



INFLUÊNCIA DO AVANÇO SOBRE A TEXTURA SUPERFICIAL NO FRESAMENTO EM ALTAS VELOCIDADES DE EUCALYPTUS GRANDIS E EUCALYPTUS DUNNII

Marzely Gorges Farias

Universidade da região de Joinville - UNIVILLE, Departamento de Engenharia Ambiental
marzely@univille.br ou marzely@starmedia.com – Joinville, SC, Brasil

Walter Lindolfo Weingaertner

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica
wlw@emc.ufsc.br – Florianópolis, SC, Brasil

Hans Werner Hoffmeister

Universidade técnica de Braunschweig, Instituto de máquinas ferramentas e processos de fabricação (IWF/TU-BS)
h.hoffmeister@tu-bs.de – Braunschweig, Alemanha

Resumo. *As mudanças de comportamento quanto aos aspectos ambientais promovem uma reestruturação no mercado internacional de matéria-prima de produtos florestais, conquistando a madeira de Eucalyptus oriunda de "Floresta Plantada" seu "nicho" no segmento moveleiro. Por ser renovável tem importância ascendente num mercado internacional, onde além das pressões ecológicas, também a necessidade de redução de custos e a manutenção da competitividade são vitais. O processo de fresamento conjugado devido a diversidade de possibilidade de aplicações é considerado o mais importante para o segmento moveleiro. Associada a vantagem do fresamento em altas velocidades permite a elevação do acabamento superficial para os cortes longitudinal tangencial para tempos menores de trabalho. Isto atende as exigências ambientais e da redução de custos, pela eliminação ou diminuição do uso na etapa de acabamento de diversos produtos naturais e sintéticos, e principalmente a necessidade de aplicação de massa ou pré-massa após a aplicação do selador e antes da tinta. Procura-se com este trabalho realizado no IWF-Braunschweig da Alemanha contribuir para um maior conhecimento dos fenômenos que ocorrem durante a usinagem de madeiras de Eucalipto, de modo a permitir a produção otimizada de elementos de madeira com o uso da tecnologia HSC, bem como fornecer tanto para a Alemanha quanto para o Brasil informações de parâmetros tecnológicos das madeiras alternativas brasileiras - Eucalyptus grandis e Eucalyptus dunnii - quando comparadas diretamente com a madeira européia - Fagus sylvática.*

Palavras-chave: *Fresamento, Eucalyptus, Textura superficial*

1. INTRODUÇÃO

Durante um longo período produtos de madeira e de seus derivados, tanto no segmento de consumo (artigos de cozinha, brinquedos, pequenos móveis, etc.), como no segmento de bens duráveis (móveis, janelas, portas, etc.), foram substituídos numa discreta competição por materiais como o plástico e o alumínio. Entretanto, como resultado de pressões de organismos internacionais de proteção ao meio ambiente, vários países vêm desenvolvendo e implantando sistemas de verificação da qualidade ambiental dos produtos colocados no mercado através dos “selos verdes”. A análise de um produto para o recebimento do selo verde considera o levantamento global do impacto do mesmo em todo seu ciclo de vida, incluída a sua produção, distribuição, uso e descarte. As mudanças de comportamento quanto aos aspectos ambientais estão promovendo uma reestruturação no mercado internacional de matéria-prima, de forma que a madeira de *Eucalyptus* oriunda de “Floresta Plantada” vem conquistando seu “nicho” no mercado de produtos florestais. Este tipo de madeira por ser renovável tem importância ascendente num mercado, onde além das pressões ecológicas, também a necessidade de redução de custos e a manutenção da competitividade são vitais.

Em relação a outros materiais, a desvantagem da madeira maciça, independente de sua origem (floresta plantada ou natural), é que ela pode ser transformada somente com domínio tecnológico considerável do processo de fabricação e em formas muito limitadas.

