

Relações entre dimensões de fibras e de densidade da madeira ao longo do tronco de *Eucalyptus urograndis*Wood Fiber size and density relationship along the stem of *Eucalyptus urograndis*Joaquim Carlos Gonzalez<sup>1</sup>, Gleidson Leitão dos Santos<sup>2</sup>, Francides Gomes da Silva Junior<sup>3</sup>, Ildeu Soares Martins<sup>1</sup> e Julia de Almeida Costa<sup>4</sup>

---

**Resumo**

A indústria de celulose e papel no Brasil tem como matéria prima básica a madeira de *Eucalyptus*. A variação dos constituintes anatômicos da madeira, principalmente ao nível de fibras, certamente irá influenciar a qualidade da polpa a ser produzida. Este trabalho teve como objetivo caracterizar a madeira de *Eucalyptus urograndis*, sob o ponto de vista da anatomia de fibras e da densidade básica, verificando a variação desses parâmetros, ao longo do fuste de árvores provenientes de um plantio da região do Distrito Federal, considerando o seu aproveitamento na indústria de celulose. Para a realização desta pesquisa foi utilizada madeira de cinco árvores de *Eucalyptus urograndis*, com 8 anos de idade. De cada árvore foram retirados cinco discos de aproximadamente 3,0 cm de espessura. Cada disco correspondendo a uma posição específica no tronco: 0% (base), 25%, 50%, 75%, e 100% da altura comercial. As dimensões de fibras determinadas nas diferentes posições do tronco foram o comprimento, a largura, a espessura da parede e o diâmetro do lume, além da densidade básica. Os resultados mostram que as fibras apresentam dimensões médias de 0,90mm de comprimento, 16,51µm de largura e 5,61 µm de espessura. O comprimento de fibras da madeira mostra tendência de ser maior na parte superior do fuste. A densidade básica média é de 0,510 g/cm<sup>3</sup>. Observou-se, também, uma tendência da parte superior do tronco possuir densidade mais elevada. As variáveis estudadas contribuem para a caracterização da madeira, devendo ser tomada em consideração para otimizar a produção de celulose a partir desta matéria prima.

**Palavras-chave:** *Eucalyptus urograndis*, fibras, densidade.

**Abstract**

The basic raw material in the Brazilian pulp and paper industry is *Eucalyptus* wood. The variation in the anatomical wood constituents, especially in fiber affects the quality of pulp to be produced. This study aimed to characterize *Eucalyptus urograndis* anatomy and fiber density, checking the variation of these parameters along the stem of trees, from a plantation in the Federal District region, for its use in the pulp industry. For this research we used wood from five trees of *Eucalyptus urograndis*, aged 8 years. Five disks of approximately, 3.0 cm thickness were taken from each plant. Each disk corresponded to a specific position on the trunk: 0% (base), 25%, 50%, 75% and 100% of the commercial height. The measured fiber dimensions in fixed positions of the stem were: length, width, thickness and lumen diameter and specific gravity. The results show that the fibers have a mean size of 0.90 mm in length, are 16.51 µm wide and 5.61 µm thick. The length of wood fibers has tended to be greater on the tip of the stem. The average basic density was 0.510 g/cm<sup>3</sup>. There was also a tendency for higher density on the upper part of the stem. The above variables contribute to the characterization of the timber and must be taken into account for optimizing pulp production.

**Keywords:** *Eucalyptus urograndis*, fiber, density, relationship.

---

<sup>1</sup>Professor Doutor. UNB - Universidade de Brasília - Depto de Engenharia Florestal - 70919-900 - Brasília, DF. E-mail: [goncalvez@unb.br](mailto:goncalvez@unb.br); [ildmarti@unb.br](mailto:ildmarti@unb.br).

<sup>2</sup>Engenheiro Florestal - UNB - Universidade de Brasília - Depto de Engenharia Florestal - 70919-900 Brasília, DF. E-mail: [gleidsonleitao@yahoo.com.br](mailto:gleidsonleitao@yahoo.com.br).

<sup>3</sup>Professor Doutor. USP - Universidade de São Pauli, ESALQ - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Depto Ciências Florestais - 13418-900 - Piracicaba, SP. E-mail: [fjrgomes@terra.com.br](mailto:fjrgomes@terra.com.br).

<sup>4</sup>Engenheira Florestal, Mestre em Ciências Florestais. UNB - Universidade de Brasília - Depto de Engenharia Florestal - 70919-900 - Brasília, DF. E-mail: [julia\\_kosuta@yahoo.com.br](mailto:julia_kosuta@yahoo.com.br)

## INTRODUÇÃO

A madeira é um material heterogêneo e a diversidade de sua estrutura, sobretudo a composição anatômica e química, é refletida em suas propriedades. A ausência de continuidade física da madeira se deve não só a esta estrutura, mas também, à espécie considerada, ao manejo silvicultural e ao sítio.

