

VARIAÇÃO RADIAL DA DENSIDADE BÁSICA EM FUNÇÃO DA ALTURA DE ÁRVORES DE *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus saligna*

Douglas Seibert Lazaretti¹, Eduardo R. dos Reis¹, Kenia Serafim¹, Marcia Holkem de Souza², Sonia M. B. Frizzo³, Celso E. B. Foelkel⁴.

¹ Acadêmico de Eng. Florestal, CCR, UFSM, cep 97105-900, Santa Maria, RS

² Acadêmica de Química Industrial, CCNE, UFSM, cep 97105-900, Santa Maria, RS

³ Eng. Florestal, Msc., Prof. Adjunto, Depto. de Química, CCNE, UFSM, Santa Maria, RS

⁴ Eng. Agrônomo, Dr., Grau Celsius Ltda, Porto Alegre, RS

RESUMO

Este estudo consistiu da determinação da densidade básica da madeira de duas espécies florestais, *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus saligna*. Foram amostradas 6 árvores, sendo três de cada espécie. De cada árvore foram coletados e amostrados discos descascados nas seguintes posições: base, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% e 100% da altura comercial. De cada disco foram retiradas 2 cunhas de 45°, opostas uma a outra. Cada cunha foi dividida em 20%, 40%, 60%, 80% e 100% quanto ao raio na distância da medula à casca. De cada porção foi determinada a densidade básica.

Constatou-se que não havia variação significativa da média da densidade entre as duas espécies para os materiais analisados. A espécie *Eucalyptus saligna* mostrou significativa variação radial da densidade e não significativa a variação da densidade em função da altura comercial da árvore. Na espécie *Eucalyptus globulus* a variação radial da densidade foi significativa bem como a variação da densidade em função da altura comercial.

SUMMARY

This study aimed to evaluate the wood density variation in two forest species: *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus saligna*. Six trees were sampled, being three for each *Eucalyptus* species. From every tree, debarked discs were collected and sampled at the following heights: base, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% and 100% of the commercial height. Opposite wedges with 45° were taken as sub-samples from each disc. Every wedge was divided in: 20%, 40%, 60%, 80% and 100% in the relative distance of the ray (from the pith to the bark). This research had the following conclusions: a) no statistical differences in the average wood density were found between the two species; b) in the *Eucalyptus saligna* the density variation at the radial position is significant and no significant as function of the height; c) in the *Eucalyptus globulus* the density variation at the radial position is significant, just as when in function of the tree height.

Palavras-chave: densidade básica, madeira, *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus saligna*

Key words: wood, basic density, *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus saligna*

1. INTRODUÇÃO

No processo de obtenção de celulose, a qualidade é altamente dependente das características anatômicas, físicas e químicas da matéria-prima. Dentre os principais parâmetros de qualidade da madeira, destaca-se a densidade básica. Considerando as características físicas da madeira, a densidade básica tem sido a mais importante; entretanto ela é uma característica complexa, resultante da combinação de diversos fatores, incluindo a constituição química e morfológica da madeira.

O sucesso do uso do eucalipto no Brasil para produção de celulose kraft deve-se à fácil adaptação em solos impróprios, ao custo de produção, à sua produtividade e à sua rotação ser de apenas 6 a 8 anos. Atualmente existe ampla disponibilidade de várias espécies de eucalipto com ciclo curto de desenvolvimento e grande potencialidade para a produção de celulose e derivados. As madeiras de folhosas constituem no Brasil no principal recurso fibroso para se obter celulose. Existe uma série de variáveis dentro do gênero *Eucalyptus*, que influenciam na produção de celulose tais como: espécie, idade, porte da árvore, qualidade silvicultural e qualidade da madeira, mas os principais determinantes destas madeiras para produção de celulose são a densidade e os extrativos químicos, pois estes influenciam diretamente nos processos químico e semi-químico (Silva, 2001).

De acordo com Silva Júnior et al (1996), existe uma grande variação na densidade básica dentro de cada espécie, o que abre a possibilidade de melhoramento genético visando a obtenção de materiais com características desejáveis para este parâmetro.