Os países tradicionalmente reconhecidos como fabricantes e exportadores de máquinas-ferramentas para a usinagem de madeira e de seus compostos consideram que os processos de remoção de madeira apresentam uma tecnologia bastante avançada nos países desenvolvidos, destacando que o processo de fresamento de madeiras maciças seja considerado uma abordagem muito importante, principalmente quando associado a utilização da tecnologia de fresamento em altas velocidades (Hoffmeister, 1998).

2. FRESAMENTO EM ALTAS VELOCIDADES

O fresamento é um dos processos de fabricação mais utilizados na usinagem de madeiras maciças e de seus compostos, e, em especial, o processo de fresamento de perfil (periférico e de topo conjugados) pela diversidade de possibilidade de aplicações é considerado o mais importante para o segmento moveleiro (Heisel 1996, Gorges-Farias 1996). Possibilita perante o processo de serramento, em regra, a garantia de uma melhor qualidade superficial e perante ao processo de retificação uma elevada taxa de remoção (Fuß 1995, Gorges-Farias 1996, Gorges-Farias 1999).

A principal vantagem do fresamento em altas velocidades é a elevada economia. Através do aumento da velocidade de avanço e da taxa de remoção podem ser reduzidos os tempos de fabricação em até 70% e os custos de produção em 50% (Jauch, 1992). Resulta-se, então, as vantagens técnicas de aplicação. As forças de usinagem podem ser reduzidas em até 30% (Schulz, 1987), com isso pode-se obter peças com espessuras finas com elevada precisão de forma na fabricação. O carregamento térmico na peça e na ferramenta também são menores devido a melhor condução do calor na remoção do cavaco. Isto implica que para o menor tempo de trabalho pode-se obter texturas superficiais melhores, no caso de corte longitudinal e transversal (Fuß 1995, Schulz 1987).

A garantia de melhoria no acabamento superficial através desta tecnologia atende as exigências ambientais e da redução de custos, pela eliminação ou diminuição do uso na etapa de acabamento de diversos produtos naturais e sintéticos, e principalmente a necessidade de aplicação de massa ou pré-massa após a aplicação do selador e antes da tinta/verniz.

A tecnologia de fresamento em altas velocidades caracterizada pelos custos mais baixos de máquina-ferramenta, pela elevada produtividade com a manutenção ou em alguns casos a melhoria do acabamento superficial comparáveis aos resultados obtidos no processo de retificação. Estes fatores têm garantido um lugar de destaque na tecnologia de fabricação

moveleira por atender o compromisso entre tecnologia, custos, mercado e questões ambientais e sociais.

3. MADEIRAS ALTERNATIVAS

A silvicultura moderna baseia-se em espécies exóticas, principalmente dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, e passa a ser denominada de silvicultura intensiva, pela sua semelhança com a agricultura intensiva, cujo fator “disponibilidade de espécies arbóreas florestais apropriadas” descreve as seguintes exigências: crescimento rápido, resistência a danos bióticos e abióticos e simplicidade na reprodução, manejo e aproveitamento (Lamprecht, 1990).

Estimativas prevêem para o ano 2005, que o Brasil terá problemas de oferta de madeira de *Pinus* para o processamento mecânico, conseqüência do déficit da ordem de 1.335.000 m³/ano (Donnelly, 1996). Existem também previsões que o consumo de madeira roliça para fins industriais vai crescer dos 1,6 bilhões m³ registrados em 1991 para 2,6 bilhões de m³ por volta do ano 2010, enquanto que o consumo de madeira serrada empregada pelo setor moveleiro vai passar de 456 para 745 milhões de m³, e o de painéis à base de madeira crescerá de 121 para 313 milhões de m³ no mesmo período (Gresham, 1997). Quando considera-se separadamente as madeiras tropicais, as previsões são unânimes em indicar uma queda constante nos volumes disponíveis para corte.