Assim, torna-se importante o conhecimento das propriedades da madeira, suas variabilidades, o seu controle e os seus efeitos na qualidade do produto final. Atualmente, numerosos esforços têm sido feitos para obtenção de árvores com madeiras mais uniformes, ajudando a evitar ineficiências e melhorando a sua utilidade. A indústria de celulose é um dos segmentos que mais tem investido em pesquisa de qualidade da madeira.

Devido à grande importância da utilização de espécies de *Eucalyptus* para a economia brasileira, tendo em vista extensas áreas cultivadas no território nacional, os novos materiais genéticos de espécies puras e de seus híbridos, multiplicados pelo processo de clonagem ou por sementes em experimentos e plantações comerciais, necessitam de pesquisas para serem melhores conhecidos e relacionados com os parâmetros de qualidade.

Os híbridos do gênero *Eucalyptus* vêm adquirindo importância no Brasil por proporcionarem árvores com rápido crescimento, resistentes a pragas e doenças e com madeira de alta qualidade.

O *Eucalyptus urograndis* é uma espécie híbrida, resultado do cruzamento do *E. urophylla* com o *E. grandis*, que apresenta um bom crescimento (característica do *E. grandis*) com maior densidade da madeira, melhorando o rendimento e propriedades físicas da celulose (características do *E. urophylla*) (CARVALHO, 2000).

Desta forma, o híbrido mais utilizado no Brasil para obtenção de celulose de fibra curta é o *Eucalyptus urograndis*, que se mostrou altamente adaptado à indústria de celulose e papel, apresentando elevados rendimentos e alta qualidade da polpa.

Sob o ponto de vista da utilização tecnológica da madeira, torna-se extremamente importante o estudo da variação individual e o diagnóstico da variabilidade dentro da árvore, tanto no sentido radial (medula-casca) quanto no sentido longitudinal (base-topo). Estas informações não só serão úteis às indústrias, mas, também, aos fabricantes de máquinas e equipamentos, que poderão otimizar seus produtos.

Segundo Ferreira e Brasil (1972), e Tsoumis (1991) a estrutura anatômica do lenho depende das condições de crescimento da árvore e de seu material genético, sendo que qualquer modificação em sua estrutura irá influenciar na sua utilização industrial, pois afeta a sua qualidade. Dentre as propriedades físico-anatômicas mais importantes destacam-se: a densidade, o comprimento e espessura da parede das fibras.

A variabilidade das dimensões dos elementos do lenho pode ser constatada, não somente ao nível de gênero e espécie, mas, também, ao nível de indivíduo. Desta maneira, dentro de um anel anual, é perfeitamente possível ser observada uma variação no comprimento de fibras ou traqueídeos, em virtude de sua posição ao longo da altura do tronco.

As dimensões das fibras são indicadores importantes do potencial de uma madeira para a fabricação de celulose e papel. Estas exercem influência direta nas variáveis do processo, principalmente no grau de refino, na qualidade da pasta e, conseqüentemente, nas resistências físicas e mecânicas do papel (BARRICHELO; BRITO 1976; FOELKEL, 2010; HASSEGAWA, 2003; KLOCK et al., 2005; SHIMOYAMA, 1990).

Bhat et al. (1990) ao estudarem árvores de *E. grandis* aos três, cinco, sete e nove anos, mensuraram o comprimento das fibras a 0, 25, 50 e 75% da altura total do tronco e em três pontos do raio, encontrando diferenças significativas em relação à idade das árvores. Em média, o comprimento das fibras aumentou de 0,81 mm aos três anos, para 1,15 mm aos nove anos. Quanto à variação em altura do tronco, houve um pequeno aumento de 25%, do comprimento das fibras, que decresceu, posteriormente, até o topo das árvores.

Rocha et al. (2004) pesquisando o *Eucalyptus grandis* conclui que na posição axial (base-topo das árvores), os maiores valores das dimensões das fibras foram observados entre 0 e 25% da altura comercial; os maiores comprimentos de vaso e a menor frequência foram encontrados a 25% da altura comercial; os vasos mais largos foram verificados a 75% da altura comercial; os raios mais altos e mais largos foram encontrados a 50%, enquanto os mais frequentes a 100% da altura comercial; maiores valores de Índice de Runkel e fração parede foram observados nas posições mais altas do tronco (50, 75 e 100%).

A densidade aparente da madeira no gênero *Eucalyptus* varia entre 0,40 e 1,20 g/cm<sup>3</sup>, podendo ser classificada como leve, média e pesada, de

acordo com o valor obtido. As características das dimensões das fibras e a densidade da madeira variam, significativamente, entre e dentro das árvores e podem ser controladas geneticamente. Estas características, também podem ser influenciadas pelas diferentes práticas silviculturais e de manejo (ZOBEL; BUJTENEN, 1989).

