa	3,0 a	3,6 a b	4,2 b
Rasgo no canto	2,6 a	3,3 b	2,9 a b
Furação para dobradiça	0,5 a	0,4 a b	0,3 b

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A operação de perfilagem axial com faca plana foi executada numa curva sinuosa. As notas foram atribuídas apenas à região de usinagem contra as fibras, isto é, na região da perfilagem em curva ascendente. Nas demais regiões, o resultado sempre assemelhou-se ao encontrado na operação de desempenho. Essas condições estabelecidas forneceram condições de corte não adequadas e apresentaram avaliações rígidas para a superfície usinada, com o intuito de avaliar o potencial da usinabilidade da madeira do eucalipto, em comparação com o mogno e a imbuía. No Anexo 3, encontra-se a análise de variância, onde se pode verificar a diferença estatística nas três regiões radiais de amostragem. Na Tabela 4, encontram-se a variação entre as regiões radiais e a comparação múltipla entre as médias obtidas. A média geral da perfilagem axial sinuosa do eucalipto foi de 3,6. Esse valor pode ser considerado de qualidade inferior à imbuía e ao mogno, que obtiveram valores 1,3 e 2,0, respectivamente.

A operação de rasgo executada na furadeira horizontal apresentou diferença estatística significativa

(Anexo 3) entre as posições radiais amostradas. Na Tabela 3 estão apresentadas a tendência observada e a comparação múltipla entre essas posições radiais. A região central apresentou melhor qualidade (notas baixas), diferindo-se da região intermediária. A média geral entre as regiões foi de 2,9. Comparativamente aos valores para mogno e imbuía, de 3,2 e 2,4, respectivamente, pode-se enquadrar a madeira do eucalipto como apta para a operação de rasgo no canto do corpo-de-prova.

A análise de variância da furação dobradiça (Anexo 3) indicou que existe diferença estatística a 5% de significância entre as regiões radiais de amostragem. Na Tabela 4, encontram-se a variação observada e a comparação múltipla entre as médias das diferentes regiões. Observa-se, nessa tabela, que a região central apresentou o pior desempenho nessa operação. Os valores médios encontrados de 0,1 e 0,2 mm para a imbuía e o mogno indicam que a madeira do eucalipto merece reavaliação das condições de execução dessa operação.

### 3.3. Associações entre as operações de usinagem e as dimensões das fibras

Executaram-se as correlações de Pearson entre as diferentes operações de usinagem e as dimensões das fibras. Cabe ressaltar que altas notas atribuídas às operações de usinagem referiram-se às baixas qualidades. Na Tabela 5, encontram-se os resultados para as correlações. Observa-se, nessa tabela, que as operações de desempenho, desengrosso, rasgo na furadeira horizontal, fresagem axial, fresagem transversal e furação da dobradiça não apresentaram correlações estatisticamente significativas.

**Tabela 5** – Valores das correlações de “Pearson” entre as operações de usinagem e as características das fibras da madeira de *Eucalyptus grandis*

**Table 5** – Pearson’s correlation among wood machining processes and fiber morphology of *Eucalyptus grandis*

Tipo de Operação	Comprimento	Diâmetro Externo	Diâmetro Interno	Espessura de Parede
Desempenho	-0,0589*	0,1803	0,2908*	-0,2499*
Desengrosso	-0,0006*	0,0204	0,0559*	-0,0635*
Moldura axial “parada”	0,1933*	0,1905	-0,1305*	0,4984*
Moldura no topo	-0,4518*	0,0412	0,4031*	-0,6936*
Perfilagem axial	0,5601*	-0,1090	-0,1090*	0,4990*
Rasgo	0,1431*	-0,2026	-0,1869*	0,0670*
Fresagem	0,0102*	0,2152	0,2399*	-0,1345*
Furação cavilha	0,4409*	0,2294	0,2159*	-0,0824*
Furação dobradiça	0,1537*	0,3197	0,3547*	-0,1971*

\* = significativo a 5% de significância.

A correlação negativa entre a moldura no topo e o comprimento das fibras pode ser entendida pela distribuição das fibras na madeira. Ela afeta a forma de contato com o gume de corte da fresa. A presença de fibras com maior comprimento possivelmente evita seu brusco arrancamento, com possível formação de buracos ou arrepiamentos, pois a zona de ataque da ferramenta age diretamente no topo, tendo o diâmetro ou sua extremidade (ponta afilada) como o ponto de corte ou de arrancamento. A região externa possui, em média, maior valor para o comprimento das fibras e, conseqüentemente, melhor qualidade para a moldura no topo. Para minimizar os arrancamentos das fibras, devem-se utilizar velocidades de corte mais altas, que facilitam as incisões das fibras.