A densidade é uma das propriedades que mais fornece informações sobre as características da madeira e alguns autores chegam a afirmar que a qualidade da madeira sólida é quase sinônimo de sua densidade. A densidade da madeira, no setor siderúrgico e na produção de celulose, pode contribuir de forma significativa para promover ganhos do processo e para alterar as características dos produtos. Em função da tamanha importância, a densidade da madeira é uma característica de fácil melhoramento, pela grande variabilidade fenotípica e por sua alta herdabilidade. A determinação de densidade em clones sob seleção demonstra que essa característica apresenta variações de alta magnitude. Tamanha variação de densidade permite direcionar a matéria prima para os mais variados fins, conforme sobejamente citado na literatura e praticado nas indústrias.

A densidade básica tem grande influência na produção diária, pois com densidades elevadas pode-se ter para um mesmo volume de madeira maior produção de celulose. Em compensação, se as condições do cozimento (tempo, temperatura e carga de álcali) não forem ajustadas, podemos ter um aumento do teor de rejeitos na celulose, devido a dificuldade de penetração e difusão do licor nestas madeiras com densidades maiores (Mezzomo, 1996).

As fábricas de celulose, principalmente aquelas que utilizam digestores contínuos, preocupadas em aumentar a sua capacidade diária de produção, mostram-se interessadas em trabalhar com madeiras de maiores densidades básicas, até no limite de sua operacionalidade (Ferreira, 1996).

A indústria de celulose e papel necessita de uma matéria prima com menor variabilidade no que diz respeito a densidade básica, para obtenção de um melhor produto final, minimizando assim o teor de rejeitos na celulose e otimizando as qualidades dos papéis produzidos com a celulose.

A contribuição para o conhecimento na área relacionada à densidade básica é de fundamental importância para as indústrias de celulose e papel. Este é pois, um dos motivos do presente trabalho.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1- Amostragem

As amostras de madeira foram coletadas em árvores de duas espécies, *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus saligna*, ambas com 7 anos de idade, provenientes do Horto Florestal Barba Negra, da empresa Riocell, situado em Barra do Ribeiro – RS

Foram abatidas 6 árvores, sendo 3 de *Eucalyptus globulus* e 3 de *Eucalyptus saligna*. Cada árvore foi dividida em 11 partes ao longo do tronco, com diâmetro limite da altura comercial de 6 cm. De cada parte retirou-se um disco descascado de 2,5 cm de espessura, sendo representadas as seguintes alturas: base, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, e 100% da altura comercial.

Do disco foram retirados cunhas de 45° opostas. Cada cunha foi dividida em 5 partes: 20%, 40%, 60%, 80% e 100% de relação ao raio, da medula em direção à casca.

O valor da densidade básica de cada seção radial é uma média aritmética das 2 cunhas opostas de mesma altura.

Este procedimento de amostragem totalizou 330 tratamentos para as avaliações estatísticas.

2.2 Método de análise

Para a determinação da densidade básica foi utilizado o Método do Máximo Teor de Umidade, conforme proposto por FOELKEL, BRASIL & BARRICHELO (1972).

2.3. Procedimentos estatísticos

Os valores foram analisados através do software SOC, na UFSM. O delineamento é um DIC (Delineamento Inteiramente Casualizado) com parcelas subdivididas. Os resultados foram avaliados quanto à sua variabilidade por parâmetros estatísticos de medida de dispersão (desvio padrão, coeficiente de variação, média aritmética). As diferenças entre tratamentos foram testadas por análise de variância ANOVA, valendo-se do teste F de significância. Adotou-se o nível de 5% de significância para as comparações.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resultados gerais

Os valores da densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus globulus* estão relatados na Tabela 1 e 2. Nestas, os valores de densidade básica são uma média aritmética das repetições para cada espécie.

Tabela 1 : Valores da densidade básica das diferentes frações da madeira de *Eucalyptus saligna*, dados em g/cm³.

Altura	Seção Radial Medula para a Casca				
	20%	40%	60%	80%	100%
Base	0,453	0,468	0,481	0,481	0,497
10%	0,429	0,435	0,458	0,458	0,488
20%	0,426	0,438	0,460	0,459	0,497
30%	0,420	0,437	0,449	0,460	0,496
40%	0,428	0,446	0,446	0,465	0,493
50%	0,494	0,450	0,442	0,489	0,506
60%	0,445	0,433	0,472	0,493	0,500
70%	0,414	0,455	0,445	0,467	0,536
80%	0,449	0,442	0,467	0,482	0,488
90%	0,421	0,434	0,468	0,471	0,470
100%	0,440	0,449	0,429	0,422	0,462

Tabela 2: Valores de densidade básica de diferentes frações da madeira de *Eucalyptus globulus*, dado em g/cm³.