Para Lopes e Garcia (2002), além de indicativo da qualidade da madeira, a densidade constitui-se em um bom índice de viabilidade de utilização em diversos fins, sendo uma característica passível de melhoramento genético e considerada altamente herdável.

De acordo com Barrichelo et al. (1982), é importante o estudo da variabilidade da densidade básica dentro da árvore, uma vez que esta varia no sentido radial e longitudinal, dentro da árvore, entre espécies e entre gêneros. Barrichelo et al. (1983), mencionam que a variação da densidade básica, no sentido longitudinal das árvores de eucalipto, tende a ser elevada na base, diminuindo a 25% da altura comercial e aumentando a partir desse ponto. Para Panshin e De Zeew (1980), há uma diminuição da densidade no sentido base-topo, com exceção das madeiras de bases expandidas, que crescem em regiões alagadas, que tiveram um aumento da densidade no sentido casca medula. Já Souza e Barrichelo (1985) observaram que os modelos de variação da densidade básica, dentro da árvore, são muito diversos entre as espécies.

Cruz et al. (2010), trabalhando com madeira de *Eucalyptus urograndis*, verificaram que houve variação da densidade básica ao longo dos seis diferentes níveis de altura do tronco, de modo a iniciar decrescendo com a altura, atingindo um valor mínimo a 25% da mesma, e crescendo, em seguida, até atingir um valor máximo a 75% da altura.

Observa-se que o desenvolvimento de pesquisas para conhecer a estrutura da madeira, sempre irá contribuir para o melhor conhecimento da espécie e de seu uso, levando melhorias ao produto final.

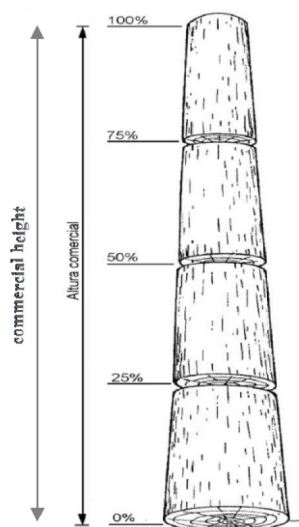
Com a abertura de novas fronteiras pelas indústrias de celuloses e painéis de madeira e a implantação de unidades fabris, em regiões até pouco tempo tidas como não industriais, as unidades de pesquisas florestais do Distrito Federal terão um papel fundamental na orientação e subsídios com espécies plantadas na região. O gênero *Eucalyptus*, uma das bases de sustentação de matéria prima destes segmentos, deverá oferecer elementos técnicos substanciados em pesquisas para melhorar o seu aproveitamento.

O objetivo deste trabalho foi o de caracterizar a madeira de *Eucalyptus urograndis*, sob o ponto de vista da anatomia de fibras e da densidade básica, verificando a variação desses parâmetros ao longo do fuste de árvores oriundas de um plantio da região do Distrito Federal, considerando o seu aproveitamento na indústria de celulose.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Universidade de Brasília – UnB e no Laboratório de Produtos Florestais – LPF/SFB, Brasília DF.

**Coleta do material:** Para a realização desta pesquisa foi utilizada madeira de 05 árvores de *Eucalyptus urograndis*, com 8 anos de idade, oriundo de um plantio situado na Fazenda Água Limpa, pertencente à Universidade de Brasília, localizada na região do Distrito Federal – DF. De cada árvore foram retirados cinco discos de aproximadamente 3,0 cm de espessura. Cada disco correspondendo a uma posição específica no tronco: 0% (base), 25%, 50%, 75%, e 100% da altura comercial (a altura comercial da árvore foi considerada todo o tronco até a altura correspondente ao diâmetro de 6,0 com casca), figura 1.



**Figura 1.** Esquema de coleta de disco em cada árvore (adaptado de Costa, 2011).

**Figure 1.** Disk collection sites of the trees (Adapted from Costa, 2011).

Os discos foram cortados em quatro partes iguais, sendo duas partes utilizadas para determinação da densidade, a terceira para a caracterização das fibras e a última permaneceu como material de reserva.

**Anatomia da madeira:** Para a maceração do lenho aplicou-se o método de Franklin, utilizando solução de ácido acético e de peróxido de hidrogênio (1:1) a 60°C, por 48hs (JO-

HANSEN, 1940; SASS, 1951). As fibras foram coradas com safranina diluída e montadas em lâminas histológicas. Com o material dissociado foram montadas, ao todo, 75 lâminas, 15 para cada altura. Em cada lâmina foram medidas 10 fibras, ou seja, 150 fibras para cada altura. As dimensões de fibras determinadas foram o comprimento, a largura, a espessura da parede e o diâmetro do lume. As mensurações das fibras foram realizadas em um microscópio óptico acoplado a um projetor, que gera a imagem capturada através do programa computacional DP2-BSW. Foram utilizadas oculares de 10x e objetivas de 4x e 20x, a primeira para medir o comprimento e a segunda para medir a largura e o diâmetro do lume. A partir dos valores médios das dimensões das fibras, em cada altura, foram calculadas as relações: Fração Parede (FP), Coeficiente de Flexibilidade (CF) e Índice de Runkel (IR), de acordo com Barrichelo e Brito (1976).

