

**INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE  
USINAGEM DA MADEIRA DE *Eucalyptus* sp.  
NO CONSUMO DE ENERGIA ESPECÍFICA  
DE CORTE EM SERRA CIRCULAR**

**ERICA MORAES DE SOUZA**

**2009**

**ERICA MORAES DE SOUZA**

**INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE USINAGEM DA MADEIRA DE  
*Eucalyptus* sp. NO CONSUMO DE ENERGIA ESPECÍFICA DE CORTE  
EM SERRA CIRCULAR**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa em Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração Processamento e Utilização da Madeira, para obtenção do título de "Mestre".

Orientador

Prof. Dr. José Reinaldo Moreira da Silva

LAVRAS

MINAS GERAIS – BRASIL

2009

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

Souza, Erica Moraes de.

Influência dos parâmetros de usinagem da madeira de  
*Eucalyptus* sp. no consumo de energia específica de corte em serra  
circular / Erica Moraes de Souza. – Lavras : UFLA, 2009.  
50 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2009.  
Orientador: José Reinaldo Moreira da Silva.  
Bibliografia.

1. Madeira roliça. 2. *Eucalyptus*. 3. Corte transversal. 4.  
Eficiência de corte. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 674.2

**ERICA MORAES DE SOUZA**

**INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE USINAGEM DA MADEIRA DE  
*Eucalyptus* sp. NO CONSUMO DE ENERGIA ESPECÍFICA DE CORTE  
EM SERRA CIRCULAR**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa em Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração Processamento e Utilização da Madeira, para obtenção do título de "Mestre".

APROVADA em 30 de setembro de 2009

Prof. Dr. José Tarcísio Lima

UFLA

Prof. Dr. Antônio Carlos Néri

UFLA

Dr. Alfredo Napoli

CIRAD

Dr. Túlio Jardim Raad

V&M

Prof. Dr. José Reinaldo Moreira da Silva

UFLA

(Orientador)

LAVRAS

MINAS GERAIS – BRASIL

A Deus, o meu Rei,  
A meu pai, Carlos Augusto de Souza (in memoriam),  
OFEREÇO.

"Quando vier o dia mau  
Eu vencerei.  
O vento forte e a tempestade  
Eu vencerei...  
...Porque eu tenho a espada  
Eu tenho o escudo  
A fé e a palavra do Senhor.  
O meu Deus é forte  
Venceu a morte  
Me fez muito mais que vencedor"

"Posso estar no deserto  
Ou passando no vale  
Mesmo assim estou certo  
Deus me guiará.

Não importa o que eu vejo  
Não importa o que eu passe  
Minha fé está firmada  
Em quem não falhará"

Davi Sacer

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me abençoar com o dom da vida, saúde e sabedoria.

A minha mãe Edna, minha avó Edite e meu irmão Edicarlos, que mesmo estando longe nunca deixaram de me apoiar, amar e orar.

A meu pai, Carlos Augusto (*in memoriam*), que mesmo não estando mais conosco, me motivou e inspirou a crescer mais e mais na minha formação. Em todos os momentos de minha vida lembro-me do seu sorriso... Saudade!

Ao meu amado, David, que suportou as dificuldades devido à distância. Por trocar suas férias de descanso para estar perto de mim no momento que eu mais precisava de ajuda e de apoio. Você é muito importante em minha vida!

Aos meus tios, tias, primos e primas que sempre estiveram na torcida por minha vitória.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao programa de pós-graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, pela oportunidade de realizar o mestrado.

À Empresa V&M Florestal, pela concessão da bolsa de estudos e pela disponibilidade dos recursos para execução da dissertação.

À Empresa Kampmann, pela doação das serras para realização deste projeto de dissertação.

Ao meu orientador Prof. Dr. José Reinaldo Moreira da Silva, por me ensinar a sempre buscar fazer com o máximo de dedicação e perfeição nossos trabalhos.

Aos membros da banca examinadora, Prof Dr. José Tarcísio Lima, Prof. Dr. Antônio Carlos Néri, Dr. Alfredo Napolí e Dr. Túlio Jardim Raad.

Aos professores Dr. Paulo Trugilho e Dr. Akira Mori e Dr. Lourival Mendes e Dr. Giovanni Rabelo, por transmitirem os conhecimentos adquiridos no mestrado e disponibilidade para esclarecer minhas dúvidas.

Aos funcionários do Departamento de Ciências Florestais. Seu Hernani e Gilson, pela ajuda durante os cortes das toras. A Chica, a Meire, a Cris e ao Claret.

Ao Thiago (Bola), pela força durante o desenvolvimento dessa dissertação.

Aos meus amigos da pós-graduação, em especial a Livia (minha amiga-irmã), Stella, Carlos, Luana, Raphael, Vânia, Gabriella, Lina, Selma, Meire e Rogério, pelos momentos compartilhados no mestrado. Pelo apoio durante os desesperos e dúvidas. Foi muito bom conhecer vocês!

Às companheiras de república, Georgea e Heloisa, pelo apoio. Mesmo com as diferenças vocês me ajudaram a aprender a conviver com estas.

As minhas amigas, Selma Ribeiro e Kamila, pelos maravilhosos momentos de alegria e aventuras por este lindo Estado que aprendi a amar.

Aos meus amigos, Andréa e Cláudio, por sempre estarem dispostos a me acolher, dar força e incentivo.

E a todos, que, de alguma forma contribuíram para a conclusão de mais uma etapa na minha vida acadêmica, agradeço!

## APRESENTAÇÃO GERAL

Este trabalho faz parte de um acordo de cooperação técnico e científico firmado entre a Universidade Federal de Lavras, o Centro de Cooperação Internacional em Pesquisa Agronômica para o Desenvolvimento – CIRAD/França e a empresa V&M Florestal Ltda., pertencente ao grupo Vallourec & Mannesmann Tubes.

O objetivo principal desse acordo foi estudar a otimização da produção de carvão vegetal em todas as suas variáveis, processo, qualidade da madeira e controle de qualidade da matéria-prima e desenvolver técnicas de avaliação do carvão vegetal confiáveis para aplicações na indústria siderúrgica.

Em um primeiro momento, este acordo de cooperação contou com a participação de dois estudantes de doutorado, três de mestrado e cinco de iniciação científica, coordenados por professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira da UFLA e por um pesquisador do CIRAD/França.

Esse acordo de cooperação internacional entre universidade brasileira, centro de pesquisa internacional e empresa franco-brasileira resultou no desenvolvimento de cinco subprojetos que são relacionados a seguir:

. Subprojeto 1: Estudo da relação entre as propriedades mecânicas da madeira e do carvão vegetal;

. Subprojeto 2: Estudo das propriedades químicas da madeira e seu impacto na qualidade do carvão vegetal;

. Subprojeto 3: Estudos para otimização de corte de madeira de eucalipto para produção de carvão vegetal;

. Subprojeto 4: Estudo da avaliação da secagem de madeira no campo para a carbonização;

. Subprojeto 5: Aplicação do NIRS para avaliação das propriedades da madeira e do carvão vegetal.



Esta dissertação trata especificamente do subprojeto 3, cujo objetivo foi estudar a influência dos parâmetros de usinagem no consumo de energia específica de corte.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 Produção de carvão vegetal para siderurgia.....	3
2.2 Processo de corte da madeira.....	4
2.3 Características dos ângulos da ferramenta de corte.....	6
2.4 Fatores que influenciam no corte da madeira.....	7
2.4.1 Propriedades da madeira.....	7
2.4.2 Máquinas e ferramentas.....	8
2.4.2.1 Velocidade de corte ( $V_c$ ).....	8
2.4.2.2 Velocidade de avanço ( $V_f$ ).....	9
2.4.2.3 Número de dentes ( $Z$ ).....	9
2.5 Esforços envolvidos durante o corte.....	10
2.6 Energia específica de corte ( $E_s$ ).....	10
2.7 Inversor de frequência na indústria.....	11
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1 Material biológico.....	14
3.2 Parâmetros de usinagem.....	14
3.3 Coleta de dados.....	17
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
4.1 Clone MN 463.....	23
4.2 Clone MN 463 verde em comparação com VM 01 verde.....	32
5 CONCLUSÕES.....	39
6 RECOMENDAÇÕES.....	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41

ANEXOS.....	46
-------------	----

## RESUMO

SOUZA, Erica Moraes de. **Influência dos parâmetros de usinagem da madeira de *Eucalyptus* sp. no consumo de energia específica de corte em serra circular**. 2009. 50 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.\*

Novas tecnologias empregadas no corte da madeira de *Eucalyptus* sp. para o processo de carbonização contínua requerem cuidados. A escolha do tipo de ferramenta e das velocidades de corte e de avanço influenciam na redução do tempo e do custo com a energia durante o processamento, otimizando sua produção. Objetivou-se verificar a influência dos parâmetros de usinagem no gasto de energia específica de corte da madeira dos clones de *Eucalyptus* sp., MN 463 e VM 01, da Empresa V&M Florestal. Os ensaios foram desenvolvidos no Laboratório de Usinagem da Madeira do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras (DCF/UFLA). Foram utilizadas toras, de 1,70 m de comprimento com menos de 30 dias de abate, consideradas de verdes, e com mais de 90 dias, consideradas de secas. O delineamento experimental utilizado foi fatorial 3 x 3 x 4 x 2 (velocidade de corte x velocidade de avanço x número de dentes x umidade) e 3 x 3 x 4 x 1 para o MN 463 e VM 01, respectivamente. Avaliou-se o consumo de energia específica de corte da madeira para cada interação. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Maiores velocidades de corte, menores velocidades de avanço, serra circular de 40 dentes e o clone MN 463 consumiram maior quantidade de energia específica.

---

Comitê Orientador: José Reinaldo Moreira da Silva - UFLA (Orientador),  
José Tarcísio Lima – UFLA e Alfredo Napoli - CIRAD

## ABSTRACT

SOUZA, Erica Moraes de. **Influence of the woodworkability parameters of *Eucalyptus* sp. wood in specific energy consumption for cutting in circular saw.** 2009. 50 p. Dissertation (Master Program in Science and Technology of Wood) – Federal University of Lavras, Lavras, MG.\*

New technologies used in the cutting of *Eucalyptus* sp. for the carbonization continuous process require care. The choice of tool and cutting speeds and feed influence on reducing the time and cost of energy during processing, optimizing its production. The objective was to verify the influence of the woodworkability parameters on specific energy spent cutting timber clones of *Eucalyptus* sp., MN 463 and VM 01, Company V & M Florestal. The tests were developed in the Laboratory of Woodworkability, Department of Forest Sciences, Universidade Federal de Lavras (DCF/UFLA). Were used logs of 1,70 m in length with less than 30 days of slaughter, considered to be green, and with more than 90 days, considered to be dry. The experiment was a 3 x 3 x 4 x 2 (speed cutting x speed feed x number of teeth x moisture) and 3 x 3 x 4 x 1 for the MN 463 and VM 01, respectively. Were evaluated the specific energy consumption of cutting of wood for each interaction. The results were submitted to analysis of variance and means compared by Tukey test at 5% significance level. More speeds cutting, lower speeds feed, circular saw with 40 teeth and clone MN 463 consumed greater amount of specific energy.

---

Guidance committee: José Reinaldo Moreira da Silva - UFLA (Major Professor), José Tarcísio Lima – UFLA and Alfredo Napoli - CIRAD

## 1 INTRODUÇÃO

Com a escassez de madeiras nativas, o eucalipto assume o importante papel no suprimento de carvão, principalmente para a alimentação dos grandes fornos da indústria siderúrgica brasileira. O Brasil possui o maior parque siderúrgico à base de carvão vegetal e o estado de Minas Gerais concentra a maior produção e consumo de carvão de *Eucalyptus* (Associação Mineira de Silvicultura - AMS, 2009).

As grandes indústrias brasileiras propõem-se automatizar seus processos. O objetivo é otimizar a produção, que necessita de controle dos equipamentos inerentes ao processo. Assim, o inversor de frequência é um acessório indispensável. Ele permite o acompanhamento e registro dos parâmetros pré-estabelecidos no processamento da matéria-prima.

Novas tecnologias de produção de carvão vegetal requerem estudos do corte da madeira. É importante não comprometer o rendimento e a qualidade do produto final. Exemplo desse perfil é o processo de carbonização contínua executado pela unidade de carbonização da Empresa V&M Florestal. Neste processo são utilizados toretes de madeira com 30 cm de comprimento. Eles são cortados por uma serra circular com velocidades de corte e de avanço fixas e com geometria dos dentes trapezoidais e retos intercalados. Com estes parâmetros, a referida máquina não consegue suprir o abastecimento do forno de carbonização. Também se observam frequentes interrupções no corte da madeira, comprometendo a produção. Então, torna-se necessário estudos de faixas de velocidades de corte e de avanço, bem como o uso de diferentes geometrias dos dentes das serras circulares. Para tanto, o uso de inversores de frequência nos motores permite a variação dos parâmetros.

Parâmetros de corte, que envolvem principalmente as velocidades de corte e de avanço, associados à qualidade da madeira e a geometria do dente da

serra, podem implicar no tempo de processamento e no gasto com energia, que são decisivos nas estratégias industriais.

