



**ANNA CAROLINA DE ALMEIDA ANDRADE**

**INVESTIGAÇÃO DA ENERGIA DE CORTE EM MADEIRAS  
DE DIFERENTES DENSIDADES BÁSICAS**

**LAVRAS – MG  
2018**

**ANNA CAROLINA DE ALMEIDA ANDRADE**

**INVESTIGAÇÃO DA ENERGIA DE CORTE EM MADEIRAS DE  
DIFERENTES DENSIDADES BÁSICAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, para obtenção do título de Doutor.

**Orientador**

**Dr. José Reinaldo Moreira da Silva**

**Coorientadores**

**Dr. Paulo Ricardo Gherardi Hein  
Dr. Roberto Alves Braga Junior  
Dra. Silvia Costa Ferreira**

**LAVRAS - MG  
2018**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Andrade, Anna Carolina Almeida.

Investigação da energia de corte em madeiras de diferentes densidades básicas / Anna Carolina Almeida Andrade. - 2018.  
31 p. : il.

Orientador(a): José Reinaldo Moreira Silva.

Coorientador(a): Paulo Ricardo Gherardi Hein, Roberto Alves Braga Junior, Silvia Costa Ferreira.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2018.  
Bibliografia.

1. Otimização do processamento mecânico. 2. Analisador de energia. 3. Fresagem periférica. I. Silva, José Reinaldo Moreira. II. Hein, Paulo Ricardo Gherardi. III. Braga Junior, Roberto Alves. IV. Ferreira, Silvia Costa. V. Título.

**ANNA CAROLINA DE ALMEIDA ANDRADE**

**INVESTIGAÇÃO DA ENERGIA DE CORTE EM MADEIRAS DE DIFERENTES  
DENSIDADES BÁSICAS**

**CUTTING ENERGY RESEARCH IN WOODS OF DIFFERENT BASIC DENSITIES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, para obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 29 de maio de 2018.  
Dr. Alexandre Miguel do Nascimento - UFRRJ  
Dra. Joelma Rezende Durão Pereira - UFLA  
Dr. Paulo Fernando Trugilho - UFLA  
Dra. Silvia Costa Ferreira - UFLA

Orientador

---

Dr. José Reinaldo Moreira da Silva

**LAVRAS – MG  
2018**

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Programa de Ciência e Tecnologia da Madeira (PPGCTM), pela oportunidade de realização desse trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

Aos professores do PPGCTM pelo conhecimento compartilhado.

Ao professor Dr. José Reinaldo pela orientação e dedicação na passagem de seu conhecimento, que foram de muita relevância para a realização deste trabalho.

À professora Dra. Sílvia pela ajuda durante as coletas dos dados e por me amparar diversas vezes.

Aos professores da banca pelas sugestões que engrandeceram esse trabalho.

Ao professor Dr. Márcio Pereira da Rocha, pela doação do material, tornando possível a realização deste trabalho.

Aos amigos das “salinhas”, que coloriram meus dias de UFLA.

À Lidy, Mônica e Taiane, por todos os bons momentos de muito pensamento.

À Thawane, por dividir bons momentos comigo em casa e na UFLA.

Ao meu pai por todo suporte mesmo a distância.

À Paulinha, meu potinho de maracujá, por ser meu porto seguro.

À toda minha família pelo incentivo e torcida para que esse trabalho se realizasse.