**Densidade básica da madeira:** Após a subdivisão dos discos em quatro cunhas foram utilizadas duas partes opostas para a determinação da densidade básica para cada altura, através do método da balança hidrostática - Norma ABCP M 14/70. A densidade básica média dos discos foi calculada através da média aritmética dos valores obtidos, para as respectivas cunhas, em cada altura. A média ponderada de cada árvore, para a densidade da espécie em estudo, baseou-se em Vidal (1984).

Também, para cada árvore, foi calculado o Índice de Heterogeneidade para densidade básica da madeira, que procura expressar maior ou menor variabilidade da densidade no sentido longitudinal, a partir das densidades obtidas dos discos (BARRICHELO; BRITO, 1984).

O delineamento experimental inteiramente casualizado foi utilizado no trabalho, aplicando-se a análise de variância, complementado com o teste de Tukey, a 1% de probabilidade. Foi utilizado o programa computacional SAEG.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

É usual, no meio tecnológico, trabalhar com a média das propriedades tecnológicas de uma determinada espécie de madeira, visando a sua caracterização, e até mesmo, recomendando seu uso. A indústria, principalmente a de celulose e papel, toma mais alguns cuidados no uso da matéria prima madeira. As características anatômicas, químicas e de densidade, entre árvores e no interior de uma árvore de uma espécie, são sempre estudadas e consideradas quando do aproveitamento deste material no processo industrial.

Este trabalho procura em um primeiro momento, a caracterização média de fibras e densidade da madeira de *Eucalyptus urograndis*. Em seguida, realiza-se uma análise mais detalhada da variação destes dois parâmetros, no sentido base-topo da árvore. O intuito destas análises é de contribuir para um melhor aproveitamento deste material na indústria de celulose e papel.

A Tabela 1 mostra os valores mínimos, máximos e médios, além dos desvios padrões das dimensões de fibras e da densidade básica da madeira de *Eucalyptus urograndis*.

A madeira do híbrido *urograndis* apresenta valores médios de fibras (0,90 mm) e de densidade básica (0,510 g/cm<sup>3</sup>), dentro do esperado para o gênero *Eucalyptus* (BHAT et al., 1990; ZOBEL; BUJTENEN, 1989). O desvio padrão apresentado pelas variáveis estudadas mostra que o material tem boa homogeneidade. Assim, as características anatômicas e a densidade básica desta espécie favorecem a impregnação e remoção da lignina dos cavacos nos processos de cozimento. Por consequência, na formação do papel haverá uma melhor ligação entre fibras, ganhando o papel em qualidade. As fibras são as principais responsáveis pela resistência da madeira a esforços mecânicos. Também é o principal elemento anatômico na produção de celulose. Do seu comprimento, da espessura de suas paredes depende a qualidade da madeira

**Tabela 1.** Valores das dimensões de fibras e da densidade básica da madeira de *Eucalyptus urograndis*.

**Table 1.** Fiber dimensions values and the basic density of *Eucalyptus urograndis*.

Variável	Fibras			
	Mínimo	Máximo	Média	DP*
Comprimento (mm)	0,79	1,01	0,90	1,01
Largura (µm)	15,13	17,53	16,91	0,72
Diâmetro Lume (µm)	4,90	7,12	5,59	1,22
Espessura Parede (µm)	4,80	6,11	5,61	1,31
Densidade básica (g/cm <sup>3</sup> )	0,427	0,623	0,510	0,43

DP\* - Desvio Padrão

formada, assim como a celulose produzida e, por sua vez, as propriedades do papel.

A Tabela 2 mostra os valores médios do comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura da parede das fibras ao longo do fuste da madeira de *Eucalyptus urograndis*. Os valores das dimensões das fibras de cada posição no tronco, após análise de variância, foram comparados entre si pelo teste de média Tukey.

Segundo Foelkel (1976), as relações entre as dimensões das fibras têm sido de considerável interesse na interpretação da qualidade da celulose e papel, podendo auxiliar na explicação dos resultados para as resistências do produto final e, inclusive, na identificação e seleção de madeiras.