Frente ao exposto, por meio de uma parceria entre a UFLA, o CIRAD/França e a V&M Florestal estabeleceu-se um projeto de “Otimização da produção e qualidade do carvão de *Eucalyptus* para a siderurgia”, o presente sub-projeto teve os seguintes objetivos:

- ✓ estudar a influência das velocidades de corte e de avanço no consumo de energia específica de corte para os clones de *Eucalyptus* sp. MN 463 e VM 01, em diferentes umidades;
- ✓ verificar a influência do número e da geometria de dentes da serra circular no consumo de energia específica de corte para madeira dos dois clones;
- ✓ comparar o consumo de energia específica de corte entre os clones em diferentes umidades;
- ✓ indicar para Empresa a condições de corte que geram menores consumos de energia específica para cada clone.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O gênero *Eucalyptus*, nativo da Austrália e de ilhas adjacentes, pertence à família Myrtaceae e possui mais de 600 espécies, variedades e híbridos. Sua ocorrência estende-se desde áreas pantanosas até muito secas, solos de baixada de alta fertilidade até solos arenosos muito pobres e ocupa ambientes altamente variáveis de precipitação e de temperaturas (Assis, 1996).

Grande diversidade de espécies significa variedade de madeira possibilitando sua utilização para os diversos usos. No Brasil, este gênero era utilizado para lenha, estacas de cercas e dormentes, conseqüentemente, reduzindo a pressão sobre as florestas nativas. Atualmente, além do uso crescente para celulose e papel, carvão vegetal, sua madeira é utilizada para produção de móveis (AMS, 2007).

### 2.1 Produção de carvão vegetal para siderurgia

No Brasil, o carvão vegetal produzido é proveniente de madeira de florestas nativas e de florestas plantadas, principalmente de espécies ou híbrido do gênero *Eucalyptus*. No ano de 2008, foram consumidos mais de 15 milhões de metros de carvão de origem nativa e mais de 17 milhões de metros de carvão de origem de florestas plantadas (AMS, 2009). No Brasil ainda ocorre a exploração da floresta nativa por parte dos produtores independentes.

O carvão vegetal de origem plantada possui uma importância na economia brasileira, em especial para Minas Gerais, que é principal estado produtor e consumidor. A maior parte dos plantios de *Eucalyptus* do Estado destina-se a produção de carvão vegetal para siderurgia. Segundo a AMS (2009), em 2008, a área plantada em Minas Gerais destinada para a produção do ferro-gusa foi de 65.587 ha e o consumo de carvão vegetal na siderurgia foi de 20,9 milhões de metros de carvão. Além da indústria siderúrgica, o carvão vegetal também



participa como substituto do óleo combustível nas caldeiras e nos fornos de combustão da indústria de cimento e de materiais primários (Trugilho et al., 2001).

Algumas madeiras de *Eucalyptus* possuem alta densidade e elevado teor de lignina, que são desejáveis para a produção de carvão vegetal (Trugilho, 1995). Contudo, estudos de matérias-primas são importantes, pois afetam a qualidade do carvão vegetal gerado pela carbonização.

## **2.2 Processo de corte da madeira**

Na produção de carvão vegetal em fornos tradicionais, a madeira é cortada com comprimento de aproximadamente 3,60 m. Neste caso, são utilizadas as motosserras ou máquinas florestais. Já no processo de carbonização contínua o comprimento é de aproximadamente 30 cm. Os toretes obtidos são processados em serras circulares.

Segundo Mendes et al. (1982), no processo de carbonização da madeira existe relação direta entre o comprimento da peça, sua umidade com a geração de finos (granulometria menor que 13 mm - moinha). Foi observado que comprimentos entre 22 a 24 cm, 48 a 50 cm e 100 a 160 cm, geraram teores de finos de 8,5%, 14,3% e 17,8%, respectivamente. Contudo, ressalta-se que não foi mencionado sobre as variações dimensionais dos diâmetros e/ou umidades das toras para cada comprimento estudado. Assim, torna-se necessário refletir se o teor de finos foi realmente causado apenas pela variação do comprimento. Além disto, é de fundamental importância o estudo do corte da madeira, com controle da variação do diâmetro das peças, para o entendimento de sua influência no processo de produção de carvão vegetal.

Segundo McKenzie (1960), existem três famílias de corte ortogonal para madeiras (Figura 1). Elas são representadas pela associação de dois ângulos. O primeiro ângulo é formado entre a aresta de corte (gume) da ferramenta e o eixo axial das fibras da madeira. O segundo ângulo é formado entre a direção do

corte e o eixo axial das fibras da madeira. Então, existem as famílias  $0^\circ - 90^\circ$ ,  $90^\circ - 0^\circ$  e  $90^\circ - 90^\circ$ . As serras circulares utilizadas na obtenção da matéria-prima para o processo de carbonização contínua, os cortes transversais periféricos são considerados do tipo  $0^\circ - 90^\circ$ . A serra circular apresenta variação de diâmetros, de espessuras e de número e geometria dos dentes (Marciel, 1989; Gonçalves, 2000).

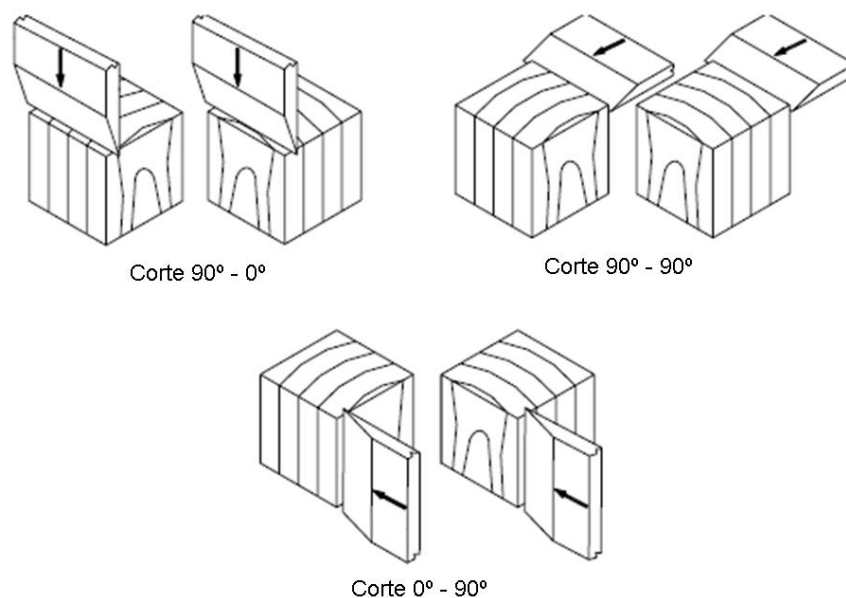


FIGURA 1 Representação das famílias de corte ortogonal da madeira (Hoadley, 1980).

O conhecimento da operação de corte é importante para que ocorra a utilização racional do equipamento. Assim, visa-se obter melhor aproveitamento da matéria-prima, baixo investimento, mínimo consumo energético, qualidade dos produtos e segurança dos operadores. Também, o conhecimento do tipo da máquina de corte das toras é importante, pois esta irá influenciar na escolha das serras circulares, de suas especificações e das velocidades de corte e de avanço,

que são parâmetros fundamentais para um bom desempenho da máquina de corte.

### 2.3 Características dos ângulos da ferramenta de corte

Os dentes de serra são constituídos por três ângulos básicos. Eles são conhecidos como ângulo livre ( $\alpha$ ), ângulo de cunha ( $\beta$ ) e ângulo de ataque ( $\gamma$ ). O somatório destes ângulos é igual a  $90^\circ$  (Figura 2).

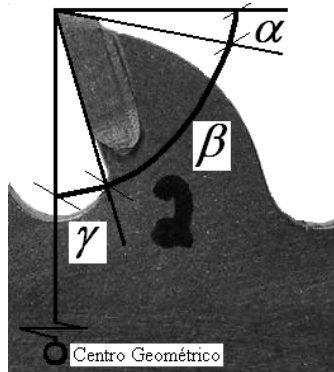


FIGURA 2 Ângulos básicos dos dentes de uma serra circular (Oliveira, 2008).

O ângulo livre ( $\alpha$ ) representa o ângulo formado entre a projeção das costas do dente e a reta tangente do cilindro de corte sobre a ponta do gume. Sua função é reduzir o contato dos dentes com a madeira, reduzindo os esforços devido o atrito. Para a maioria dos fabricantes de serras circulares, seu valor ideal é próximo de  $10^\circ$ . O ângulo de cunha ( $\beta$ ) é o ângulo formado entre as projeções do peito e costa do dente. Menores valores promovem menores esforços de corte da madeira, contudo, mais frágil será o dente levando-o ao torcimento ou quebra (Silva, 2002). Alguns fabricantes de serras circulares informam que o valor mínimo deve ser de  $45^\circ$ . Segundo o Centro de Tecnologia da Madeira e do Mobiliário – CETMAM-SENAI (1996), madeiras duras e cortes transversais exigem um ângulo de cunha menor. O ângulo de ataque ( $\gamma$ ) é

formado entre a projeção do peito do dente e a reta que vai da ponta do dente ao centro geométrico da ferramenta. O ângulo de ataque define, juntamente com a resistência da madeira e com a espessura de corte, o tipo de cavaco formado (Santos, 1999). Para cada espécie haverá uma faixa ótima para o ângulo de ataque. Se o ângulo de ataque variar de  $-2$  a  $+2^\circ$ , ocorre forte compressão das fibras, necessitando de altos esforços de usinagem (Bonduelle et al., 2002).

Para definição dos valores dos ângulos, é necessário conhecer as relações com os materiais da ferramenta e da matéria-prima a ser cortada. A seleção do material da ferramenta implicará na capacidade de carga que o gume poderá suportar durante a solitação no material da peça (Gonçalves, 2000).

## **2.4 Fatores que influenciam no corte da madeira**

### **2.4.1 Propriedades da madeira**

A presença de depósitos de minerais abrasivos nas células, teor de resina, porosidade, dimensões das fibras, orientação da grã e a presença de nós, têm grande influência na qualidade da superfície e na eficiência dos processos de transformação da madeira (Koch, 1964; Panshin & De Zeeuw, 1980; Kollmann & Cotê Júnior, 1984; Lucas Filho, 1997; Silva et al., 2005).

A umidade da madeira também tem relação direta com a qualidade e eficiência da usinagem. Lima et al. (1986) estudando a influência da umidade nas propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith, observaram que a umidade exerceu um efeito exponencial na resistência à compressão paralela, módulo de elasticidade à flexão e tensão e trabalho no limite de proporcionalidade, sendo essas propriedades sempre crescentes com a queda de umidade. Quando a madeira é seca a umidades abaixo do ponto de saturação das fibras (PSF), há uma redução dos espaços submicroscópicos entre as microfibrilas formadoras da parede celular, aumentando a rigidez da mesma e com isso, aumentando a resistência mecânica de modo exponencial (Koch, 1964).

O esforço de corte em madeiras muito densas pode chegar a ser cinco vezes maior, quando comparado às madeiras macias. Além disto, o corte perpendicular às fibras (90° - 90°) requer maiores energia e forças de corte em comparação com o corte ao longo das fibras (Gonçalves, 2000).

## **2.4.2 Máquinas e ferramentas**

### **2.4.2.1 Velocidade de corte (V<sub>c</sub>)**

A velocidade de corte (Equação 1) é a velocidade periférica da ferramenta. Na usinagem de madeira, ela é expressa em metros por segundo (m.s<sup>-1</sup>). Uma velocidade de corte ideal para usinagem depende dos materiais constituintes da ferramenta e do tipo de matéria-prima a ser processada. Foyster, 1953 e Lapin, 1954, citados por Kollmann & Cotê Júnior (1968), indicam velocidades de corte entre 66 a 74 m.s<sup>-1</sup> e 80 a 100 m.s<sup>-1</sup> para serras circulares em cortes de madeiras mais densas e cortes transversais, respectivamente.

$$V_c = \frac{\pi \times D \times n}{60} \quad (1)$$

Em que:

$V_c$  = velocidade de corte (m.s<sup>-1</sup>);

$D$  = diâmetro da ferramenta (m);

$n$  = frequência de rotação (m<sup>-1</sup> = rpm).

Serras circulares com diâmetro de 400 mm, devem ser usadas com velocidades de corte entre 60 a 80 m.s<sup>-1</sup> e 55 a 70 m.s<sup>-1</sup> para madeiras menos ou mais densas, respectivamente (Reval, 2009).

Para o processamento da madeira, CETMAN/SENAI (1996), indica velocidades de corte entre 30 a 100 m.s<sup>-1</sup>.

#### 2.4.2.2 Velocidade de avanço ( $V_f$ )

A relação entre o comprimento de corte e o tempo necessário para sua execução é denominada de velocidade de avanço (Equação 2). Ela é geralmente expressa em  $m \cdot \text{min}^{-1}$

$$V_f = \frac{Du}{t} \quad (2)$$

Em que:

$V_f$  = velocidade de avanço da peça ( $m \cdot \text{min}^{-1}$ );

$Du$  = deslocamento de usinagem (m);

$t$  = tempo necessário para executar o deslocamento de usinagem (min).

#### 2.4.2.3 Número de dentes ( $Z$ )

A escolha do número de dentes de uma ferramenta de corte pode ser afetada pelo tipo de acabamento ou quantidade de desbaste, espécie de madeira, tipo de cavaco produzido, potência de corte necessária, velocidade de corte e velocidade de avanço. Além destes, deve considerar os seguintes fatores: capacidade de armazenamento de cavacos pela garganta, estabilidade lateral adequada e geometria cortante Sandvik (1999).