Assim, é premente a necessidade de se buscar alternativas de madeiras para o abastecimento das indústrias de base florestal. Se presume que a madeira de *Eucalyptus* terá uma participação ainda mais importante no mercado de produtos florestais, desde que hajam desenvolvimentos tecnológicos (Flândoli, 1996) e ainda mais investimentos em reflorestamento (Gresham, 1997).

Eucalyptus é, atualmente, a mais importante espécie de reflorestamento a nível mundial.

O *Eucalyptus grandis* é, indiscutivelmente, o tipo de *Eucalyptus* mais plantado no mundo (Jacobs, 1981). Esta é uma das espécies mais promissoras no mercado internacional pelos seguintes motivos: maior área plantada dentre as espécies comerciais; a nível de Brasil, trata-se da espécie mais difundida em plantios comerciais; maior disponibilidade imediata de florestas em idade de corte e, principalmente, por tratar-se de madeira leve e de boa resistência.

O *Eucalyptus dunnii* vem recentemente sendo alvo de estudos mais aprofundados para uso múltiplo, pelo seu potencial como indicação para plantios em áreas de ocorrência de geadas (Higa, 1997). É, hoje, uma importante alternativa florestal para os pequenos produtores, empresas florestais, e para o setor moveleiro. De coloração clara e textura decorativa promete ser uma opção muito interessante no segmento de móveis e de laminados, devido a tendência dos ambientes residenciais populares e comerciais serem cada vez menores, exigindo móveis de tons claros para dar a impressão de amplidão ao espaço em questão. Atualmente, promete, ainda, ser uma grande opção para o setor da construção civil, área de estruturas e assoalhos, em função da sua elevada densidade.

O Brasil possui, hoje, um patrimônio genético imensurável para o gênero *Eucalyptus* para ser convenientemente utilizado pela silvicultura intensiva. Muitos programas de melhoramento genético, iniciados em 1966, que já atingiram a idade de 30 anos, podem, portanto, ser considerados com maturidade adequada para a tomada de futuras decisões (Ferreira, 1997).

4. OBJETIVOS

Para que se possa estabelecer um programa de melhoramento genético florestal, é importante que o setor industrial tenha bem definido os parâmetros de qualidade e sua grandeza, ideais para a obtenção de um determinado produto final (Pires, 1997).

A fabricação de peças de madeira com elevado acabamento superficial somente pode ser conseguido com o domínio dos fatores de influência sobre o resultado final do trabalho, principalmente em uma área onde a rugosidade ainda é avaliada através da inspeção visual no chão de fábrica. Procura-se com este trabalho contribuir para um maior conhecimento dos fenômenos que ocorrem durante a usinagem de madeiras de *Eucalyptus*, de modo a permitir a produção otimizada de elementos de madeira com o uso da tecnologia HSC, bem como fornecer tanto para a Alemanha quanto para o Brasil informações tecnológicas das madeiras alternativas brasileiras – *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* - quando comparadas diretamente com o tipo de madeira européia (*Fagus sylvática*) mais utilizado. A importância da influência das variáveis de trabalho sobre a rugosidade é pela primeira vez analisada detalhadamente para estes tipos de madeiras.

5. DESENVOLVIMENTO DOS ENSAIOS

Foram comparados as características de usinabilidade os três tipos de madeira: duas espécies brasileiras *Eucalyptus grandis* (oriunda das Florestas da Klabin Florestal - PR) e *Eucalyptus dunnii* (oriunda das Florestas para o desenvolvimento de Pesquisas Florestais da EMBRAPA - PR) e uma alemã, *Fagus sylvática* (Rotbuche – adquirida no mercado madeireiro alemão), que foi o material de referência para a pesquisa.

A madeira independente da espécie é constituída dos mesmos materiais, isto é, lignina, celulose, bem como uma pequena quantidade de componentes secundários. A heterogeneidade da madeira caracteriza-se por diferentes estruturas cujo elemento básico é a célula, variando de espécie para espécie, e até mesmo dentro de uma mesma tora. A densidade de uma amostra de madeira é proporcional ao comportamento das células (membrana e poros).