Os valores médios das dimensões das fibras da madeira de *Eucalyptus urograndis*, ao longo do tronco, indicam que o seu comprimento é maior na parte superior da altura (50% a 100%) em relação às demais posições (0% e 25%). Já a largura das fibras mostra pouca variação e ausência de uniformidade dos valores entre as posições. Os menores valores para a largura foram encontrados nas posições de 25% e 100% do fuste. A espessura da parede das fibras é menor na parte inicial do fuste, até 25%, aumentando a 50% e permanecendo com valores semelhantes até 100%. O diâmetro do lume das fibras é maior na base, após, apresenta uma certa uniformidade até o topo.

Os valores de dimensões de fibras ao longo do fuste, encontradas neste trabalho, são semelhantes aos encontrados por Botrel et al. (2010), para as dimensões de fibras de clones de *Eucalyptus*. Os valores do comprimento e espessura de parede de fibras também se mostram em consonância com os valores encontrados por Mokfienski et al. (2003) ao estudar clones deste gênero. Por outro lado, as dimensões das fibras desta pesquisa, diferem dos valores encontrados por Valente et al. (1992) e Hillis (1972), que observaram diminuição do comprimento das fibras ao longo do eixo longitudinal para o gênero *Eucalyptus*. Já Taylor et al. (1992) concluiu que a posição longitudinal de amostragem não

influenciou o comprimento das fibras. Bhat et al. (1990), estudando a variação longitudinal das fibras no fuste de *E. grandis*, aos sete anos de idade, verificaram que valores de espessura de parede não apresentaram diferenças ao longo do tronco até a posição de 75% da altura. Quilhó et al. (2006) disseram encontrar pouca variação nas dimensões das fibras no sentido longitudinal em híbridos de *E. urophylla* com *E. grandis*. Wilkes (1988) relatou resultados similares ao estudar a variação anatômica em espécies de eucalipto, verificando menor variação no sentido longitudinal do que no sentido dos raios.

Percebe-se que os resultados são adversos nas pesquisas desenvolvidas com o gênero *Eucalyptus*, quando se estuda as dimensões de fibras ao longo do fuste, e mesmo considerando os valores médios para cada material pesquisado. Certamente, o sítio, o solo, os fatores ambientais, os tratamentos silviculturais da procedência de cada material irão influenciar, não só em suas características anatômicas mas, também, nas demais propriedades do material. Esta é uma preocupação que as indústrias possuem, principalmente a de Celulose e Papel, em caracterizar suas matérias primas provenientes de cada região, ou mesmo, de sítios diferentes de uma mesma região, antes de entrar no processo de produção. Os resultados das pesquisas é que irão recomendar a otimização de cada fase do processo de fabricação para obtenção de um produto mais homogêneo e de qualidade desejada.

Neste sentido, vários pesquisadores mostram como as dimensões de fibras influenciam nas propriedades da celulose ou papel. Segundo Foelkel e Barrichelo (1975), deve-se levar em consideração a diferença do comprimento das fibras, uma vez que esta característica influencia de forma determinante na resistência a tração dos papéis, ao arrebentamento e ao rasgo. Já a espessura da parede da fibra tem uma alta relação com a resistência da celulose e do papel. Conforme Hillis (1972) e Paula (1999), fibras com paredes mais espessas possuem maior teor relativo de celulose do que fibras de paredes

**Tabela 2.** Valores médios de dimensões de fibras da madeira de *Eucalyptus urograndis* no sentido base-topo.  
**Table 2.** Mean values of fiber dimensions of *Eucalyptus urograndis* towards bottom-up.

Dimensões de Fibras	Posições no tronco (%)				
	0(base)	25	50	75	100(topo)
Comprimento (mm)	0,84bc	0,79c	1,01a	0,93ab	0,95a
Largura (µm)	17,53a	15,13b	17,37a	17,36a	16,75ab
Diâmetro Lume (µm)	7,12a	5,51b	5,12b	5,31b	4,90b
Espessura Parede (µm)	5,20b	4,80b	6,11a	6,02a	5,91a

Médias seguidas da mesma letra, na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade de erro.

fina, existindo, assim, uma correlação positiva entre a espessura da parede e o rendimento em produção de celulose.

A partir dos valores das dimensões de fibras, do material em estudo podem ser calculados coeficientes e índices, que irão ajudar, de forma antecipada, a compreender as características gerais da polpa e as propriedades do papel que serão produzidos com esta matéria prima. A Tabela 3 apresenta algumas destas relações entre dimensões de fibras.