Alguns fabricantes afirmam que corte transversal requer um número de dentes maior que para corte longitudinal. Reval (2009) indicam serras circulares de 18 a 36 dentes e 48 a 72 dentes para cortes longitudinais e transversais, respectivamente, considerando um diâmetro de 400 mm.

## **2.5 Esforços envolvidos durante o corte**

As operações de industrialização da madeira devem ser realizadas de maneira que a máquina não sofra desgaste excessivo, dano ou destruição, reduzindo custos de manutenção ou de substituições (Brown & Bethel, 1975).

Néri et al. (1999) afirmam que as forças de corte requeridas têm grande importância no projeto da geometria da ferramenta de corte e na potência requerida das máquinas. As forças de corte variam com a espécie de madeira, com a direção das fibras e de corte, com a afiação da ferramenta e com o tipo desta.

Meyer (1926), citado por Kollmann & Cotê Júnior (1968), apresentou um diagrama de potência de corte como funções da velocidade de corte. Foi observado que a velocidades de corte mais elevadas estão associada com utilização menos eficientes de energia de corte.

Estudos realizados por Koch (1964), sobre a influência da direção das fibras no consumo da potência de corte, resultaram em maior consumo para cortes ao longo da fibra ( $90^\circ - 0^\circ$ ) e menores para corte transversais ( $0^\circ - 90^\circ$ ).

Outro fator que exerce influência sobre o esforço de corte é o ângulo livre ( $\alpha$ ), pois quanto maior este ângulo, menor será o esforço do corte e quando muito pequeno (inferior a  $2^\circ$ ) pode causar atrito do dente com a madeira (Bonduelle, 2001). O estado de afiação do dente também influencia a força de corte, uma vez que um bom estado do dente reduz tais forças (Gonçalves, 2000).

## **2.6 Energia específica de corte (Es)**

A energia específica de corte, juntamente com a força específica, proporciona a comparação e a avaliação da eficiência das ferramentas de corte. A energia específica de corte é definida como a relação entre o consumo de energia líquida de corte e o volume de material removido (Lubkin, 1957, citado por Kollmann & Cotê Júnior, 1968).

A energia específica é uma das grandezas físicas importantes provenientes da usinagem (Gorczyca, 1987). Outras variáveis como força, tempo e comprimento de corte, desgaste da ferramenta, temperatura de corte, também têm seu grau de relevância neste cenário (Rodrigues, 2005).

Por meio da energia específica de corte pode-se também estimar a potência requerida em uma operação de usinagem de um dado material (Ersoy & Atici, 2004). Neste caso, deve-se considerar a eficiência do motor e efeitos da inércia e do atrito. Alguns pesquisadores adotam constantes para compensar variações da velocidade de corte e de avanço, profundidades de usinagem e desgastes da ferramenta.

Azzola (1954), citado por Kollmann & Cotê Júnior (1968), estudando o consumo de energia específica de corte em serra circular, observou que o aumento da velocidade de avanço reduzia o consumo de energia específica de corte. Também foi observado que as curvas hiperbólicas podem ser alteradas pela sobrecarga de modo que eles passam por um valor mínimo, com um aumento subsequente.

Melo et al. (2003), estudando usinagem de metais observaram que a energia consumida no corte é essencialmente convertida em calor. Além disto, a transferência não é igualitária, em que o cavaco recebe 90% do total. Já a peça usinada e a ferramenta cortante recebem 5%, cada uma. Estudos semelhantes devem ser feitos para usinagem de madeira, uma vez que são escassos e esta é uma matéria-prima usada para diversos fins no Brasil e no mundo.

É necessária a otimização de ajustes entre velocidades de corte e de avanço. Desta forma, o motor elétrico não estará com sobrecarga e conseqüentemente, não consumirá mais energia que a necessária para o corte

## **2.7 Inversor de frequência na indústria**

Denomina-se inversor de frequência um equipamento de acionamento estático para motores elétricos, cujo um de seus objetivos é o controle e variação



das frequências de rotação dos motores elétricos de indução monofásicos e trifásicos. Os inversores também evitam a instabilidade elétrica no motor e possibilitam o aumento do torque em baixas velocidades (WEG, 2008).

No Brasil, os primeiros inversores surgiram entre 1978 e 1979 em vários seguimentos industriais. Eram em geral grandes, possuíam funções limitadas e era relativamente caros, sendo adquirido somente por poucos (Schmitz, 2001). Hoje, o mercado dispõe de marcas e modelos de simples instalação e operação, com recursos otimizados em software, facilmente parametrizáveis, por meio de interface homem-máquina simples, que o habilitam para utilização em controle de processos e máquinas industriais (WEG, 2008).

Com a necessidade de aumento de produção e redução de custos na indústria, a utilização do inversor de frequência tem sido amplamente empregada em situações em que o motor de indução precisa operar em diferentes velocidades (Simão & Almeida Neto, 2002).

Segundo Capelli (2002), os inversores são classificados em quatro blocos:

- **1º bloco – CPU (unidade central de processamento)** – é formada por um microprocessador. Neste bloco todos os parâmetros e dados do sistema são armazenados;

- **2º bloco – IHM (interface homem máquina)** – esse dispositivo permite visualizar se o inversor está parametrizado e se necessário ser alterado;

- **3º bloco – Interfaces** – o comando pode ser analógico ou digital. Normalmente para controle da frequência de rotação utiliza-se tensão analógica (situada entre 0 e 10 Vcc), sendo que essa velocidade será proporcional ao seu valor;

- **4º bloco – Etapa de potência** – é constituída por um circuito retificador que alimenta por meio de um barramento de corrente contínua (DC), o módulo IGBT.

Os inversores de frequência podem ser empregados em diferentes processos industriais onde é necessário o controle de velocidade, permitindo a utilização de máquinas de corrente alternada, trazendo como benefício elevado rendimento e alto fator de potência (Sanguedo & Stephan, 1997; Ottoboni, 2002). Este equipamento é capaz de promover variações na rotação de acionamento do motor com rapidez e eficiência, sendo também capaz de alterar a frequência da tensão aplicada ao mesmo, possibilitando controlar sua rotação (Mello et al., 1999; Carvalho et al., 2000).

Campana et al. (2000) afirmam que o uso de inversores de frequência se apresenta como uma ferramenta útil para corrigir índices de carregamento, rendimentos e fatores de potência inferiores aos nominais e aliviar o motor elétrico de cargas desnecessárias, resultando em uma redução no consumo de energia.

Em estudos com a utilização do inversor de frequência em sistemas de irrigação nos Estados Unidos, foram obtidos resultados satisfatórios, uma vez que a redução da potência consumida, provocada pelo uso do equipamento, gerou economia de energia permitindo especular sobre a viabilidade do mesmo para as condições brasileiras (Hanson et al., 1996).

O emprego do inversor de frequência no bombeamento de irrigação, promoveu redução média de 40,7 e 75,0%, considerado redução da frequência de rotação de 1800 para 1500  $\text{min}^{-1}$  e de 1800 para 1100  $\text{min}^{-1}$ , respectivamente (Alves et al., 2002).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Material biológico

Foram utilizadas toras de 170 cm de comprimento e diâmetro de 07 a 11 cm do clone MN 463 (híbrido natural de *Eucalyptus urophylla*) e VM 01 (*Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus urophylla*) da Empresa V&M Florestal. A idade das árvores no momento do abate era de 8 anos e pertenciam a plantios comerciais localizados no município de Paraopeba/MG. Foram selecionadas toras recém abatidas, consideradas de toras verdes, e toras com secagem no campo por mais de 90 dias, consideradas de toras secas (Anexo 3A). A densidade básica média da madeira era 0,514 e 0,574 g.cm<sup>-3</sup> para os clones MN 463 e VM 01, respectivamente.

Todo material foi transportado para o Laboratório de Usinagem da Madeira do Departamento de Ciências Florestais (DCF/UFLA). No período de experimentação não havia disponibilidade de toras secas do clone VM 01.

#### 3.2 Parâmetros de usinagem

Na unidade de produção da V&M Florestal, foram realizadas medições das velocidades de avanço e da frequência de rotação da serra circular existente, que produzia toretes de 30 cm. Também foram coletadas as dimensões da serra circular e fotografados seus dentes. A partir dos dados foi calculada a velocidade de corte da referida serra circular. Conhecendo as velocidades de avanço (12 m.min<sup>-1</sup>) e de corte (58 m.s<sup>-1</sup>), desenvolveu-se um sistema automático de movimentação da mesa em uma serra circular de carrinho (Figura 3), presente no Laboratório de Usinagem da Madeira (DCF/UFLA).



FIGURA 3 Serra circular de carrinho (DCF/UFLA) com avanço mecânico automático da mesa.

O sistema desenvolvido permite fixação das toras sobre a mesa, fato que tornou a operação de corte segura. Ele também permite obter velocidade de avanço e de corte diferentes ao encontrados na serra circular da V&M Florestal. O armazenamento dos parâmetros elétricos envolvidos no processamento foi realizado por meio dos inversores de frequência WEG, modelo CFW 08, equipado com interface de comunicação serial (KSD CFW08), *software* Super Driver® e microcomputador.

A seguir foram realizados cortes transversais ( $0^\circ$  -  $90^\circ$ ) preliminares para ajustes das velocidades de corte e avanço de acordo com condições presentes na serra circular da V&M Florestal. Os parâmetros de usinagem avaliados (Tabela 1) foram velocidade de corte ( $V_c$ ), velocidade de avanço ( $V_f$ ) e número de dentes ( $Z$ ), para as duas umidades ( $U$ ).

TABELA 1 Níveis e especificações dos parâmetros de usinagem adotados.

Fatores	Níveis		Especificações		
Velocidade de corte ( $m.s^{-1}$ )	3	46	58*	70	
Velocidade de avanço ( $m.min^{-1}$ )	3	7	12*	17	
Número de dentes	4	20	24	40*	48
Umidade	2	verde	seca*		
Total de tratamentos	72				

\* Condição da máquina de corte da V&M Florestal

O formato dos dentes utilizados foi alterno (Figura 4-a). Contudo, para a serra de 40 dentes, semelhante à utilizada pela Empresa V&M Florestal, foram usados dois tipos de dentes intercalados, sendo um trapezoidal e um reto, sucessivamente (Figura 3-b).

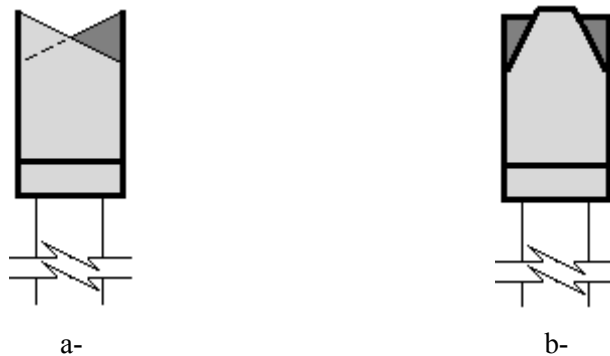


FIGURA 4 Perfil dos dentes das serras circulares usadas, em que a – dentes alternos e b – dentes trapezoidal e reto intercalados.

Para cada grupo de velocidades de corte e de avanço, número de dentes e umidade das toras, foram realizados 25 cortes transversais a cada 3 cm ao longo de seu comprimento. Também em cada tora processada, foram aleatoriamente coletados cinco discos, desprezando os três mais próximos de

cada extremidade. Esses discos foram utilizados para determinação da umidade (base seca – Equação 3) e densidade aparente (Equação 4).

$$Umidade_{base\ seca} = \frac{massa\ atual - massa\ seca}{massa\ seca} \times 100 \quad (3)$$

$$Densidade_{aparente} = \frac{massa\ atual}{Volume\ na\ umidade\ atual} \quad (4)$$

### 3.3 Coleta de dados

A comunicação entre o inversor de frequência e o microcomputador foi feita por meio do módulo de interface serial RS-232 PC/Drive. Esta interface permite a transmissão dos dados em tempo real durante o processamento.

Para a parametrização e monitoração do inversor foi utilizado o *software SuperDrive* (Figura 5). Durante o corte foram adquiridos quatro parâmetros simultaneamente, sendo eles: valor proporcional à frequência ( $\text{min}^{-1} = \text{rpm}$ ), corrente de saída do motor (Amperes), tensão de saída do motor (Volts) e torque do motor (%). O tempo de aquisição dos parâmetros foi de 250 milissegundos, conforme trabalho de Oliveira et al. (2008). Para determinação da energia específica utilizou-se a frequência de rotação e o torque.