Tabela 1 – Comparação da densidade e dureza para *E. grandis*, *E. dunnii* e Rotbuche (*Fagus Sylvática*).

Espécie	Dureza HB _m	Densidade ρ (kg/m ³)	Umidade (%)
<i>E. grandis</i>	45	665	9
<i>E. dunnii</i>	51	780	9
Rotbuche	53	810	7

Também, em regra, os valores da resistência mecânica e da força de usinagem são fortemente influenciados pela densidade. Para a realização dos ensaios foram determinados a densidade e a respectiva dureza conforme a tabela 1.

Os corpos de prova foram sistematicamente preparados para o fresamento no plano longitudinal tangencial com dimensões de 200 mm de comprimento, 100 mm de largura e 30 mm de espessura para os três tipos de madeira. Foram também observados, que os corpos de prova tivessem umidade constante e que todos originassem do mesmo „pedaço“ de madeira observando o sentido de crescimento da árvore. Para poder verificar o resultado de trabalho através da medição da rugosidade foram fresados uma ranhura de 10 x 10 x 200 mm. Com isso obteve-se uma área suficiente para possibilitar um comprimento de medição de 7 mm.

Os ensaios foram realizados para o processo de fresamento combinado de topo e periférico no fresamento de uma ranhura em um elemento de madeira utilizou-se uma fresadora CNC de topo da firma Reichenbacher modelo Ranc 740 H. A máquina construída na forma de portal é especial para a usinagem em altas velocidades. Para a correspondente

rigidez, permite no eixo horizontal uma velocidade de avanço de até 60 m/min. No cabeçote da fresadora foi montada uma moto-árvore de alta frequência do tipo ESC 70124M (Fa. Precise Präzisionsspindel GmbH) com uma potência máxima de 12 kW para $n = 18.000$ rpm. O fuso era lubrificado por névoa de óleo e controlado por meio de um regulador de frequência Refu 316/15.

Para limitar as forças resultantes do desbalanceamento (vibrações, força centrífuga, forças no mancal), foram fixados os valores de desbalanceamento adicional estático e dinâmico segundo as normas (DIN 847) (ISO 1940). Precauções especiais para um balanceamento rápido e seguro são necessários.

Como ferramenta foi utilizada uma fresa de gume único, (Fa. Leuco), que são apropriadas tanto para o fresamento de ranhuras em madeira maciça como para fresadoras CNC. A ferramenta tem um diâmetro de 80 mm projetado para uma rotação máxima de $n_{\max} = 18.000$ rpm ($v_{\max} = 75$ m/s). A ferramenta selecionada foi de metal duro (HM HL Board 05 da Fa. Leuco) – material de ferramenta internacionalmente utilizado pelo segmento moveleiro. Para minimizar a influência do desbalanceamento sobre a ferramenta foi implementado uma segunda pastilha, levemente recuada em relação à primeira, de forma que não possuísse nenhum efeito sobre o processo.

A descrição dos parâmetros de usinagem utilizados no desenvolvimento dos ensaios sistemáticos no processo de fresamento em alta velocidade de corte são mostrados na tabela 2.

Tabela 2 – Descrição das condições de usinagem.

V_c (m/s)	V_f (m/min)	f_z (mm)
65,4	8,0	0,5
65,4	12,8	0,8
65,4	15,6	1,0
65,4	23,4	1,5
65,4	31,2	2,0

A profundidade de corte e a penetração de trabalho foram constantes, $a_p = a_e = 10$ mm, bem como o número de dentes, $Z = 1$, e o diâmetro da fresa, $D=80$ mm. A ferramenta era de metal de duro da Fa. Leuco HM HL05.