Altura	Seção Radial Medula para a Casca				
	20%	40%	60%	80%	100%
base	0,416	0,427	0,452	0,491	0,474
10%	0,414	0,425	0,498	0,452	0,453
20%	0,452	0,472	0,484	0,485	0,502
30%	0,498	0,481	0,485	0,517	0,489
40%	0,463	0,489	0,500	0,502	0,509
50%	0,483	0,49	0,522	0,511	0,519
60%	0,481	0,505	0,523	0,515	0,524
70%	0,494	0,543	0,528	0,518	0,538
80%	0,519	0,536	0,513	0,518	0,533
90%	0,499	0,520	0,533	0,559	0,538
100%	0,511	0,503	0,535	0,529	0,528

3.2 Resultados estatísticos

Para a obtenção dos resultados estatísticos foi utilizado o software SOC. Como o software não aceita letras na planilha, a fração que corresponde à base da árvore foi modificada, denominando-se assim como 0,1% da altura.

Os fatores analisados foram: espécie, altura e seção radial, tendo a densidade básica como a variável em análise.

O número de observações lidas totalizaram 330, denominados tratamentos para o tipo de delineamento que se trabalhou.

Tabela 3 : Análise da Variância dos tratamentos

Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados Seqüencial	Quadrado Médio	F Calculado	PR>F
Espécie	1	0.11912153	0.11912153	4.8247	0.093
Rep (espécie)	4	0.09875969	0.02468992	26.4075	0.000
Altura	10	0.06228424	0.00622842	6.6617	0.000
Rad	4	0.08284999	0.02071250	22.1533	0.000
Esp*Alt	10	0.07699132	0.00769913	8.2347	0.000
Esp*Rad*	4	0.01186008	0.00296502	3.1713	0.016
Alt*rad	40	0.02877361	0.00071934	0.7694	0.832
Esp*Alt*Rad	40	0.02771737	0.00069293	0.7411	0.865
Resíduo	216	0.20195146	0.00093496		
Total	329	0.71030930			

Legenda da Tabela 3: Rep: Repetição; Esp: Espécie; Alt: Altura; Rad: Seção radial

De acordo com as análises estatísticas foram obtidos os seguintes resultados:

Média: 0.47910072

Raiz Quadrada do Qmres: 0.03057712

Coefficiente de variação: 6.38219114

De acordo com os valores obtidos na tabela 3 observamos que a média da densidade da espécie *Eucalyptus globulus* não possui diferença significativa da média da densidade da espécie *Eucalyptus saligna*. As demais análises estatísticas para cada espécie estão descritas nos ítems 3.2.1 e 3.2.2.

3.2.1 Resultados estatísticos da espécie *Eucalyptus saligna*

3.2.1.1 Variável independente: Seção Radial

Para analisar a variação radial da densidade na madeira exclusivamente para essa espécie, observa-se abaixo o quadro da análise da variância, Tabela 4.

Tabela 4

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Valor F	PR>F
Modelo	2	0.06436860	0.03218430	25.5271	0.00
Resíduo	162	0.20424788	0.00126079		
Total	164	0.26861648			

A partir destes valores obtemos:

Média: 0.4601014

Raiz Quadrada Qmres: 0,0355076

Coef. Variação: 7,7173416

Coef. Determinação: 0,2396301

Coef. Determinação Ajust.: 0,2302428

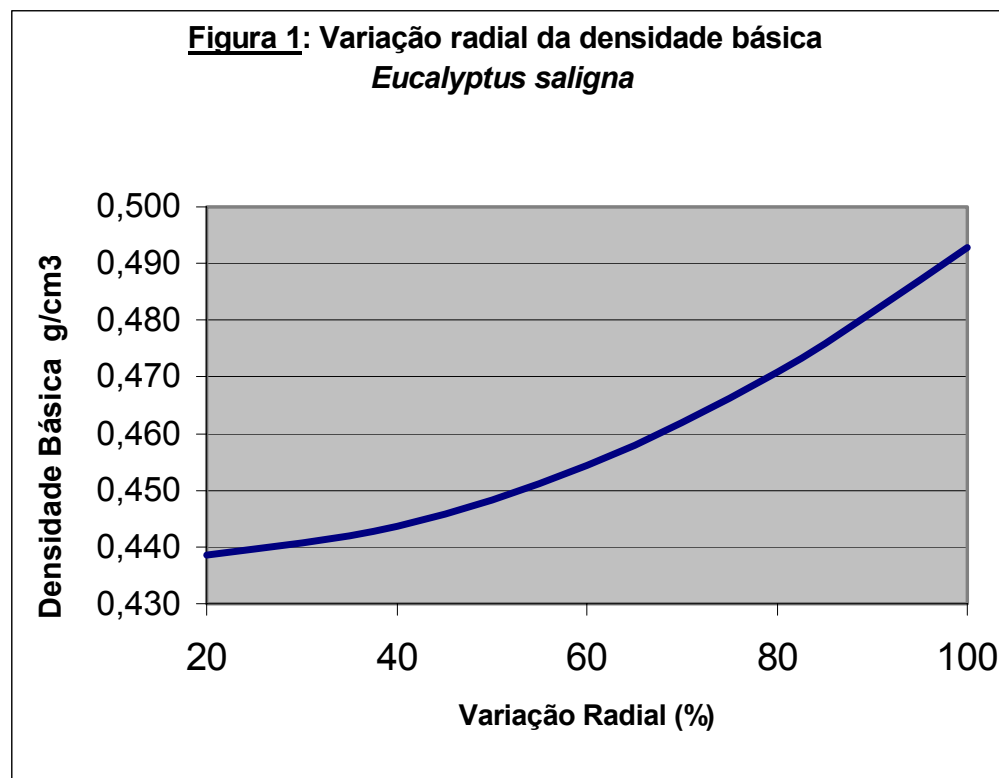
De acordo com os valores obtidos com as análises estatísticas para a espécie *Eucalyptus saligna*, foi possível obter um modelo matemático para a variação radial da densidade básica da madeira.

Modelo matemático:

$$Y = 0.43923093 - 0.00017091X + 0.00000707X^2$$

onde X varia (20 até 100%).

Através deste modelo, obtido para variação radial da densidade básica, temos o seguinte gráfico para espécie *Eucalyptus saligna* (Figura 1):



Para a espécie *Eucalyptus saligna*, de acordo com as análises estatísticas, determinou-se que a variação radial da densidade básica é significativa a um nível de significância de 5%, com um valor de $R^2 = 0.993$.

Para essa, espécie o ponto de menor densidade básica no sentido radial encontra-se a 12% do total do raio.

3.2.1.2 Variável independente: Altura

As madeiras das árvores estudadas da espécie *Eucalyptus saligna* não mostraram variação significativa da densidade básica em relação à altura, em nível de 5% de significância.

3.2.2 Resultados estatísticos da espécie *Eucalyptus globulus*

3.2.2.1 Variável independente: Seção Radial

Para analisar a variação radial da densidade na madeira dessa espécie observamos abaixo o quadro da análise da variância, Tabela 5.

Tabela 5

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Valor F	PR>F
Modelo	2	0.02942716	0.01471358	8.1312	0.0004
Resíduo	162	0.29314413	0.00180953		
Total	164	0.32257129			

A partir destes valores obtemos:

Média: 0,4981

Raiz Quadrada Qmres: 0,0425386

Coef. Variação: 8,54017

Coef. Determinação: 0,0912268

Coef. Determinação Ajust.: 0,0800074

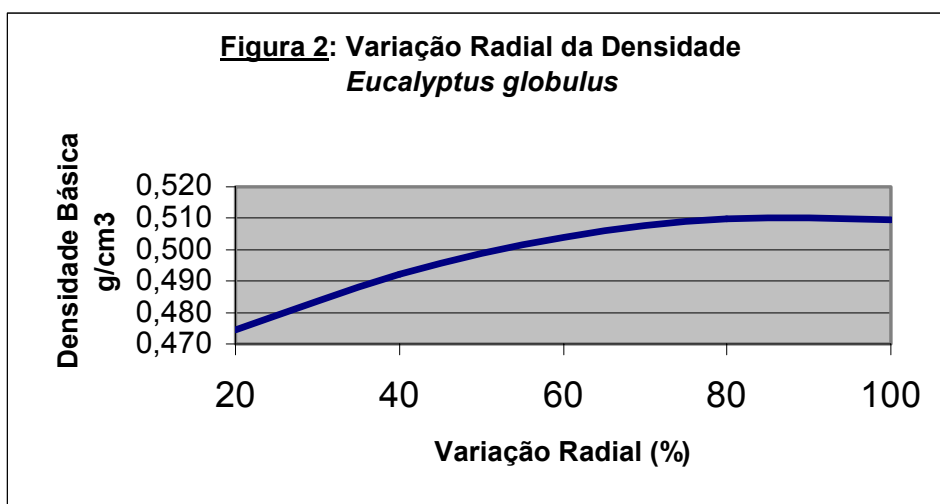
Obtemos assim um modelo matemático para a variação radial da densidade básica da madeira de *Eucalyptus globulus*.