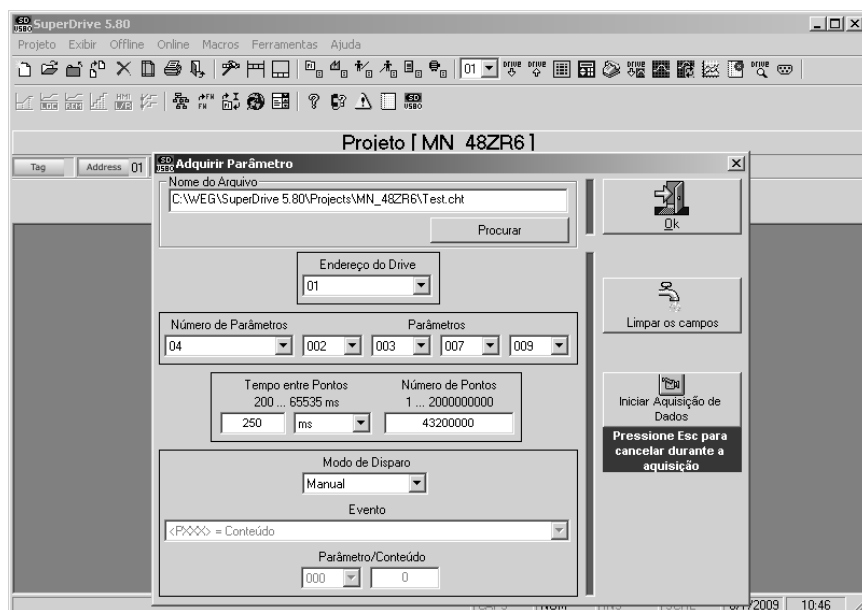


FIGURA 5 Interface da função “Adquirir Parâmetro” do *software* SuperDrive.

Após a coleta dos dados pelo *software*, foram gerados gráficos em planilhas eletrônicas nos quais foi possível observar o comportamento dos parâmetros coletados durante o processamento das toras (Figura 6).

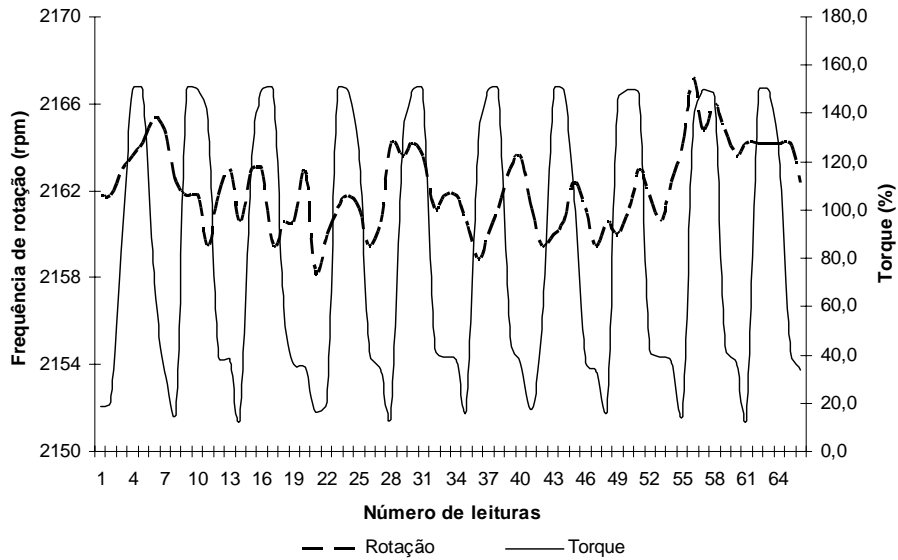


FIGURA 6 Representação do comportamento da frequência de rotação (rpm) e do torque (%) durante o corte da madeira dos clones MN 463 e VM 01.

A captura dos dados pelo *software* de parametrização é contínua. Não existem interrupções, em que mesmo quando a serra circular não estava processando a madeira (sistema ocioso) eram armazenados os dados. Assim, foram identificados os intervalos em que realmente ocorreram os cortes das toras. Para tanto, selecionou-se as faixas de abrupta ascendência/descendência dos valores de torque, intercaladas por faixas de torques reduzidos e aproximadamente constantes (Tabela 2). Essas últimas faixas foram descartadas.



TABELA 2 Exemplo de uma base de dados com seleção das faixas de abrupta ascendência/descendência dos torques e faixas descartadas de torques reduzidos e aproximadamente constantes, avaliados durante o corte das toras dos clones de *Eucalyptus* sp. MN 463 e VM 01

Tempo	Rotação (rpm)	Tensão (V)	Corrente (A)	Torque (%)	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
10:18:31	2160,6	7,99	128	15,4	
...31	2162,4	7,73	128	15,0	
...32	2161,2	7,68	128	17,8	<b>Usinagem Selecionada</b>
...32	2158,8	13,23	134	150,0	
...32	2161,2	14,29	136	150,0	
...33	2160,0	13,73	135	146,8	
...33	2162,4	8,42	131	36,3	
...34	2163,0	7,70	128	17,4	
...34	2162,4	7,66	128	18,1	<b>Ocioso Descartado</b>
...34	2163,6	7,75	128	16,1	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
10:18:51	2163,6	7,99	128	14,7	<b>Ocioso Descartado</b>
...51	2161,2	7,70	128	14,4	
...52	2160,6	7,84	128	15,7	<b>Usinagem Selecionada</b>
...52	2163,0	12,06	131	134,1	
...52	2161,2	14,14	136	150,0	
...53	2162,4	14,24	130	150,0	
...53	2160,6	9,41	133	48,7	
...54	2160,0	7,67	128	15,7	
...54	2157,6	7,68	128	18,5	<b>Ocioso Descartado</b>
...54	2160,6	7,80	128	16,1	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
10:19:10	2158,8	7,77	129	17,4	<b>Ocioso Descartado</b>
...10	2160,0	7,63	129	18,8	
...11	2161,8	7,67	128	18,8	<b>Usinagem Selecionada</b>
...11	2160,6	8,03	125	63,8	
...12	2158,8	14,78	131	150,0	
...12	2160,0	13,98	130	150,0	
...13	2160,6	11,74	133	107,7	
...13	2162,4	8,17	130	36,7	
...13	2164,2	7,70	128	16,4	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	

Para o cálculo do consumo da energia específica de cada tratamento, foram utilizadas as Equações 5, 6 e 7.

$$Potência = \frac{T \times n \times 0,0014 \times 736}{1000} \quad (5)$$

Em que:

*Potência* = potência de corte (kW);

*T* = torque (kgf.m);

*n* = rotação ( $\text{min}^{-1}$  = rpm).

$$E = \left( \frac{Potência \times D}{Vf} \right) \times 60 \quad (6)$$

Em que:

*E* = energia (kJ);

*Potência* = potência de corte (kW);

*D* = diâmetro da tora (m);

*Vf* = velocidade de avanço ( $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ).

$$Es = \frac{4 \times E}{\pi \times D^2 \times k} \quad (7)$$

Em que:

*Es* = energia específica ( $\text{kJ} \cdot \text{cm}^{-3}$ );

*E* = energia (kJ);

*D* = diâmetro médio da tora (cm);

*k* = espessura do dente (cm).

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 3 x 3 x 4 x 2 (velocidade de corte x velocidade de avanço x número de dentes x umidade) com 25 repetições e 3 x 3 x 4 x 1 com 20 repetições para o MN 463 e VM 01, respectivamente. Os dados foram submetidos a análise de variância e foi realizado teste de comparação de médias pelo teste Tukey a 5% de significância, sendo comparados os dados entre os dois clones.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Clone MN 463

O tratamento com a velocidade de corte de  $70 \text{ m.s}^{-1}$  apresentou o maior consumo de energia específica ( $5,20 \times 10^{-2} \text{ kJ.cm}^{-3}$ ) ao corte. Para a média geral dos dados para o corte de madeira seca e verde, as três velocidades de corte foram estatisticamente diferentes (Tabela 1A).

Observa-se na Tabela 3 que os efeitos principais e suas interações foram significativos. O desdobramento da característica velocidade de corte em cada nível de velocidade de avanço, número de dentes e umidade foi executado pela comparação múltipla, a 5% de significância, pelo teste de Tukey (Tabela 1A).

TABELA 3 Resumo da análise de variância para o consumo da energia específica de corte da madeira do clone de *Eucalyptus* sp. MN 463, em função das velocidades de corte, velocidade de avanço, número de dente, umidade e suas respectivas interações duplas, triplas e quádruplas.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Quadrado Médio
Velocidade de corte (Vc)	2	0,013918*
Velocidade de avanço (Vf)	2	0,295054*
Número de dentes (Z)	3	0,028655*
Umidade (U)	1	0,012012*
Vc x Vf	4	0,001161*
Vc x Z	6	0,003710*
Vc x U	2	0,046641*
Vf x Z	6	0,002755*
Vf x U	2	0,008677*
Z x U	3	0,008988*
Vc x Vf x Z	12	0,002518*
Vc x Vf x U	4	0,016664*
Vf x Z x U	6	0,002272*
Vc x Vf x Z x U	12	0,002200*
Erro	1734	0,000052
Total corrigido	1799	

Média geral = 0,0483 e CV = 14,92 % \* - significativo a 5% de significância

Observa-se que maiores velocidades de corte apresentaram maiores consumos de energia específica, independentemente da umidade das toras (Figuras 7, 8 e 9). Altas velocidades de corte estão associadas a maiores valores de frequências de rotação elevando, conseqüentemente, a potência requerida ao corte (Equações 5, 6 e 7). Esses dados corroboram com Meyer (1926), citados por Kollmann & Cotê Júnior (1968), que verificou menor eficiência da energia de corte da madeira com elevadas velocidades de corte, em serras circulares.

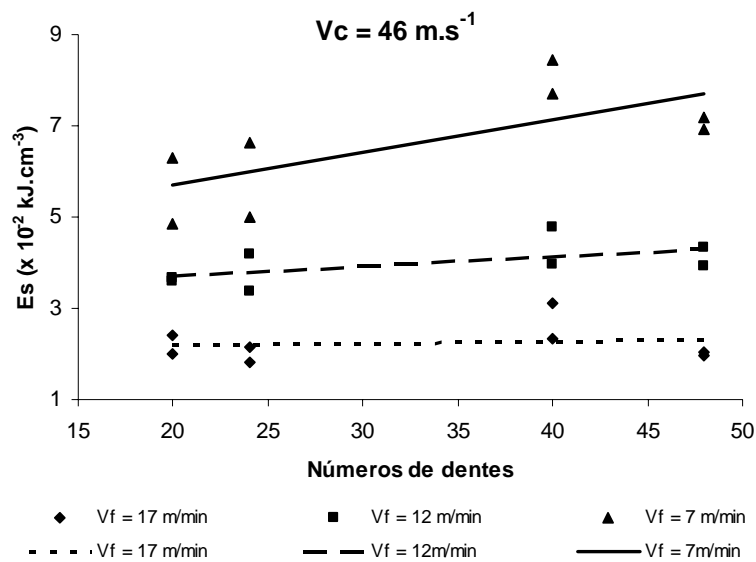


FIGURA 7 Tendência do consumo de energia específica de corte da madeira do clone MN 463 de *Eucalyptus* sp em função do número de dentes, para a velocidade de corte de  $46 \text{ m.s}^{-1}$ .

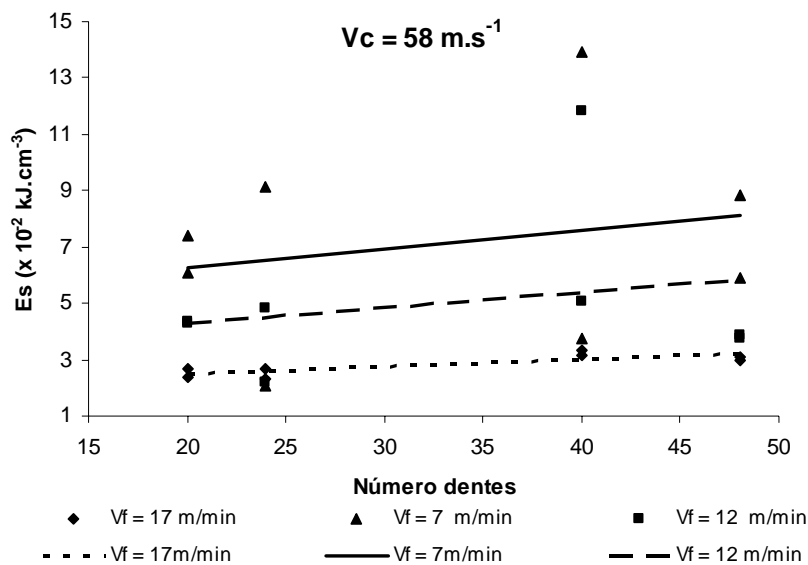


FIGURA 8 Tendência do consumo de energia específica de corte da madeira do clone MN 463 de *Eucalyptus* sp em função do número de dentes, para a velocidade de corte de 58 m.s<sup>-1</sup>.

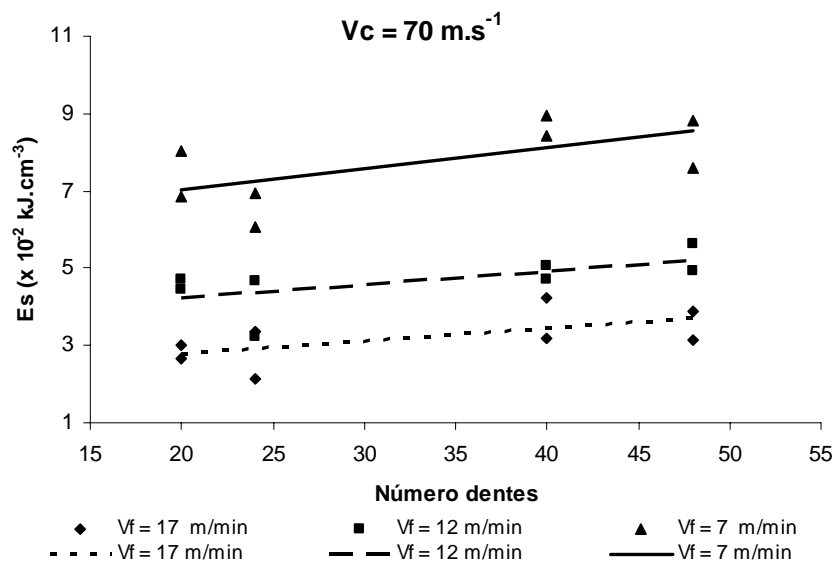


FIGURA 9 Tendência do consumo de energia específica de corte da madeira do clone MN 463 de *Eucalyptus* sp em função do número de dentes, para a velocidade de corte de 70 m.s<sup>-1</sup>.