Para a medição da rugosidade foi utilizado um rugosímetro da *Firma Perthometer S8P*. O apalpador é do tipo *Perthen FRHTB 250*, que possui um raio da ponta de $5 \mu\text{m}$, uma força de apalpação de $0,8...1,2$ mN e faixa máxima de medição de $500 \mu\text{m}$.

Foi escolhido um comprimento no sentido x de $l_x = 7,0$ mm e no sentido y $l_y = 10,0$ mm. Por superfície foi obtido um valor médio de 100 medições. Os valores nominais foram medidos sobre amostras de corpos de provas secos e transversal ao sentido da fibra. Para a interpretação dos resultados também foram observados a estrutura anatômica da madeira.

6. ANÁLISE DA TEXTURA SUPERFICIAL

A análise da textura superficial de um elemento fresado de madeira maciça em alta velocidade de madeira maciça deve poder distinguir segundo as causas de deformação entre a rugosidade estrutural, a rugosidade condicionada a técnica de fabricação, e a rugosidade cinemática (Heisel 1996). As componentes de rugosidade estão uma sobreposta a outra.

A *rugosidade estrutural* é dada através das características de heterogeneidade da madeira. Esta apresenta-se através da porosidade superficial aparente, bem como nas diferenças das regiões de lenho primaverais das de lenho tardio.

A *rugosidade condicionada a técnica de fabricação (rugosidade de processo)* é determinada pelo ângulo de cunha, bem como do estado de desgaste do gume da ferramenta, e apresenta-se na superfície da camada interna, cuja estrutura celular é alterada durante a usinagem.

Já a *rugosidade cinemática* é causada em função do comportamento do ataque do gume da ferramenta e apresenta-se para o fresamento periférico em forma de arco ciclóide (rugosidade de 3º Ordem) sobre a superfície da peça gerada, que está diretamente relacionado com o avanço.

Não existem normas específicas para a avaliação das superfícies usinadas de madeira. Os resultados dos métodos atualmente usados na indústria moveleira correspondem a um julgamento subjetivo de “experts”. A causa disto são os poros. Os poros da estrutura aparentemente desordenada do material, provocam uma elevada e extensa rugosidade específica da madeira. A quantidade e o diâmetro dos poros influenciam nos valores da rugosidade.

Normalmente, uma distinção entre a estrutura superficial específica da madeira (característica anatômica da madeira) e a topografia característica originada na usinagem de madeira não pode ser feita com um único perfil de rugosidade. Valores convencionais de rugosidade são baseadas em imagens de perfil em duas dimensões. Um desses métodos é a estimativa direta da qualidade da superfície. Para isso, é possível usar valores convencionais de rugosidade. Para pequenos poros, como os em madeira, os vabres da curva de Abbot (R_k , R_{vk} , R_{pk}) obtidos são os mais indicados, entretanto o descaso da rugosidade específica da madeira não permitia a comparação direta da rugosidade produzida na usinagem para diferentes espécies de madeira. Frequentemente, a rugosidade específica da madeira é maior que a rugosidade permitida nos processos de usinagem.

Para a análise do parâmetro rugosidade foi aplicado um processo de filtragem desenvolvido pelo IWF-Braunschweig denominado de „filtro de poros“ (Schadoffsky, 1996). Este processo de filtragem é semelhante ao processo de filtragem especial segundo a Norma DIN 4776 construído em vários níveis. A rugosidade estrutural e a rugosidade originada pelo processo de fabricação são separados um do outro pelo perfil de medição.

Com o emprego do novo método de análise quantitativa da textura superficial de madeiras maciças pode-se comparar resultados de rugosidade para diferentes espécies em diferentes processos com uma enorme segurança.

A influência da velocidade de avanço v_f respectivamente o avanço por dente f_z sobre os parâmetros de rugosidade no sentido longitudinal está apresentado na **Figura 1** para as madeiras Rotbuche, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*.