Modelo matemático:

$$Y = 0.45095850 + 0.00133206X - 0.00000745X^2$$

onde X varia (20% até 100%).

Através do modelo obtido para variação radial da densidade obtemos o seguinte gráfico para a espécie *Eucalyptus globulus* (Figura 2):



Para a espécie *Eucalyptus globulus*, de acordo com as análises estatísticas determinou-se que a variação radial da densidade básica é significativa a um nível de significância de 5%, com um valor de $R^2 = 0.985$. Em relação a maior densidade básica no sentido radial, esta encontra-se a 89,4% do raio total.

3.2.2.2 Variável independente: Altura

Para analisar a variação da densidade básica na madeira de *Eucalyptus globulus*, observamos abaixo o quadro da análise da variância, Tabela 6

Tabela 6

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Valor F	PR>F
Modelo	2	0.11535969	0.05767984	45.0946	0.0000
Resíduo	162	0.20721160	0.00127908		
Total	164	0.32257129			

A partir destes valores obtemos:

Média: 0,4981

Raiz quadrada Qmres: 0,0357643

Coef. Variação: 7,1801406

Coef. Determinação: 0,3576254

Coef. Determinação Ajust.: 0,3496948

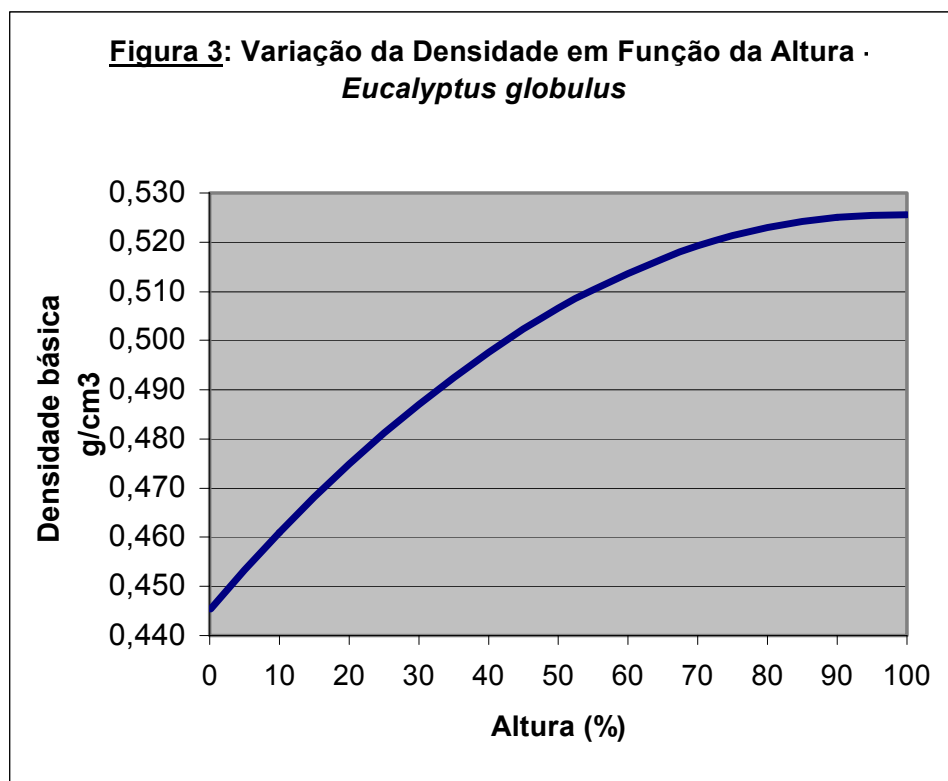
Obtemos assim um modelo matemático para a variação da densidade básica em função da altura da madeira de *Eucalyptus globulus*.