Contudo, é importante salientar que, independentemente das velocidades de corte, a tendência observada ocorreu para as velocidades de avanço 7 e 17 m.min<sup>-1</sup> (Figuras 10, 11 e 12). Já para a velocidade de avanço de 12 m.min<sup>-1</sup> não observou esse comportamento e para velocidade de corte de 58 m.s<sup>-1</sup> o consumo de energia específica foi o maior apresentado. Assim, a combinação de velocidade de corte de 58 m.s<sup>-1</sup> e velocidade de avanço de 12 m.min<sup>-1</sup>, adotado pela unidade produtora da V&M Florestal, não é recomendada para os clones MN 463 e VM 01, independentemente da umidade da madeira.

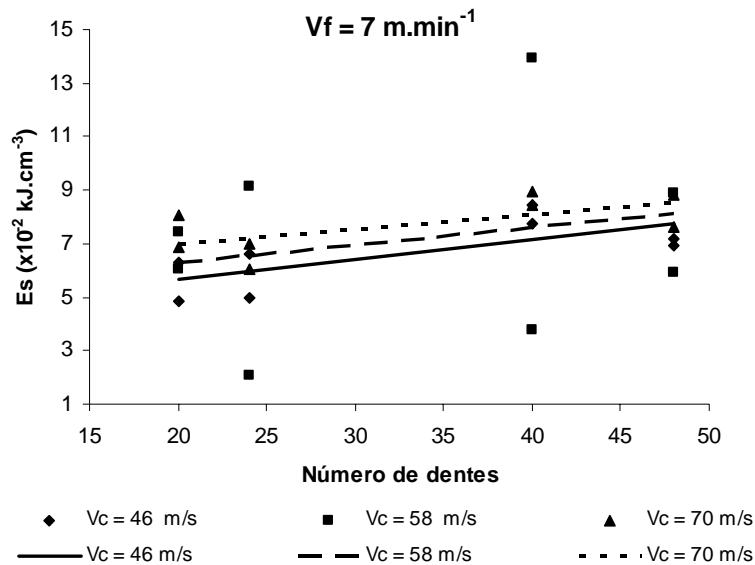


FIGURA 10 Tendência do consumo de energia específica de corte da madeira do clone MN 463 de *Eucalyptus* sp em função do número de dentes, para a velocidade de avanço de 7 m.min<sup>-1</sup>.

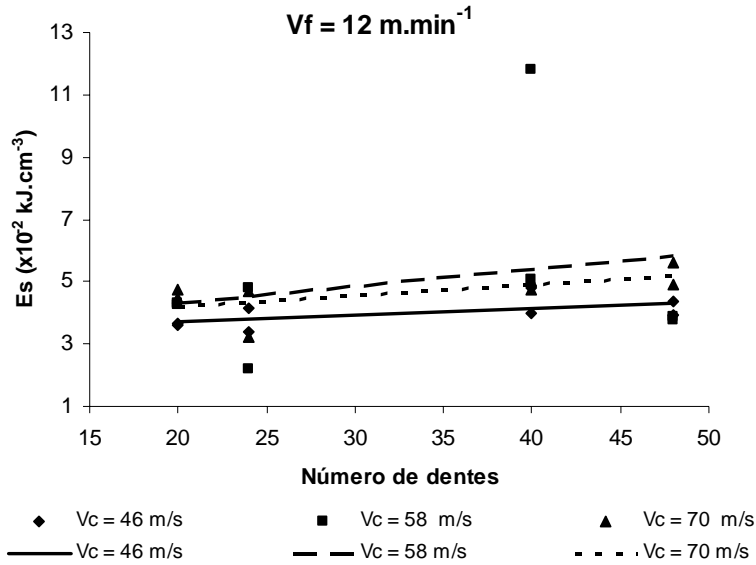


FIGURA 11 Tendência do consumo de energia específica de corte da madeira do clone MN 463 de *Eucalyptus* sp em função do número de dentes, para a velocidade de avanço de 12 m.min<sup>-1</sup>.

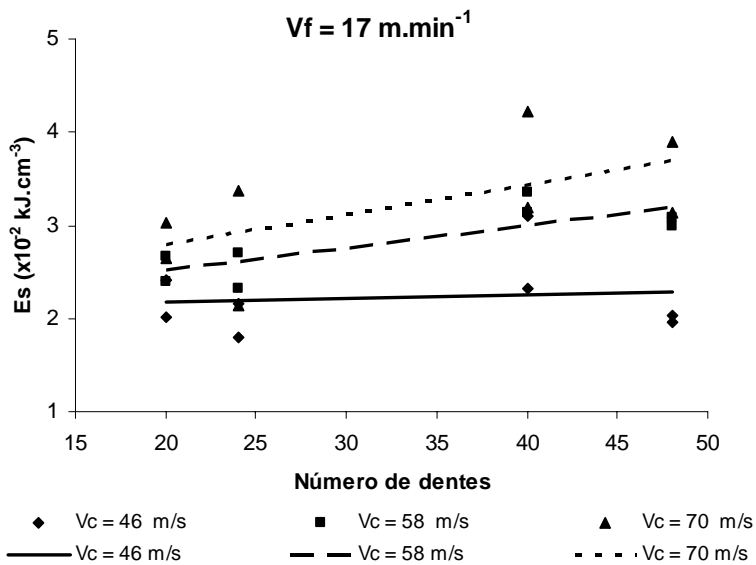


FIGURA 12 Tendência do consumo de energia específica de corte da madeira do clone MN 463 de *Eucalyptus* sp em função do número de dentes, para a velocidade de avanço de 17 m.min<sup>-1</sup>.



Foi citado que é necessária a otimização de ajustes entre velocidades de corte e de avanço. Desta forma, o motor elétrico não estará com sobrecarga e conseqüentemente, não consumirá mais energia que a necessária ao corte da madeira. Para a velocidade de corte de  $58 \text{ m.s}^{-1}$  e as velocidades de avanço de 7 e  $12 \text{ m.min}^{-1}$ , este último tratamento é o utilizado pela V&M Florestal, observou (Tabela 1A) se tratar dos maiores consumo de energia específica ( $13,95$  e  $11,80 \times 10^{-2} \text{ kJ.cm}^{-3}$ ). Deve-se destacar que a serra utilizada possui os dentes intercalados (um trapezoidal e um reto, sucessivamente). Serras circulares de dentes trapezoidais são utilizadas quando se deseja obter melhor qualidade da superfície do corte (Reval, 2009). Contudo, devido ao ataque direto oferecido pelo peito destes tipos de dentes, ocorre aumento do esforço de corte. Já os dentes das demais serras utilizadas foram alternos e possuem ataque progressivo durante o corte, reduzindo seu esforço.

Para o corte transversal periférico  $0^\circ - 90^\circ$  (Figura 1), que foi o utilizado neste trabalho, o consumo de energia específica é menor que aquele apresentado por outras famílias de corte. Este fato é em virtude da disposição das fibras da madeira em relação ao gume de corte. Quando utilizou a serra de 40 dentes intercalados (um trapezoidal e um reto, sucessivamente) além do corte  $0^\circ - 90^\circ$  existe uma tendência a obter o corte  $45^\circ - 90^\circ$ , na região das arestas chanfradas dos dentes trapezoidais. Este corte é mais próximo da família  $90^\circ - 90^\circ$ , que possui maior consumo energético influenciando diretamente no aumento do consumo total de energia para o processamento da madeira.

Rodrigues & Coelho (2007) estudando o consumo de energia específica para corte de metais verificaram que esta apresentava uma redução de seu valor quando se aumentava a velocidade de corte. Os autores relataram que o favorecimento da ductilidade do metal e da formação de cavaco foi devido ao aumento da temperatura durante o corte. Observa-se que a madeira não apresenta acentuado aumento da temperatura devido suas propriedades de isolante térmico.

O consumo de energia específica durante o corte da madeira apresentou relação linear tanto com as velocidades de avanço quanto com o número de dentes das serras utilizadas. Essa relação foi observada para as duas unidades estudadas. A redução do consumo de energia específica ocorre em função da velocidade de avanço, independentemente das velocidades de corte utilizadas. Esse comportamento também foi observado em usinagem de metais, descrito no trabalho de Diniz et al. (2000). Segundo esses autores, durante o processo de corte, uma porção do material removido (pedaço do cavaco) é direcionada entre a superfície de folga da ferramenta e a superfície obtida (através do ângulo livre). Esse fato gera o fluxo lateral de cavaco. Quando a magnitude desse fluxo é pequena ocorre maior atrito entre a ferramenta de corte e a superfície da peça usinada. Assim ocorre o aumento a energia consumida.

Foi observado, em geral, que o consumo de energia específica ao corte foi menor em toras consideradas de verdes. Assim, indica-se o processamento das toras num período de tempo mais curto possível após o abate da árvore. Contudo, é importante que ocorra um planejamento desta operação. Deve-se levar em conta o planejamento vinculado ao transporte das toras e ao processo de secagem dos toretes antes do início da carbonização. Esses fatos devem ser considerados pela unidade produtora da V&M Florestal. (Tabela 4A).

Na literatura é relatado que cortes de madeiras secas requerem maiores esforços de corte e conseqüentemente consomem mais energia específica. Esse comportamento foi observado para os fatores número de dentes e velocidades de corte e de avanço. Entretanto, para a velocidade de avanço de  $17 \text{ m.min}^{-1}$  observou maior consumo de energia específica para as toras verdes (Figuras 13, 14 e 15).

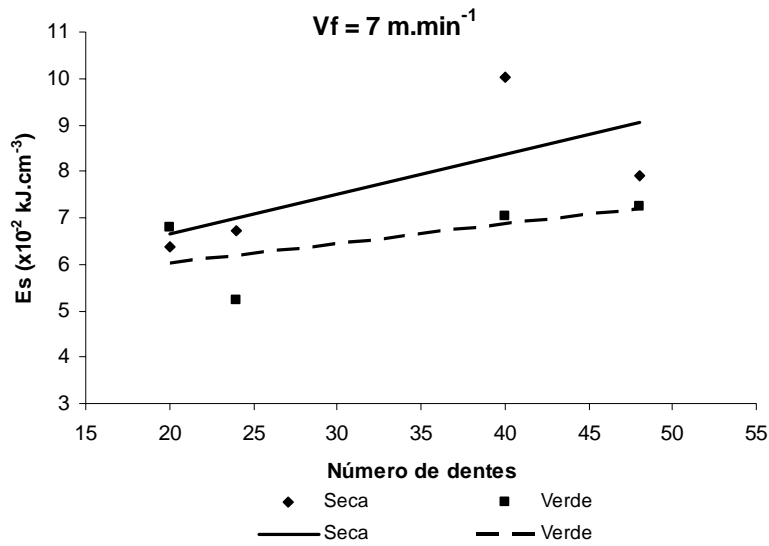


FIGURA 13 Tendência do consumo de energia específica de corte da madeira seca e verde do clone MN 463 de *Eucalyptus* sp em função do número de dentes, para a velocidade de avanço de 7 m.min<sup>-1</sup>.

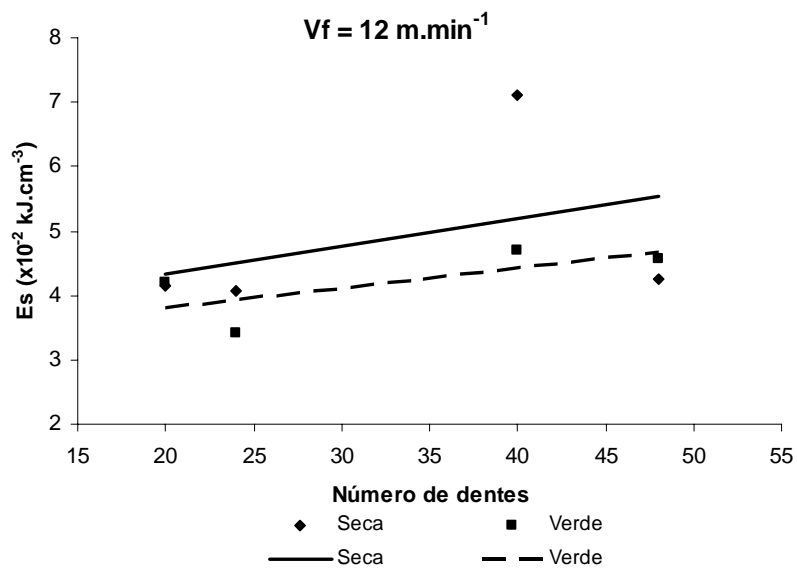


FIGURA 14 Tendência do consumo de energia específica de corte da madeira seca e verde do clone MN 463 de *Eucalyptus* sp em função do número de dentes, para a velocidade de avanço de 12 m.min<sup>-1</sup>.