O índice de Runkel e a Fração Parede mostram tendências de aumentarem da base para o topo na árvore. Estes resultados estão em conformidade com o estudo da madeira de *E. grandis* aos sete anos de idade, realizado por Rocha et al. (2004). Por outro lado, contrariam a pesquisa realizada por Shimoyama (1990). O índice de Runkel e a Fração Parede encontram-se relacionados à rigidez da fibra. Quanto maior o seu valor, mais rígida pode-se tornar a fibra. Isso irá dificultar a formação do papel, afetando as suas propriedades de resistência. Os valores referentes ao coeficiente de flexibilidade sugerem que a madeira estudada apresenta dimensões de fibras menos favoráveis à produção de papel, representando alta espessura da parede em relação ao diâmetro do lúmen. Este coeficiente mostra tendência de ser maior na parte inferior do tronco. Na parte superior do fuste (a partir de 50% da altura total), o coeficiente de flexibilidade mostra pouca variação.

A Tabela 4 mostra os valores médios de cada árvore, nas posições estudadas da densidade básica, assim como o índice de heterogeneidade deste parâmetro ao longo do fuste. Tanto o desvio padrão como o coeficiente de variação explica a variabilidade dos dados, colaborando para entender o comportamento da densidade ao longo do tronco.

Observando-se a Tabela 4 verifica-se que a espécie apresenta uma tendência de maiores densidades médias na parte superior do tronco, isto é, a partir de 50% da altura. Alzate et al. (2005) mostraram um modelo de variação para os valores da densidade básica de híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* com 7 anos de idade, caracterizada pelo aumento da variável da base até o topo. Já Carvalho (2000) relata que este híbrido, aos 7 anos de idade, apresenta uma variação da densidade decrescente no sentido longitudinal da árvore da base ao DAP e crescente, a partir desse ponto. Os resultados desta pesquisa, para esta propriedade, aproximam-se deste trabalho. Observa-se ainda que, apesar do índice de heterogeneidade médio para a propriedade está dentro do limite esperado, a pequena variação existente entre os valores da densidade básica, no sentido longitudinal, pode ter influência no processamento da madeira destinada a produção de polpa celulósica. Este é um aspecto importante para o rendimento e para a qualidade da polpa. Segundo Slooten (1977) e Tsoumis (1991) este parâmetro também otimiza custos operacionais

**Tabela 3.** Valores médios para índice de Runkel, Fração Parede e Coeficiente de Flexibilidade das dimensões de fibras de *Eucalyptus urograndis* nas diferentes posições da altura do tronco.

**Table 3.** Mean values for Runkel index, Fraction Wall and Flexibility coefficient of the dimensions of fibers in different positions *Eucalyptus urograndis*.

Parâmetro	Posições no tronco (%)				
	0	25	50	75	100
Índice de Runkel	1,47	1,74	2,35	2,28	2,43
Fração Parede (%)	59,64	63,62	69,74	69,60	70,89
Coef. de Flexibilidade (%)	40,35	36,37	29,56	30,39	29,10

**Tabela 4.** Valores médios e índice de heterogeneidade (IH) da densidade básica ao longo do tronco da madeira de *Eucalyptus urograndis*.

**Table 4.** Mean values and heterogeneity index (IH) of the density along the trunk of *Eucalyptus urograndis*.

Árvore	Posição					Dbp g/cm <sup>3</sup>	IH
	0%	25%	50%	75%	100%		
1	0,454	0,465	0,505	0,448	0,486	0,471	0,591
2	0,535	0,427	0,573	0,506	0,567	0,507	1,117
3	0,491	0,473	0,481	0,514	0,522	0,487	0,432
4	0,506	0,511	0,533	0,529	0,536	0,519	0,216
5	0,533	0,623	0,528	0,568	0,517	0,568	0,798
X	0,504	0,500	0,524	0,513	0,526	0,510	0,631
DP	0,033	0,075	0,034	0,043	0,029	0,037	0,345
C.V.(%)	6,570	15,000	6,590	8,430	5,610	7,240	54,780

X :média; DP:desvio padrão; C.V.:coeficiente de variação; Dbp:densidade básica ponderada; IH – Índice de Heterogeneidade

**Tabela 5.** Análise de variância para a densidade básica da madeira de *Eucalyptus urograndis* ao longo do fuste da árvore.  
**Table 5.** Analysis of variance for the basic density of *Eucalyptus urograndis* along the bole of the tree.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	Signif.
Altura	4	0,5386519	0,1346630	0,514	*****
Linear R <sup>2</sup> =0,61	1	0,3260407	0,3260407	1,245	0,27039
Quadr. R <sup>2</sup> =0,61	1	0,2064238	0,2064238	0,001	*****
Cubic. R <sup>2</sup> =0,61	1	0,2208950	0,2208950	0,008	*****
Quart. R <sup>2</sup> =0,61	1	0,2101959	0,2101959	0,803	*****
Resíduo.	45	0,1178251	0,2618335		CV(%)=9,97

\*CV: Coeficiente de Variação; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação; F: nível de significação.

ligados ao transporte e armazenamento da madeira. Analisando a variação desta propriedade entre árvores, observa-se valor médio entre 0,471 a 0,568 g/cm<sup>3</sup>, estando dentro da faixa considerada ideal para a produção de celulose (FOELKEL et al. 1992). A espécie apresentou média ponderada da densidade de 0,510 g/cm<sup>3</sup>. Este valor é um pouco superior ao encontrado por Alzate et al. (2005), que estudando a mesma espécie de híbrido com 7 anos de idade encontraram densidade de 0,490 g/cm<sup>3</sup>. Talvez o fator sítio possa explicar esta pequena variação.