A influência do avanço sobre a rugosidade da superfície usinada das madeiras mostra que até aproximadamente $f_z = 1,5$ mm não ocorre nenhuma variação dos valores R_z e R_{pk} . Somente para $f_z = 2$ mm aumentam visivelmente os valores de rugosidade, o que gera uma correspondente piora da qualidade superficial. Pode-se ainda observar que para a madeira de *Eucalyptus grandis*, os valores de rugosidade para a faixa de $f_z = 2$ apresentam valores excelentes. Isto devido ao maior número de poros presentes na estrutura anatômica quando comparado com os outros dois tipos de madeiras investigados.

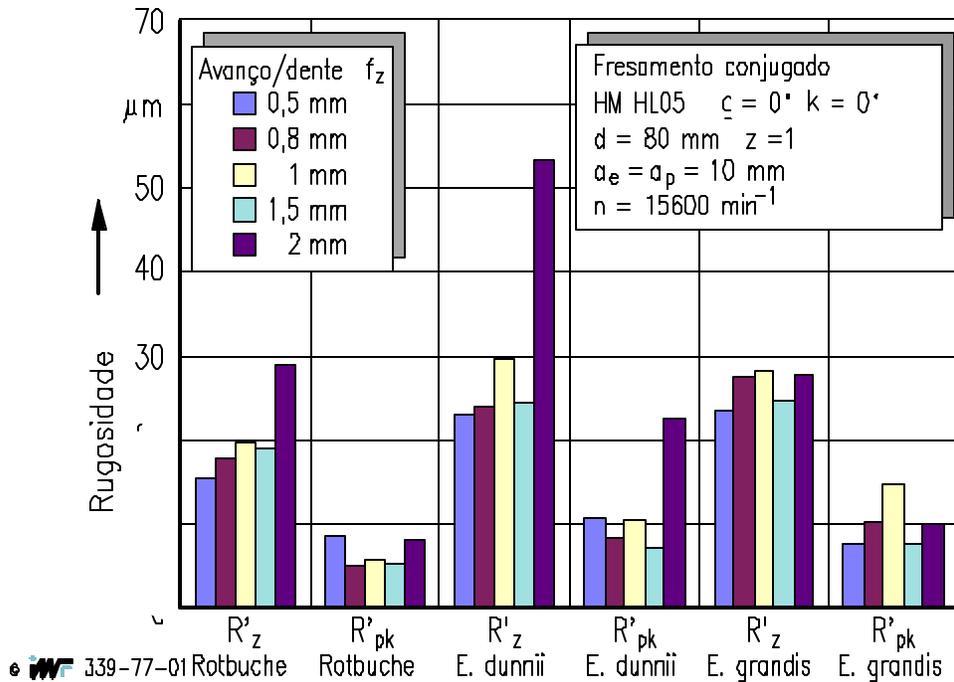


Figura 1 – Influência de diferentes avanços por dente sobre Rugosidade (Gorges-Farias, 1999).

7. CONCLUSÕES

Os resultados mostram excelentes perspectivas para as madeiras alternativas oriundas de floresta plantada propostas pelo setor florestal brasileiro em substituição as madeiras nativas de floresta tropical e subtropical para o setor moveleiro.

Agradecimentos

Os autores agradecem às empresas KLABIN Florestal, EMBRAPA (CNPQ) - PR, IWF/TU- Braunschweig e ao DAAD.