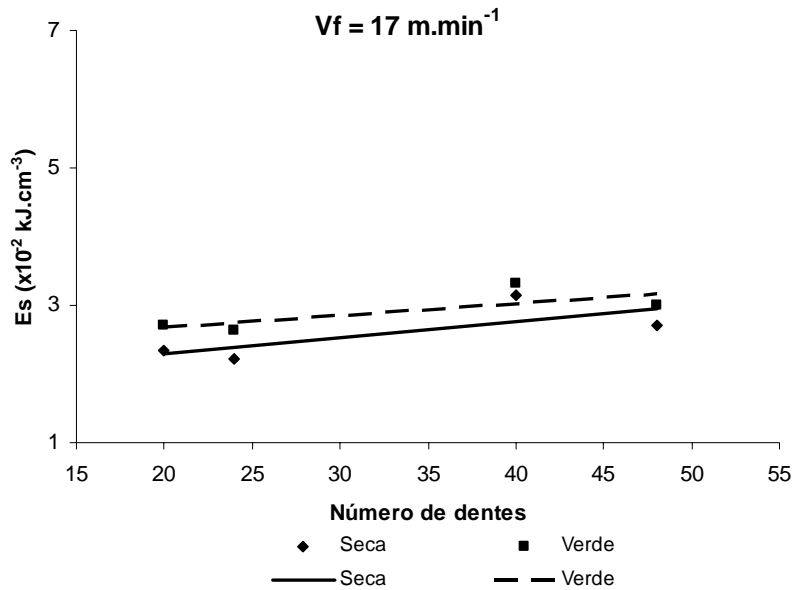


FIGURA 15 Tendência do consumo de energia específica de corte da madeira seca e verde do clone MN 463 de *Eucalyptus* sp em função do número de dentes, para a velocidade de avanço de 17 m.min<sup>-1</sup>.

Cada ponto apresentado na Figura 15 representa a média de todos os cortes efetuados com as diversas velocidades de corte em cada umidade. É importante salientar que não foi determinado o perfil da variação radial da umidade. Os resultados representam as energias específicas de corte considerando a madeira numa umidade média para toda a forma cilíndrica da tora. Este fato pode ter contribuído para que as toras verdes tenham consumido maior energia específica de corte para velocidade de avanço de 17 m.min<sup>-1</sup>. Considerando que é sabido da existência da variação da umidade no sentido radial da tora, é desejável realizar ensaios de corte com ponderação da energia específica consumida em função do volume madeira cortada em diferentes umidades.

A tendência do consumo de energia específica de corte para as duas umidades (toras secas e úmidas) foi aumentar em função de maior número de

dentes. Além disto, destaca-se novamente a serra circular de 40 dentes, que apresentou os mais altos valores de consumo de energia específica ao corte.

Em toras consideradas verdes, as serras circulares de 40 e 48 dentes apresentaram maiores consumos de energia específica de corte que a serra circular de 24 dentes. Também observou que as duas primeiras foram iguais estatisticamente. O tratamento que representou, em média, o menor consumo de energia específica de corte foi o tratamento 19 ( $1,80 \times 10^{-2} \text{ kJ.cm}^{-3}$ ), para a velocidade de corte de  $46 \text{ m.s}^{-1}$ . Já o tratamento de maior consumo médio foi o tratamento 5 ( $8,94 \times 10^{-2} \text{ kJ.cm}^{-3}$ ), para velocidade de  $70 \text{ m.s}^{-1}$  (Tabela 1A).

Em toras consideradas secas, o consumo médio de energia específica de corte foi estatisticamente igual para as serras de 20 e 24 dentes e o maior consumo foi observado para a serra de 40 dentes.

No tratamento 24 e velocidade de corte de  $46 \text{ m.s}^{-1}$  observou-se o menor consumo de energia específica ( $1,96 \times 10^{-2} \text{ kJ.cm}^{-3}$ ). Já o tratamento 6 apresentou o maior consumo de energia específica ( $13,95 \times 10^{-2} \text{ kJ.cm}^{-3}$ ) foi observado no para velocidade de corte de  $58 \text{ m.s}^{-1}$ .

#### **4.2 Clone MN 463 verde em comparação com VM 01 verde**

Para ambos os clones, houve uma tendência de aumento do consumo de energia específica em maiores velocidades de corte e uma redução do consumo da energia específica com o aumento da velocidade de avanço (Tabela 2A). A velocidade de corte de  $70 \text{ m.s}^{-1}$  apresentou maior média geral do consumo de energia específica de corte,  $4,84 \times 10^{-2} \text{ kJ.cm}^{-3}$ . Já a velocidade de corte de  $58 \text{ m.s}^{-1}$ , apresentou a menor média geral ( $4,16 \times 10^{-2} \text{ kJ.cm}^{-3}$ ). Conforme já mencionado, maiores rotações elevam a potência do motor que conduz ao maior consumo de energia específica de corte.

Para velocidade de avanço de  $7 \text{ m.min}^{-1}$ , foi observado o maior consumo médio de energia específica de corte ( $6,40 \times 10^{-2} \text{ kJ.cm}^{-3}$ ). O menor consumo médio de energia específica de corte foi observado para a velocidade de avanço

de  $17 \text{ m.min}^{-1}$  ( $2,74 \times 10^{-2} \text{ kJ.cm}^{-3}$ ). Como explicado anteriormente, o fato de maiores velocidades de avanço consumirem menores quantidades de energia específica de corte por ser explicado devido o fluxo lateral do cavaco (Diniz et al., 2000).

Observa-se pela análise de variância (Tabela 4) que os efeitos principais e suas interações foram significativos com dependência entre os fatores. O desdobramento da característica velocidade de corte em cada nível de velocidade de avanço, número de dentes e clone foi executado pela comparação múltipla, a 5% de significância, pelo teste de Tukey (Tabela 2A).

TABELA 4 Resumo da análise de variância para o consumo da energia específica de corte da madeira dos clones de *Eucalyptus* sp. MN 463 e VM 01, em função das velocidades de corte, velocidade de avanço, número de dente, clone e suas respectivas interações duplas, triplas e quádruplas.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Quadrado Médio
Velocidade de corte (Vc)	2	0,006320*
Velocidade de avanço (Vf)	2	0,163665*
Número de dentes (Z)	3	0,024844*
Clone	1	0,003921*
Vc x Vf	4	0,006710*
Vc x Z	6	0,004246*
Vc x Clone	2	0,016456*
Vf x Z	6	0,002986*
Vf x Clone	2	0,000153*
Z x Clone	3	0,006511*
Vc x Vf x Z	12	0,002190*
Vc x Vf x Clone	4	0,008087*
Vf x Z x Clone	6	0,001025*
Vc x Vf x Z x Clone	12	0,002823*
Erro	1374	0,000038
Total corrigido	1799	

Média geral = 0,0442 e CV = 13,98 % \* - significativo a 5% de significância

Observou-se uma tendência do aumento do consumo de energia específica de corte em função do aumento do número de dentes, para os dois

clones (Figuras 16, 17 e 18). As serras circulares de 40 e de 48 dentes apresentaram, em média, maior consumo de energia específica de corte ( $5,11$  e  $5,16 \times 10^{-2} \text{ kJ.cm}^{-3}$ , respectivamente), sendo estas iguais estatisticamente. Já a serra circular de 24 dentes apresentou em média menor consumo de energia específica ( $3,57 \times 10^{-2} \text{ kJ.cm}^{-3}$ ).

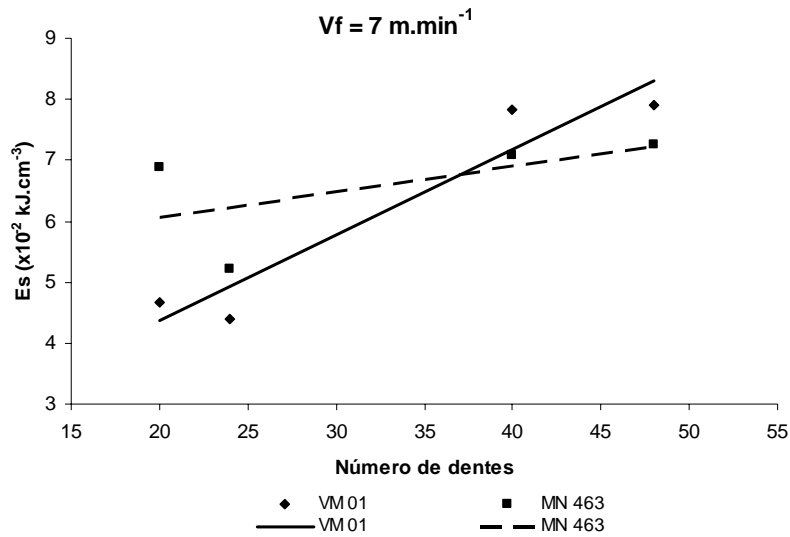


FIGURA 16 Tendência do consumo de energia específica de corte para os clones de *Eucalyptus* sp. MN 463 e VM 01 em função do número de dentes para a velocidade de avanço de  $7 \text{ m.min}^{-1}$ .

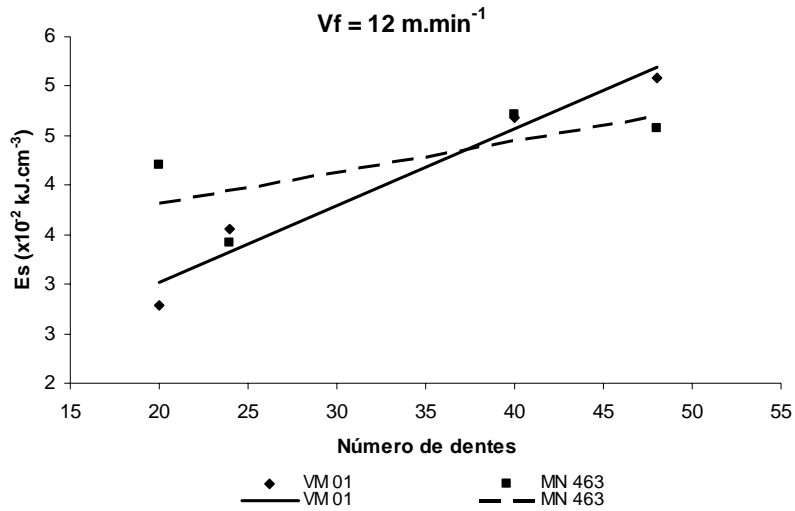


FIGURA 17 Tendência do consumo de energia específica de corte para os clones de *Eucalyptus* sp. MN 463 e VM 01 em função do número de dentes para a velocidade de avanço de 12 m.min<sup>-1</sup>.

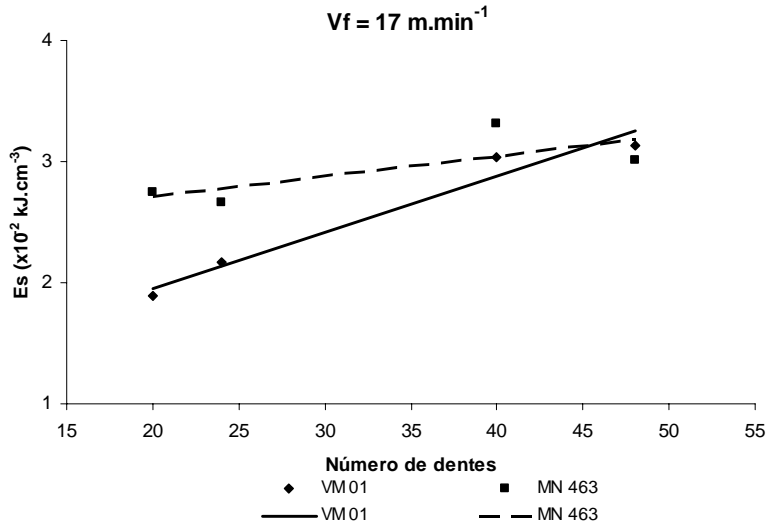


FIGURA 18 Tendência do consumo de energia específica de corte para os clones de *Eucalyptus* sp. MN 463 e VM 01 em função do número de dentes para a velocidade de avanço de 17 m.min<sup>-1</sup>.



No corte da madeira do clone MN 463, as serras circulares de 40 e 48 dentes apresentaram maiores médias em geral do consumo de energia específica,  $5,04$  e  $4,95 \times 10^{-2} \text{kJ.cm}^{-3}$ , respectivamente. Contudo, esses valores foram estatisticamente iguais. A serra circular com 24 dentes alternos apresentou o menor consumo médio de energia específica de corte,  $3,76 \times 10^{-2} \text{kJ.cm}^{-3}$ .

Para o clone MN 463, foi observado (Tabela 2A) que o tratamento 5 com velocidade de corte de  $70 \text{m.s}^{-1}$  resultou no maior consumo de energia específica de corte ( $9,02 \times 10^{-2} \text{kJ.cm}^{-3}$ ). Já o menor consumo de energia específica ( $1,88 \times 10^{-2} \text{kJ.cm}^{-3}$ ) foi apresentado pelo tratamento 19 com velocidade de corte de  $46 \text{m.s}^{-1}$ .

Para madeira do clone VM 01, a serra de 48 dentes apresentou maior consumo médio de energia específica de corte ( $5,38 \times 10^{-2} \text{kJ.cm}^{-3}$ ). Já a serra de 20 dentes alternos apresentou o menor consumo médio ( $3,11 \times 10^{-2} \text{kJ.cm}^{-3}$ ).