A perfilagem axial apresentou correlação positiva com o comprimento das fibras, indicando que, quanto mais longa a fibra, maior a nota atribuída e, conseqüentemente, pior a qualidade da superfície usinada. O ponto inicial de contato da ferramenta nesta operação é a ponta da fibra (diâmetro). Contudo, devido ao sentido de avanço axial do corpo-de-prova, o comprimento da fibra é que se apresenta ao corte ou arrancamento. As depressões formadas são mais longas quanto mais compridas forem as fibras. Esse fato resulta em baixas qualidades da superfície.

A correlação positiva entre a furação para cavilha e o comprimento das fibras merece destaque. Pequenos diâmetros das ferramentas e baixas frequências de rotação das furadeiras produziram baixíssimas velocidades de corte, de 0,8 a 1,5 m/s. Tais condições tornaram os arrepiamentos mais evidentes que as incisões das fibras. É de fácil compreensão que, quanto maior o comprimento da fibra, maior a possibilidade de levantamento após sua incisão, principalmente se as velocidades de corte forem baixas e a operação de furação for executada na face do corpo-de-prova.

A medida que o diâmetro interno das fibras aumenta, o valor da nota atribuída à moldura no topo também aumenta e, conseqüentemente, a qualidade da superfície obtida diminui. A presença de lumes maiores das células, após o corte, apresenta-se como pequenos buracos. Esses dados são corroborados com a variação dos diâmetros internos e da qualidade da moldura no topo entre as regiões radiais. Tais variações indicaram que a região central possuía diâmetros internos maiores e também piores qualidades para a operação em questão.

A correlação positiva entre a moldura axial “parada” e a espessura de parede não ocorreu de acordo com a literatura pertinente, que prevê melhoria da usinagem com o aumento da espessura da parede, pois essa característica estaria diretamente ligada ao aumento da massa específica. Contudo, a variação da espessura da parede foi acompanhada de aumento no comprimento da fibra, o qual torna a separação entre porções de fibras mais fácil, isto é, a madeira atinge condições de pré-clivagem, tão logo se inicia a usinagem, e sua magnitude é tão maior quanto maior a dimensão da fibra. Através dos critérios de avaliação dos corpos-de-prova, verificou-se que a presença de perfil incompleto, que é diretamente proporcional à pré-clivagem, foi determinante na baixa qualidade dessa operação de usinagem, através das altas notas atribuídas.

O aumento da espessura de parede é um reflexo simultâneo do aumento do diâmetro externo e da redução do diâmetro interno. A correlação negativa entre a moldura no topo e a espessura da parede pode ser entendida pelo fato de que as fibras com paredes mais espessas apresentaram melhores aspectos de corte, não sendo amassadas ou parcialmente cortadas. Além disso, após o corte, a superfície usinada apresentou orifícios menores pela presença de lumes com dimensões reduzidas.

A correlação positiva entre a perfilagem axial e a espessura de parede, semelhante à correlação com a moldura axial “parada”, também não foi de acordo com a literatura pertinente, ligada à variação da massa específica. Contudo, os mesmos critérios podem ser considerados, principalmente pelo fato de a usinagem ter sido executada e avaliada na curva ascendente contra as fibras, que facilitam ainda mais a pré-clivagem. Cabe salientar que, quanto maiores as dimensões das fibras, maior a indução da pré-clivagem. Nesse sentido, pode-se relatar que um corpo-de-prova da região externa, que possuía maiores dimensões médias das fibras, rachou-se completamente na região citada.

#### 4. CONCLUSÕES

As diferentes propriedades da madeira e operações de usinagem, no sentido medula-casca, comportaram-se com tendências distintas, podendo ser agrupadas em:

1. Tendência crescente – comprimento das fibras, espessura de parede das fibras, diâmetro externo, moldura axial “parada” e perfilagem axial sinuosa com faca plana.

2. Tendência decrescente – diâmetro interno, desempenho, desengrosso, moldura no topo, furação para dobradiça.

3. Tendência decrescente até a região intermediária, seguida de acréscimo ou manutenção – rasgo na furadeira horizontal, furação para cavilhas.

4. Constante – fresagens axial e transversal.

Para as operações de usinagem, pode-se concluir que as atuais condições de corte são consideradas insuficientes para apresentar melhores qualidades das superfícies usinadas. Nesse sentido, podem-se frisar as baixíssimas velocidades de corte, que geraram pré-clivagem em várias operações. Apesar disso, o *Eucalyptus grandis*, aos 25 anos, apresentou resultados, em média, satisfatórios, mas inferiores ao do mogno e da imbuía, em termos de qualidade.