Realizou-se uma análise de variância (Tabela 5) para os valores de densidade básica, nas diferentes posições longitudinais do tronco, na intenção de verificar se existe diferença significativa entre os valores desta propriedade ao longo do fuste.

A análise de variância mostrou que, ao nível de 5% de probabilidade, não houve diferença estatística significativa para a densidade básica no sentido longitudinal do tronco da árvore. O coeficiente de variação (cv) da análise variância foi de 9,97%, indicando uma boa confiabilidade na qualidade dos dados e alta eficiência do delineamento usado. De forma prática, levando-se em consideração somente a variável densidade, apesar de ponderações de outros autores, como visto anteriormente, pode-se deduzir que a mistura da madeira de todo o fuste das árvores não deverá influenciar na qualidade da celulose produzida com este material. No entanto, para uma melhor otimização do material a ser utilizado na produção da polpa, deve ser considerado, também, as variações dos elementos anatômicos, principalmente as dimensões de fibras e os constituintes químicos ao longo do fuste da árvore.

## CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O material pesquisado da madeira do híbrido de *Eucalyptus urograndis*, com 08 de idade, proveniente da região do Distrito Federal, visando a sua utilização na indústria de celulose, per-

mitiu retirar as seguintes conclusões:

- As fibras apresentam dimensões médias de 0,90mm de comprimento, 16,51mm de largura e 5,61 mm de espessura.
- O comprimento de fibras da madeira mostra tendência de ser maior a partir de 50% da altura do fuste. Esta constatação pode contribuir, positivamente, para obtenção de celulose de melhor qualidade com esta parte do tronco.
- A largura das fibras indica pouca variação no sentido longitudinal do fuste, apresentando valores que não estabelecem uniformidade ao longo do tronco.
- As fibras que apresentam maior rigidez é função, principalmente, de suas paredes mais espessas. Geralmente, as fibras com paredes mais espessas possuem maior teor relativo de celulose, havendo, provavelmente, uma correlação positiva entre a espessura da parede da fibra e o rendimento em produção de celulose.
- A densidade básica média da madeira para a espécie é de 0,510 g/cm<sup>3</sup>, indicando que pode influenciar positivamente no rendimento da polpa em processos de produção de celulose.
- O baixo índice de heterogeneidade encontrado para a densidade básica da madeira no sentido longitudinal contribui para a uniformidade do processo de polpação.
- Apesar de não haver diferenças estatísticas significativas da densidade básica ao longo do fuste, verifica-se uma tendência da parte superior do tronco possuir densidade mais elevada.
- Esta variação não significativa da densidade sugere que o material de toda a árvore pode ser misturado durante o processo de polpação, não devendo afetar a qualidade da polpa.
- Por outro lado, para otimizar a produção de celulose a partir da matéria prima estudada, considerando, as dimensões de fibras (sobretudo seu comprimento), recomenda-se que o material da árvore seja dividido em duas partes: a madeira da parte inferior do tronco (até 50% da altura total) e a madeira da parte superior do tronco (a partir de 50% da altura total).

- A decisão de separação ou não do material no processo fabril irá depender de cada empresa, pois além de custo a empresa deverá considerar também a logística envolvida no processo.

- Recomenda-se, ainda, dar prosseguimento ao estudo, produzindo-se celulose com esta matéria-prima, misturando o material de toda a árvore e separando em duas partes (região inferior e superior da árvore). Em seguida, realizar a caracterização das propriedades tecnológicas das celuloses produzidas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALZATE, S. B. A.; FILHO, M. T.; PIEDADE, S. M. S. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* Sm. e *E. grandis x urophylla*. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n. 68, p. 87-95, 2005.

BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. A madeira das espécies de eucalipto como matéria-prima para a indústria de celulose e papel. *Série Divulgação PRODEPEF*, Brasília, n. 13, p. 1-145, 1976.

BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. Variabilidade longitudinal e radial da madeira de *Eucalyptus grandis*. In: CONGRESSO NACIONAL ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 17, 1984, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABCP, 1984, p. 403-409.

BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O.; COUTO, H. T. Z. Densidade básica, teor de holocelulose e rendimento de celulose de *Eucalyptus grandis*. *Silvicultura*, São Paulo, v. 8, n. 32, p. 802-808, 1983.

BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O.; MIGLIORINI, A. J. Estudo longitudinal da densidade básica de *Eucalyptus* sp. *Silvicultura*, São Paulo, v. 8, n. 28, p. 726-730, 1982.

BHAT, K. M.; BHAT, K. V.; DHAMODARAN, T. K. Wood density and fibre length of *Eucalyptus grandis* grown in Kerala, India. *Wood and Fibre Science*, Kansas, v. 22, n. 1, p. 54-61, 1990.

BOTREL, M. C. G.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. S.; SILVA, J. R. M. Seleção de clones de *Eucalyptus* para biomassa florestal e qualidade da madeira. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 237-245, 2010.

CARVALHO, A. M. *Valorização da madeira do híbrido Eucalyptus grandis através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha*. 2000. 128 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

COSTA, J. A. *Qualidade da Madeira de Eucalyptus urograndis, Plantados no Distrito Federal, para Produção de Celulose Kraft*. 2011. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília. Brasília, 2011.

CRUZ, L. T. C.; PENNA, J. E.; LOGSDON, N. B.; ABREU, J. G. Variação longitudinal da densidade básica de um híbrido de *Eucalyptus urophylla* e *grandis* (“urograndis”). In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 12., 2010, Lavras. *Anais...* Lavras: UFLA, 2010. 7 p.

FERREIRA, M.; BRASIL, M. A. M. Variação da densidade básica e das características das fibras em *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden ao nível do DAP. *IPEF*, Piracicaba, n. 5, p. 81-70, 1972.

FOELKEL, C. E. *Individualização das Fibras da Madeira do Eucalipto para a Produção de Celulose Kraft*. *Eucalyptus Online Book & Newsletter*, 2010. Disponível em: <[www.eucalyptus.com/capítulos/PT05resíduos.pdf](http://www.eucalyptus.com/capítulos/PT05resíduos.pdf)>. Acesso em: out. 2012.

HASSEGAWA, M. *Qualidade da madeira de Pinus taeda L. de procedência da África do Sul*. 2003, 107 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

HILLIS, W. E. Properties of eucalypt woods of importance to the pulp and paper industry. *Appita Journal*, Melbourne, v. 26, n. 2, p. 113–121, 1972.

JOHANSEN, D. A. *Plant microtechnique*. New York: McGraw Hill Book, 1940. 523 p.

KLOCK, U.; MUÑIZ, G. I. B.; HERNANDEZ, J. A.; ANDRADE, A. S. *Química da Madeira*. 3.ed. Curitiba: FUPEF, 2005. 81 p.

LOPES, G. A.; GARCIA, J. N. Densidade Básica e Umidade Natural da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith, de Itatinga, associada aos padrões de casca apresentados pela população. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n. 62, p.13-23, 2002.



- MOKFIENSKI, A. et al. **Importância da densidade e do teor de carboidratos totais da madeira de eucalipto no desempenho da linha de fibras.** In: COLÓQUIO INTERNACIONAL SOBRE CELULOSE KRAFT DE EUCALIPTO. 2003, Viçosa. **Anais...** Viçosa, 2003. p. 15-38.
- PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology.** 4.ed. New York: Mcgraw-Hill Book, 1980. 722 p.
- PAULA, J. E. Caracterização anatômica de madeiras nativas do Cerrado com vistas à produção de energia. **Cerne**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 26-40, 1999.
- QUILHÓ, T; MIRANDA. I.; PEREIRA, H, Within-tree variation in wood fibre biometry and basic density of the urograndis eucalypt hybrid (*Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*). **IAWA Journal**, Leiden, v. 27, n. 3, p. 243-254, 2006.
- ROCHA, F. T.; FLORSHEIM, S. M. B.; COUTO, H. T. Z. do. Variação das dimensões dos elementos anatômicos da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden aos sete anos. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 43-55, jun. 2004.
- SASS, J. E. **Botanical microtechnique.**3.ed., Iowa: State Press. 1951. 228 p.
- SHIMOYAMA, V. R. S. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* spp.** 1990. 93 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Madeira) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.
- SLOOTEN, H. van der. A importância da densidade da madeira na produtividade florestal. **Comunicação Técnica PRODEPEF**, Brasília, n. 13, 1977. 8 p.
- TSOUMIS G. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 494 p.
- VIDAL, B. R. Métodos de determinação da densidade da madeira. **Boletim Técnico SIF**, Viçosa, v. 2, 1984. 21 p.
- WILKES, J. Variations in wood anatomy within species of *Eucalyptus*. **IAWA Bulletin**, v. 9, n. 1, p.13-23, 1988.
- ZOBEL, B. J.; BUIJTENEN, J. P. **Wood variation: it's causes and control.** Berlin: Springer Verlag, 1989. 363 p.

Recebido em 02/06/2013

Aceito para publicação em 16/01/2014