REFERÊNCIAS

- Costa, E.M., 1996, "A Madeira de Eucalipto na Indústria moveleira", V Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. P. 75-89.
- Donnelly; R.; Suchek, V., 1996, "Oportunidades de Expansão do Setor Madeireiro", In Revista da Madeira, Curitiba: ABPM, V. 6, p. 4-6.
- Ferreira, M.; Santos, P., 1997, "Melhoramento Genético Florestal dos Eucalyptus no Brasil: Breve Histórico e Perspectivas", In IUFRO Conference on Silviculture and Improvement of Eucalyptus. Salvador, V. 1, p. 14-34. 1997.
- Flândoli Sobrinho, V., 1996, "Lumber Market in Brazil", Wood Magazine 32: S 15-16

- FUß, M. 1995. Fraesen von Holz und Holzwerkstoffen Verbesserung und Zerpannleistung und Wirtschaftlichkeit. Dissertation TU-Braunschweig.
- Gorges-Farias, M., 1996, Fresamento de madeiras e de seus Derivados, Qualificação para a Tese de Doutorado, Curso de pós-graduação em Engenharia Mecânica, UFSC, Florianópolis.
- Gorges-Farias, M., 1999, “Vergleichende Untersuchungen der Zerpannungseigenschaften von Rotbuche, Eucalyptus Dunnii und Eucalyptus Grandis”, Abschlußbericht, TU-Braunschweig/DAAD.
- Gresham, G. E., 1997, “Mercado de Madeira de Florestas Plantadas. Seminário Internacional de Utilização de Madeira de Eucalipto para Serraria. P.-147 165.
- Heisel, U. 1997. Innovative Holzbearbeitungsmaschinen. 10. Holztechnisches Kolloquium, Braunschweig; Vulkan Verlag.
- Higa, R.C.V et alli., 1997, “Comportamento de Procedência de *Eucalyptus* em Área de Ocorrência de Geadas na Região Sul do Brasil”, In IUFRO Conference on Silviculture and Improvement of Eucalyptus. Salvador, V. 1, p. 106-110.
- Hoffmeister, H.-W.; Gorges-Farias, M.; Schnettker, T. A, 1998, “Entwicklungspotentiale beim Bandsaegen von Formteilen”, HOB – Die Holzbearbeitung. N. 4, S. 86-89.
- Jauch, R.. 1992. Auswirkungen von HSC auf Fräswerkzeuge. dima v. 6.
- Jacobs, M.R., 1981, “Eucalyptus for Planting”, FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rom, 1981.
- Lamprecht, H., 1990, “Silvicultura nos Trópicos: Ecosystemas Florestais e Respectiveas Espécies Arbóreas – Possibilidades e Métodos de Aproveitamento Sustentado”, Ed. GTZ GmbH, Eschborn
- Pires, I.E.; Paula, R. C. de, 1997, “Estado da Arte do Melhoramento Genético para a Qualidade da Madeira de Eucalipto: Uma Revisão”, In.: IUFRO Conference on Silviculture and Improvement of Eucalyptus, v. 3, p. 186-191. Salvador, Bahia.
- Schadoffsky, O. 1996. Meßtechnisches Erfassen und Bewerten von Massivholzoberflächen. Abschlußbericht des IWF AiF 9681, Braunschweig.
- Schulz, H.. 1987. Einsatzmöglichkeiten des Hochgeschwindigkeitsfraesens. 2. Darmstädter Fertigungstechnisches Symposium HSC (Hochgeschwindigkeitsbearbeitung). Darmstadt.

INFLUENCE OF THE FEED OF THE FINISH IN THE HIGH SPEED CUTTING OF OF EUCALYPTUS GRANDIS E EUCALYPTUS DUNNII

***Abstract** Changes in the behavior related to environmental aspects are modifying the international market of forest raw- materials. Eucalyptus wood from "planted forests" have found their market-share in the furniture industry. Its importance is growing, because it is renewable and the(strikethrough: besides a) decreasing production cost lead(strikethrough: ing) to higher competitive products. The Peripheral Cutting Process is considered the most important for the furniture industry due to its great variety of uses. Together with High Speed Cutting, it allows to produce products with(strikethrough: better) (strikethrough: and) lower production time. The result is better from both environmental and cost of production points of view. The finishing production step, the use of mass after application of selador and before painting, is reduced or even eliminated, for both natural and synthetic raw-materials.*

Keywords: Milling, HSC, Eucalyptus, finish.