O maior consumo de energia específica de corte ( $11,52 \times 10^{-2} \text{kJ.cm}^{-3}$ ) foi observado no tratamento 8, para o clone VM 01, na velocidade de corte de  $58 \text{m.s}^{-1}$ . Já o tratamento 18 para a velocidade de  $46 \text{m.s}^{-1}$  apresentou o menor consumo de energia específica com  $1,10 \times 10^{-2} \text{kJ.cm}^{-3}$  (Tabela 2A).

Foi observado que independente da densidade dos clones, das velocidades de corte e de avanço, houve um aumento do consumo de energia específica de corte em relação ao aumento do número de dentes da serra circular. Na análise geral dos dados (Figuras 19, 20 e 21), observou-se que o clone MN 463 ( $0,514 \text{g.cm}^{-3}$ ) apresentou maior consumo de energia específica de corte em relação ao clone VM 01 ( $0,574 \text{g.cm}^{-3}$ ), cujas médias de energia específica foram de  $4,59$  e  $4,26 \times 10^{-2} \text{kJ.cm}^{-3}$ , respectivamente. Observa-se que o clone com maior valor numérico da densidade apresentou menor consumo de energia específica de corte, contradizendo a literatura em geral. Contudo, as análises de variâncias da umidade (Tabela 5A) e da densidade básica (Tabela 6A) das toras dos clones MN 463 e VM 01, apresentaram igualdade estatística para essas variáveis, não podendo inferir que a madeira do clone VM 01 é mais densa.

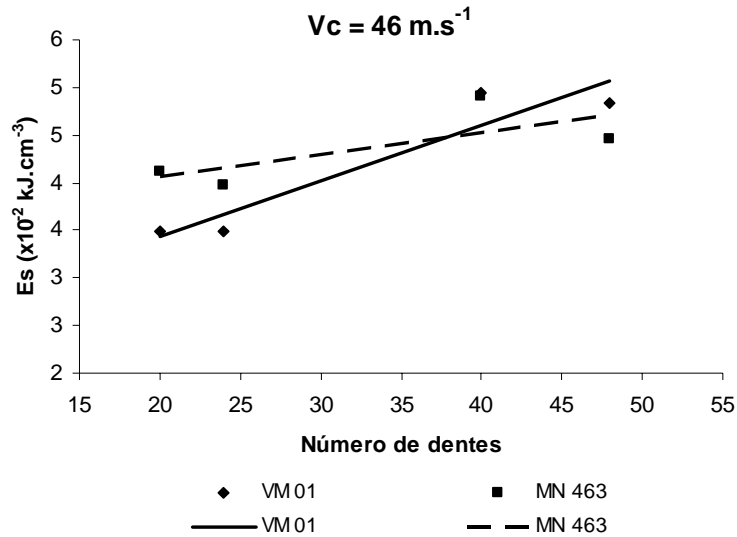


FIGURA 19 Tendência do consumo de energia específica de corte para os clones de *Eucalyptus* sp. MN 463 e VM 01 em função do número de dentes para a velocidade de corte de 46 m.s<sup>-1</sup>.

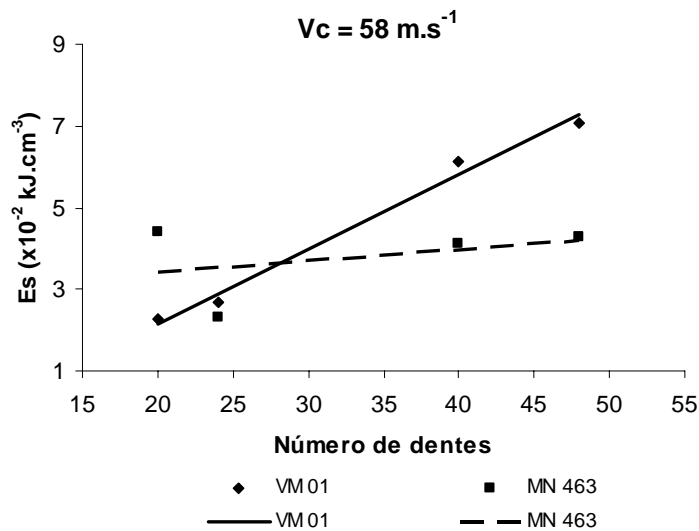


FIGURA 20 Tendência do consumo de energia específica de corte para os clones de *Eucalyptus* sp. MN 463 e VM 01 em função do número de dentes para a velocidade de corte de 58 m.s<sup>-1</sup>.

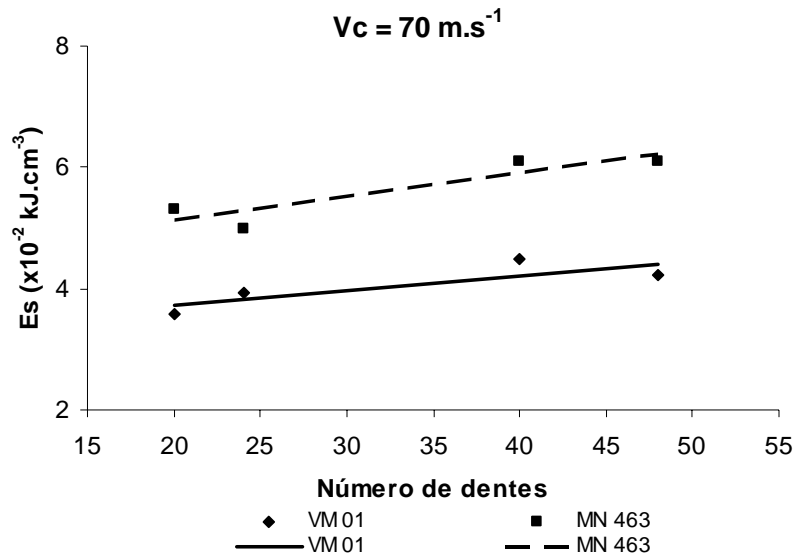


FIGURA 21 Tendência do consumo de energia específica de corte para os clones de *Eucalyptus* sp. MN 463 e VM 01 em função do número de dentes para a velocidade de corte de  $70 \text{ m.s}^{-1}$ .

Os valores médios de energia específica ao corte para o clone MN 463 corresponderam a um aumento médio de 7,7% em relação ao clone VM 01.

## 5 CONCLUSÕES

Por meio das análises executadas para os clones MN 463 e VM 01, velocidades de corte, velocidades de avanço, umidade, número e geometria de dentes das serras circulares, pôde-se concluir que:

- ✓ maiores velocidades de corte e menores velocidades de avanço apresentaram maiores consumos de energia específica de corte;
- ✓ a serra circular de 40 dentes trapezoidais e retos intercalados apresentou maior consumo de energia específica de corte, sendo considerada não adequada;
- ✓ a interação entre a velocidade de corte de  $46 \text{ m.s}^{-1}$ , a velocidade de avanço de  $17 \text{ m.min}^{-1}$  e a serra circular de 24 dentes alternos apresentou melhores resultados de consumo de energia específica de corte para a madeira considerada de verde do clone MN 463;
- ✓ para a madeira seca do clone MN 463, a velocidade de corte de  $46 \text{ m.s}^{-1}$ , a velocidade de avanço de  $17 \text{ m.min}^{-1}$  e a serra circular de 48 dentes alternos foi a interação que apresentou menores consumos de energia específica de corte;
- ✓ madeira seca do clone MN 463 necessitou de maiores quantidades de energia específica de corte;
- ✓ para o clone VM 01 verde, a interação entre a velocidade de corte de  $46 \text{ m.s}^{-1}$ , a velocidade de avanço de  $17 \text{ m.min}^{-1}$  e a serra circular de 20 dentes alternos apresentou menor consumo de energia específica de corte;
- ✓ a madeira verde do clone MN463 exigiu maior quantidade de energia específica de corte em relação a madeira verde do VM 01.

## 6 RECOMENDAÇÕES

A partir dos resultados obtidos bem como das conclusões realizadas, recomenda-se estudos mais aprofundados, principalmente no que diz respeito a:

- ✓ realização do presente estudo com a madeira seca do clone VM 01 para comparação dos resultados com os da condição verde já estudada nesta pesquisa;
- ✓ o aumento de intervalos regulares das velocidades de avanço e de corte para cada geometria de dente das serras circulares permitindo melhor visualização da influência no consumo de energia específica de corte;
- ✓ verificar o desgaste dos dentes das diferentes serras circulares para os diversos tratamentos estudados;
- ✓ estudos do consumo de energia específica em serra circular com dentes de ataque progressivo na máquina da unidade produtora da V&M Florestal, por meio da instalação de inversores de frequência;
- ✓ estudos do consumo de energia específica de corte das toras em função da distribuição radial de umidade e densidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, A. J.; OLIVEIRA, L. F. C.; OLIVEIRA, A. M. Verificação das relações de Rateaux pelo emprego de um inversor de frequência. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 523-525, 2002.

ASSIS, T. F. Melhoramento genético de eucalipto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 185, p. 32-51, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6175**: processos mecânicos de usinagem. Rio de Janeiro, 1971. 19 p.

ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA. **Anuário estatístico 2009**. Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <<http://www.silviminas.com.br/>>. Acessado em: 9 set. 2008

ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA. **Eucaliptos**. Belo Horizonte, 2007. Disponível em: <<http://www.silviminas.com.br/>>. Acesso em: 9 set. 2008.

ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA. **Plantios anuais pelos diferentes setores em Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2007. Disponível em: <<http://www.silviminas.com.br/>>. Acessado em: 9 set. 2008.

BONDUELLE, A. Usinagem, qualidade e custo. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 10, n. 61, p. 82-86, nov. 2001.

BONDUELLE, A.; CRUZ, S. R.; SILVA, J. R. M. **Processo mecânico da madeira**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná. 2002. 26p. (Notas de aula).

BROWN, N. C.; BETHEL, J. S. **La industria maderera**. México: Limusa, 1975. 388 p.

CAMPANA, S. **Racionalização do uso da energia elétrica em sistemas de irrigação tipos pivô central e aspersão convencional**. 2000. 108p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CAPELLI, A. Inversores de frequência. **Revista Mecatrônica Atual**, São Paulo, n. 2, p. 7-15, fev. 2002.

CARVALHO, J. A.; MELLO, C. R.; BRAGA JÚNIOR, R. A.; REINATO, C. H.; SANTANA, M. J. Utilização do inversor de frequência em sistemas de irrigação para controle de vazão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 51-56, jan./abr. 2000.

CENTRO DE TECNOLOGIA DA MADEIRA E DO MOBILIÁRIO.  
**Fundamentos teóricos da afiação e manutenção de ferramentas para a indústria madeireira e moveleira.** São José dos Pinhais, 1996. 73p.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da usinagem dos materiais.** 2. ed. São Paulo: Artliber, 2000. 244p.

ERSOY, A.; ATICI, U. Performance characteristics of circular diamond saws in cutting of different type of rocks. **Diamond and Related Materials**, Amsterdam, v. 13, n. 1, p. 22-37, Jan. 2004.

FREUD, S. **Freud catalogo generale.** 18. ed. London: The British Council, 1998. 207p.

GONÇALVES, M. T. T. **Processamento da madeira.** Bauru: USC, 2000. 242p.

GORCZYCA, F. E. **Application of metal cutting theory.** New York: Industrial, 1987. 298 p.

HANSON, B.; WEIGAND, C.; ORLOFF, S. Performance of electric irrigation pumping plants using variable frequency drives. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 122, n. 3, p. 179-82, 1996.

HOADLEY, R. B. **Understanding wood: a craftsman's guide to wood technology.** Newton: The Taunton, 1980. 256 p.

KOCH, P. **Wood machining processes.** New York: Ronald, 1964. 530p.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTE JÚNIOR, W. A. **Principles of wood science and technology.** New York: Springer-Verlag, 1984. v. 1.

LEITZ DAS LEITZ LEXIKON. 3. ed. Unterschneidheim: [s.n.], 2001.

LIMA, J. T.; DELLA LUCIA, R. M.; VITAL, B. R. Influência do teor de umidade nas propriedades da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 10, n. 1, p.27-43, jan./mar. 1986.

LOPES, D. M. F. **Comparação da qualidade de superfície da madeira usinada do *Eucalyptus grandis* Hill Ex. Maiden através do método de medição direta e da equação do avanço por dente.** 2003. 48 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

LUCAS FILHO, F. C. **Estudo da Influência do teor de umidade e da massa específica aparente sobre a resistência e rigidez das madeiras de *Pinus elliottii*. E. e *Pinus taeda* L.** 1997. 101 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MARCIEL, A. J. S. **Estudo do corte do colmo da cana-de-açúcar através de serras circulares.** 1989. 134 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas.

MARTINI, A. J. **A introdução do eucalipto no Brasil completa 100 Anos.** Rio Claro: Canal Rio Claro, 2008. Disponível em: < <http://www.canalrioclaro.com.br>>. Acesso em: 19 set. 2008.

MCKENZIE, W. M. Fundamental aspects of the wood cutting process. **Forest Products Journal**, Madison, v. 10, n. 9, p. 447-456, 1960.

MELLO, C. R.; CARVALHO, J. A.; BRAGA JÚNIOR, R. A.; REINATO, C. H.; SANTANA, M. J. Economia de energia em instalação de bombeamento com o uso de inversor de frequência. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 18, n. 4, p. 78-88, out./dez. 1999.