Modelo matemático:

$$Y = 0.44528820 + 0.00164519X - 0.00000842X^2$$

onde X varia (0.1;10;20;30;40;50;60;70;80;90;100%).

Através do modelo obtido para variação da densidade em função da altura, temos o seguinte gráfico para a espécie *Eucalyptus globulus* (Figura 3):



Para a espécie *Eucalyptus globulus*, de acordo com as análises estatísticas determinou-se que a variação da densidade básica em função da altura é significativa a um nível de significância de 5%, com um valor de $R^2 = 0.985$.

Para esta espécie a altura correspondente de maior densidade básica é de 97% da altura total.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir que:

- existe variação importante na densidade básica para ambas as espécies analisadas;
- não há variação significativa da média da densidade entre as duas espécies para as árvores amostradas;
- na espécie *Eucalyptus saligna* a variação da densidade básica mostrou-se significativa em relação à variação radial.
- na espécie *Eucalyptus globulus* a variação radial da densidade básica da madeira mostrou-se significativa bem como em relação à altura da mesma.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a RIOCELL S/A e à Universidade Federal de Santa Maria por criarem as condições para a elaboração e execução desse trabalho de pesquisa.

6. BIBLIOGRAFIA

- CARVALHO, M.G.S. **Efeito das variáveis de cozimento nas características químicas das pastas kraft de *Eucalyptus globulus***. Coimbra .Universidade de Coimbra, 1999 269 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Química). Faculdade de Ciências e Tecnologia, 1999.
- FERREIRA, G.W. **Qualidade da celulose kraft-antraquinona de *Eucalyptus dunnii* Maiden plantado em cinco espaçamentos em relação ao *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus saligna* Smith**. Santa Maria 1996, 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, 1996.
- FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R.; KLEIN, J. E. M. Produção de florestas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em segunda rotação, conduzidas com um broto por touça e submetidas a interplântio. **Ciência florestal**, Santa Maria, v.3, n.1, p.185-201, 1993.
- FLORES, D.M.M. **Variação das características dendrométricas, da qualidade da madeira e da celulose entre árvores de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith**. Santa Maria. 1999. 88f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1999.
- FOELKEL, C.E.B.,BRASIL, M.A.M. & BARRICHELO, L.E.G. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. **O Papel** 33(3) :57-61, 1972.
- IGARTÚA, D. V.; RIVERA, S. M.; MONTERUBBIANESI, M. G.; MONTEOLIVA, S. E.; FARINA, S.; CARRANZA, S. L.; VILLEGAS, M.S. Calidad del leño en *Eucalyptus globulus ssp globulus*. I. Variación de la densidad básica y la longitud de fibra en una estación del sudest de la provincia de Buenos Aires , Argentina. In: CONGRESO IBEROAMERICANO DE INVESTIGACIÓN EN CELULOSA Y PAPEL, 2000. Iguazú, Argentina. **Anais ...Iguazú: CIADICYP**, 2000.
- MEZZOMO, L.X.T. **Avaliação da potencialidade para produção de celulose solúvel de quatro espécies de *Eucalyptus* L´ Heritier cultivados no estado da Bahia**. 1996. 68f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria 1996.

- OLIVEIRA, J.T. S. Experiência mundial com a madeira de eucalipto. **Revista Madeira**, Curitiba, v. 9, n.54, p.98-100, 2001.
- SILVA JUNIOR, F.G. et al. Programa de qualidade da madeira da Votorantim Celulose e Papel-VCP. **O Papel**, São Paulo, V. 8, pg 37-38, 1996
- SILVA, J.C. Importância do eucalipto para a indústria de celulose no Brasil, **Revista da Madeira**, Curitiba, PR, Set. 2001. p. 90-92. Suplemento especial.
- SILVA, J. C. Qualidade da madeira serrada de eucalipto. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 9, n.50, p.44-46, 2000.
- UFSC. **Estrutura e apresentação de monografias, dissertação e teses. MDF**. 5^o edição. Santa Maria, 2000.
- Vital, B.R. Métodos de determinação da densidade da madeira. **Boletim Técnico SIF**, n.1, p. 1-21, 1984.