A utilização de operações como a moldura no topo (corte 90°-90°), moldura axial “parada” (corte 90°-0°) e perfilagem axial sinuosa com faca plana (corte 90°-0°), principalmente no sentido contra as fibras, permite, realmente, apreciar a usinabilidade da madeira. Nessas operações, a madeira é usinada sob drásticas condições, podendo mostrar seu verdadeiro potencial. Se durante os estudos de comparação, quer seja entre diferentes madeiras, quer diferentes regiões da árvore, os resultados encontrados, em termos de qualidade, são satisfatórios nessas condições, pode-se prever que sob condições otimizadas de usinagem a madeira fornecerá melhores qualidades das superfícies. Contudo, torna-se necessário comprovar as novas condições de corte.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFONSO, V. A. **Caracterização anatômica do lenho e da casca das principais espécies de Eucalyptus L'Herit. Cultivadas na Brasil.** 1987. 188f. Tese (Doutorado em Ciências). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 1666-87 Standard Method for conducting machining tests of wood and wood base materials (reapproved 1994).** Philadelphía: 1995. p. 226 - 245.

BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. A **madeira das espécies de eucalipto como matéria-prima para a indústria de celulose e papel.** Brasília: PNUD/FAO/IBDF/BRA-45. PRODEPEF, 1976. 145p. (Série Divulgação, 13).

BONDUELLE, A.; CRUZ, C. R.; SILVA, J. R. M. **Notas de aula do processamento da madeira.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2002. 26p.

CECCANTINI, G. **Anatomia ecológica do lenho de espécies de cerrado e mata:** *Casearia sylvestris* Sw. e *machaerium villosum* Vog. 1996. 117f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

CETMAM/SENAI. **Fundamentos teóricos da afiação e manutenção de ferramentas para a indústria moveleira e madeireira.** São José dos Pinhais: 1996. 73p.

COSTA, E. M. A madeira de eucalipto na indústria moveleira. In: SEMINÁRIO SOBRE PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE REFLORESTAMENTO, **Anais...**, Curitiba/ABPM/SBS, 1996. p.75-89.

CRUZ, C. R. **Caracterização da madeira de clones de Eucalyptus para a utilização na indústria madeireira.** 2000. 64f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

DOWNES, G. M. et al. **Samplimg plantation eucalypts for wood and fibre properties.** Collingwood: CSIRO PUBLISHING, 1997. 132p.

LEITZ DAS LEITZ LEXIKON. 3. ed. Unterschneidheim, 2001. Não paginado.

LIMA, J. T. **Clonal variation in the solid wood properties of Eucalyptus.** 1999. 276f. Thesis (Doctorate in Wood Science and Technology) University of Wales, Bangor, 1999.



SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL - SENAI. **Acabador de móveis**. Ubá-MG, 1995. 29p.

SHIMOYAMA, V. R. S. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus spp.*** 1990. 93f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1990.

SILVA, J.R.M. et al. Preparação de superfícies de madeira e derivados para receber acabamento. **Boletim Agropecuário**, v.28, p. 05-26, 1999.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, v.29, p.37-45, 1985.

## ANEXOS

**Anexo 1** – Análises de variância das dimensões das fibras em função da região medula–casca  
*Attached 1* – *Analysis of variance of fiber dimensions from pith to bark*

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio do Resíduo			
		Comprimento	Diâmetro externo	Diâmetro interno	Espessura de parede
Região	2	72199,2*	1,38 n.s.	12,66*	4,06*
Resíduo	33	10352,6*	2,21 n.s.	3,53	0,21*
Total	35				

\* - significativo a 5% de significância; n.s. - não significativo a 5% de significância.

**Anexo 2** – Análises de variância das operações de usinagem da madeira em função da região medula–casca, cujos resultados não foram significativos

*Attached 2* – *Analysis of variance of wood machining process, from pith to bark whose results were non-significant*

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio do Resíduo			
		Desempeno	Desengrosso	Fresagens axial e transversal	Furação cavilha
Região	2	1,07 <sup>n.s.</sup>	0,46 <sup>n.s.</sup>	0,017 <sup>n.s.</sup>	0,325 <sup>n.s.</sup>
Resíduo	33	0,83 <sup>n.s.</sup>	0,18 <sup>n.s.</sup>	0,367 <sup>n.s.</sup>	0,183 <sup>n.s.</sup>
Total	35				

n.s. – não significativo a 5% de significância.

**Anexo 3** – Análises de variância das operações de usinagem, significativas, da madeira em função da região medula-casca  
*Attached 3* – *Analysis variance of significant wood machining processes, from pith to bark*

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio do Resíduo				
		Moldura axial “parada”	Moldura no topo	Perfilagem axial	Rasgo na furadeira horizontal	Furação dobradiça
Região	2	4,53*	10,34*	4,54*	1,26*	0,111*
Resíduo	33	0,53*	0,13*	0,78*	0,16*	0,030*
Total	35					

\* - significativo a 5% de significância.