MELO, A. C. A.; MACHADO, A. R.; SILVA, S. M. M. L.; GUIMARÃES, G. Estudo da variação da temperatura de corte no fresamento frontal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO-COBEF, 2., 2003, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia-MG: UFU, 2003.

MENDES, M. G.; GOMES, P. A.; OLIVEIRA, J. B. Propriedades e controle de qualidade do carvão vegetal. In: FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. **Produção e utilização de carvão vegetal.** Belo Horizonte: CETEC, 1982. p. 77-89. (Série de Publicações Técnicas, SPT-008).

NÉRI, A. C.; GONÇALVES, R.; HERNANDEZ, R. E. Forças de corte ortogonal 90-0 em três espécies de madeira de eucalipto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 2, p. 239-244, maio 1999.



OLIVEIRA, G. M. V. **Sistema de monitoramento de parâmetros de usinagem da madeira, em tempo real**. 2008. 58 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

OLIVEIRA, G. M. V.; SILVA, J. R. M.; MARTINS, M. Medição de ângulos básicos de corte em serras de disco de processamento da madeira e derivados. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA-EBRAMEM, 11., 2008, Londrina. **Anais...** Londrina: Unochapecó, 2008. CD-ROM.

OTTOBONI, A. **A evolução do controle de velocidade**. São Paulo: Saber Eletrônica, 2002.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 1980. 722 p.

REVAL SERRAS E FERRAMENTAS PARA MADEIRA. **Formatos de dentes e aplicações**. Caxias do Sul, 2009. Disponível em: <<http://www.revalserras.com.br/>>. Acesso em: 10 set. 2009.

ROCHA, M. P. **Manutenção de serras**. Curitiba: FUPEF. 2001. (Série Didática).

RODRIGUES, A. R. **Estudo da geometria de arestas de corte aplicadas em usinagem com altas velocidades de corte**. 2005. 249 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos.

RODRIGUES, A. R.; COELHO, R. T. Influence of the Tool Edge Geometry on Specific Cutting Energy at High-Speed Cutting. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 3, p. 279-283, jul./set. 2007.

SANDVIK, S. **The handbook: production. use and maintenance of wood band saw blades**. Sandviken: Sandvik Steel, 1999.

SANGUEDO, C. A.; STEPHAN, R. Aplicação de conversores eletrônicos em áreas classificadas. **Eletricidade Moderna**, São Paulo, v. 25, n. 276, p. 48-60, mar. 1997.

SANTOS, J. C. **Análise do comportamento das forças em função dos parâmetros de corte na usinagem de madeiras**. 1999. 136 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas.

SCHMITZ, R. Inversor de frequência: um aliado na eficiência energética. **Controle e Instrumentação**. São Paulo, n. 56, mar. 2001. Disponível em: <<http://www.controleinstrumentação.com.br>>. Acesso em: 9 jul. 2009.

SILVA, J. R. M. **Relações da usinabilidade e aderência do verniz com as propriedades fundamentais do *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden**. 2002. 179 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SILVA, J. R. M.; MUNIZ, G. I. B.; LIMA, J. T.; BONDUELLE, A. F. Influência da morfologia das fibras na usinabilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 3, p. 479-487. jul./ago. 2005.

SIMÃO, E. B.; ALMEIDA NETO, M. F. **Rendimento do conjunto inversor / motor de indução sob diferentes condições de carga**. 2002. 66p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

TRUGILHO, P. F. **Aplicação de algumas técnicas multivariadas na avaliação da qualidade da madeira e do carvão de *Eucalyptus***. 1995. 160 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; LINO, A. L. Avaliação de clones de *Eucalyptus* para produção de carvão vegetal. **Revista Cerne**, Lavras. v. 7, n. 2, p. 104-114, abr./jun. 2001.

WEG. **Inversores de frequência: CFW-08**. Florianópolis, 2008. Disponível em: <<http://www.weg.net/files/products/4-2183.pdf>>. Acesso em: 9 jul. 2009.

WEISSENSTEIN, C. Usinagem, condições da ferramenta decide bom acabamento. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 10, n. 57, p. 30-32, jul. 2000.

## ANEXOS

		<b>Página</b>
TABELA 1A	Comparação múltipla das médias de consumo da energia específica de corte ( $\times 10^{-2}$ kJ.cm <sup>-3</sup> ) do clone de <i>Eucalyptus</i> sp. MN463, para o desdobramento da velocidade de corte em cada nível da velocidade de avanço, número de dentes e umidade .....	49
TABELA 2A	Comparação múltipla das médias de consumo da energia específica de corte ( $\times 10^{-2}$ kJ.cm <sup>-3</sup> ) dos clones de <i>Eucalyptus</i> sp. MN463 e VM 01, para o desdobramento da velocidade de corte em cada nível da velocidade de avanço, número de dentes e clone .....	50
TABELA 3A	Quadro da umidade média na base seca (%) das toras utilizadas dos clones de <i>Eucalyptus</i> sp. MN 463 e VM 01 em cada tratamento .....	51
TABELA 4A	Resumo da análise de variância das umidades das madeiras do clone de <i>Eucalyptus</i> sp. MN 463 .....	52
TABELA 5A	Resumo da análise de variância das madeiras denominadas verdes, para os clones de <i>Eucalyptus</i> sp. MN 463 e VM 01, em função da umidade .....	52
TABELA 6A	Resumo da análise de variância da madeira dos clones de <i>Eucalyptus</i> sp. MN 463 e VM 01, em função da densidade básica .....	52

TABELA 1A Comparação múltipla das médias de consumo da energia específica de corte ( $\times 10^{-2}$  kJ.cm<sup>-3</sup>) do clone de *Eucalyptus* sp. MN 463, para o desdobramento da velocidade de corte em cada nível da velocidade de avanço, número de dentes e umidade.

Trat.	Velocidade de avanço (m.min <sup>-1</sup> )	Nº de dentes	Umidade	Velocidades de corte (m.s <sup>-1</sup> )		
				46	58	70
T1	7	20	verde	6,31 c	6,06 c	8,05 c
T2	7	20	seca	4,84 c	7,42 c	6,86 c
T3	7	24	verde	6,62 c	2,05 a	6,96 c
T4	7	24	seca	5,00 c	9,14 c	6,06 c
T5	7	40	verde	8,45 c	3,75 a	8,94 c
T6	7	40	seca	7,72 c	13,95 c	8,44 c
T7	7	48	verde	6,94 c	5,92 c	8,82 c
T8	7	48	seca	7,20 c	8,86 c	7,61 c
<b>Média</b>				<b>6,64 A</b>	<b>7,14 B</b>	<b>7,72 C</b>
T9	12	20	verde	3,59 b	4,28 b	4,72 b
T10	12	20	seca	3,68 b	4,33 b	4,47 b
T11	12	24	verde	3,38 b	2,17 a	4,67 b
T12	12	24	seca	4,17 b	4,80 b	3,22 b
T13	12	40	verde	3,97 b	5,06 b	5,04 b
T14	12	40	seca	4,78 b	11,80 b	4,73 b
T15	12	48	verde	4,35 b	3,77 b	5,61 b
T16	12	48	seca	3,93 b	3,88 b	4,93 b
<b>Média</b>				<b>3,98 A</b>	<b>5,01 C</b>	<b>4,67 B</b>
T17	17	20	verde	2,42 a	2,66 a	3,03 a
T18	17	20	seca	2,01 a	2,39 a	2,65 a
T19	17	24	verde	1,80 a	2,70 b	3,37 a
T20	17	24	seca	2,16 a	2,33 a	2,14 a
T21	17	40	verde	2,33 a	3,36 a	4,23 a
T22	17	40	seca	3,10 a	3,13 a	3,19 a
T23	17	48	verde	2,03 a	3,08 a	3,90 a
T24	17	48	seca	1,96 a	2,99 a	3,14 a
<b>Média</b>				<b>2,23 A</b>	<b>2,83 B</b>	<b>3,21 C</b>

Médias seguidas da mesma letra maiúscula e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

TABELA 2A Comparação múltipla das médias de consumo da energia específica de corte ( $\times 10^{-2}$  kJ.cm<sup>-3</sup>) dos clones de *Eucalyptus* sp. MN 463 e VM 01, para o desdobramento da velocidade de corte em cada nível da velocidade de avanço, número de dentes e clone.

Trat.	Velocidade de avanço (m.min <sup>-1</sup> )	Número de dentes	Clone	Velocidades de corte (m.s <sup>-1</sup> )		
				46	58	70
T1	07	20	MN463	6,31 a	6,19 a	8,14 b
T2	07	20	VM01	6,65 c	2,62 a	4,70 b
T3	07	24	MN463	6,60 b	2,11 a	6,92 b
T4	07	24	VM01	5,90 c	2,26 a	4,99 b
T5	07	40	MN463	8,38 b	3,87 a	9,02 c
T6	07	40	VM01	8,23 b	10,18 c	5,07 a
T7	07	48	MN463	6,93 b	5,91 a	8,92 c
T8	07	48	VM01	7,67 b	11,52 b	4,56 a
T9	12	20	MN463	3,60 a	4,33 b	4,67 b
T10	12	20	VM01	2,71 b	2,18 a	3,47 c
T11	12	24	MN463	3,43 b	2,15 a	4,66 c
T12	12	24	VM01	3,19 a	3,20 a	4,28 b
T13	12	40	MN463	4,00 a	5,14 b	5,02 b
T14	12	40	VM01	4,02 a	5,00 b	5,02 b
T15	12	48	MN463	4,36 b	3,80 a	5,57 c
T16	12	48	VM01	4,26 a	6,26 c	4,73 b
T17	17	20	MN463	2,45 a	2,70 ab	3,08 b
T18	17	20	VM01	1,10 a	1,97 b	2,59 c
T19	17	24	MN463	1,88 a	2,69 b	3,42 c
T20	17	24	VM01	1,39 a	2,60 b	2,52 b
T21	17	40	MN463	2,32 a	3,39 b	4,22 c
T22	17	40	VM01	2,56 a	3,20 b	3,35 b
T23	17	48	MN463	2,09 a	3,10 b	3,83 c
T24	17	48	VM01	2,60 a	3,44 b	3,35 b
<b>Média geral</b>				<b>4,28 B</b>	<b>4,16 A</b>	<b>4,84 C</b>

Médias seguidas da mesma letra maiúscula e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

TABELA 3A Quadro da umidade média na base seca (%) das toras utilizadas dos clones de *Eucalyptus* sp. MN 463 e VM 01 em cada tratamento.

Velocidade de avanço (m.min <sup>-1</sup> )	Velocidade de corte (m.s <sup>-1</sup> )	Número de dentes	Umidade base seca (%)		
			VM 01	MN 463	
			Verde	Verde	Seca
07	46	20	67,8	70,8	57,2
07	46	24	64,8	68,1	39,4
07	46	40	54,0	55,4	24,4
07	46	48	74,9	66,5	19,0
07	58	20	78,8	60,4	19,1
07	58	24	75,0	45,2	20,1
07	58	40	58,2	58,8	38,9
07	58	48	69,6	57,7	18,6
07	70	20	67,3	57,0	17,3
07	70	24	63,2	57,1	19,8
07	70	40	58,7	76,2	20,9
07	70	48	66,5	63,7	57,5
12	46	20	72,7	82,9	22,2
12	46	24	64,4	76,6	19,3
12	46	40	55,3	95,0	18,1
12	46	48	62,0	77,2	21,5
12	58	20	60,5	78,1	37,8
12	58	24	66,8	57,6	21,2
12	58	40	72,0	77,2	29,6
12	58	48	77,4	68,8	18,8
12	70	20	70,7	79,9	22,5
12	70	24	82,1	81,4	27,1
12	70	40	71,1	71,1	17,3
12	70	48	72,7	78,0	30,1
17	46	20	84,3	75,6	21,1
17	46	24	87,5	69,3	20,6
17	46	40	80,3	88,6	44,4
17	46	48	91,9	63,9	19,1
17	58	20	96,5	84,7	26,3
17	58	24	96,3	83,6	18,3
17	58	40	89,9	58,3	17,3
17	58	48	84,0	66,6	19,9
17	70	20	89,7	67,3	20,6
17	70	24	85,1	69,9	46,0
17	70	40	90,3	87,4	17,1
17	70	48	93,3	91,2	20,4

TABELA 4A Resumo da análise de variância das umidades das madeiras do clone de *Eucalyptus* sp. MN 463.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Quadrado Médio
Umidade	1	37278,151250*
Erro	70	128,680679
Total corrigido	71	

Média geral = 48,5542 e CV = 23,36% \* – significativo a 5% de significância

TABELA 5A Resumo da análise de variância das madeiras denominadas verdes, para os clones de *Eucalyptus* sp. MN 463 e VM 01, em função da umidade.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Quadrado Médio
Clones	1	229,336806 <sup>ns</sup>
Erro	70	141,709853
Total corrigido	71	

Média geral = 73,0931 e CV = 16,29% <sup>ns</sup> – não significativo a 5% de significância

TABELA 6A Resumo da análise de variância da madeira dos clones de *Eucalyptus* sp. MN 463 e VM 01, em função da densidade básica.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Quadrado Médio
Clones	1	0,375000 <sup>ns</sup>
Erro	4	0,125000
Total corrigido	5	

Média geral = 0,7500 e CV = 47,14% <sup>ns</sup> – não significativo a 5% de significância