## **INVESTIGAÇÃO DA ENERGIA DE CORTE EM MADEIRAS DE DIFERENTES DENSIDADES BÁSICAS**

**RESUMO:** Entender a relação entre as propriedades da madeira e os parâmetros de seu processamento mecânico é fundamental para garantir maior controle no processo, indicando os parâmetros adequados e prevendo o comportamento da madeira. A densidade da madeira influencia diretamente na qualidade da superfície, na resistência ao corte e na energia requerida para o processamento. O objetivo foi obter a associação entre as energias específicas de corte e as densidades básicas das madeiras na fresagem periférica, com comando numérico computacional (CNC). Para isso, foram utilizadas madeiras de nove espécies com ampla variação das densidades básicas. As madeiras foram secas em estufa e aclimatizadas. Na coleta de dados de energia específica de corte foram utilizados dez corpos de prova de cada espécie. Os corpos de prova foram fresados em tupia, com CNC, sendo realizados dez cortes lineares de 60 mm. A velocidade de avanço e a rotação foram mantidas constantes, via CNC, e não foram fonte de variação nos tratamentos. A seguir, foram calculados os valores de energia específica, considerando a potência ativa, o tempo de corte e o volume de madeira removida. Os resultados mostraram que houve moderada relação ( $r = 0,61$ ) entre os dados de energia específica de corte e densidade básica da madeira. Contudo, observando as particularidades de cada espécie notou-se que a energia específica de corte apresentou variação em função de fatores como a estrutura anatômica e o tipo de grã da madeira. Concluiu-se que a densidade básica da madeira exerceu relação positiva na energia específica de corte requerida, em que aumento em 201% na densidade básica da madeira resultou em aumento de 48% da energia específica requerida no corte, porém não explica sozinha e completamente esta relação.

**Palavras chaves:** Otimização do processamento mecânico, analisador de energia, fresagem periférica.

## **CUTTING ENERGY RESEARCH IN WOODS OF DIFFERENT BASIC DENSITIES**

**ABSTRACT:** To understand the relationship between the wood properties and the parameters of its mechanical processing is fundamental to guarantee greater control in the process, indicating the appropriate parameters and predicting the behavior of the wood. The wood density directly influences the surface quality, shear strength and energy required for processing. The aim was to obtain the association between the specific cutting energies and the basic densities of the woods in the peripheral milling, with computational numerical control (CNC). For this, wood of nine species with wide variation of the basic densities was used. The woods were dried in a kiln and acclimatized. Ten specimens of each species were used to collect specific energy data. The specimens were milled in a router with CNC, ten linear cuts of 60 mm were made. The feed rate and rotation were maintained constant by CNC, they were not a source of variation in the treatments. Next, the specific energy values were calculated, considering the active power, the cutting time and the volume of wood removed. The results showed that there was a moderate relation ( $r = 0.61$ ) between the data of specific cutting energy and basic density of wood. However, the particularities of each species were observed, it was noticed that the specific cutting energy presented variation as a function of factors such as the anatomical structure and the grain type of the wood. It was concluded that the wood basic density exerted a positive relation in the required specific cutting energy, in which a increase of 201% in the wood basic density resulted in a 48% increase in the specific energy required for cutting, but this alone does not explain the relationship completely.

**Keywords:** Optimization of mechanical processing, energy analyzer, peripheral milling

1. INTRODUÇÃO .....	9
2. REFERENCIAL TEÓRICO .....	10
2.1 Densidade básica.....	10
2.2 Processamento mecânico da madeira .....	11
2.3 Energia específica de corte.....	12
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	15
3.1 Material biológico .....	15
3.2 Preparo dos corpos de prova .....	15
3.3 Fresamento periférico.....	16
3.4 Teste físico .....	17
3.5. Medição de energia de corte.....	18
3.6 Análise dos dados.....	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	22
5. CONCLUSÕES.....	28
6. SUGESTÕES .....	29
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	30



## 1. INTRODUÇÃO

O conhecimento das propriedades tecnológicas da madeira é fundamental para se obter produtos com características adequadas e também prever o comportamento da mesma durante seu processamento e assim poder garantir maior controle de todo o processo.

Características físicas, como a densidade da madeira, influenciam no seu processamento, como, por exemplo, na qualidade da superfície, na resistência ao corte e na energia requerida para cortar. Contudo, existem poucas pesquisas que mensurem em que magnitude a densidade da madeira interfere na energia que é requerida durante o processamento. Além disso, os poucos estudos existentes apresentam resultados superficiais, não mostrando todo o espectro de variação entre as características da madeira e os parâmetros obtidos no final do processo.

Para as indústrias madeireiras, o conhecimento do comportamento da madeira durante seu corte é uma necessidade ligada ao seu processamento, principalmente por razões econômicas e produtivas. Máquinas e ferramentas fabricadas para o processamento de madeira, bem como os operadores, precisam de informações confiáveis sobre os principais fatores que influenciam no processamento mecânico (EYMA et al., 2004).

Os grandes problemas enfrentados pela indústria madeireira são: i) como diminuir os custos com a energia utilizada no processamento; ii) evitar as paradas da produção em função de exceder o limite da potência nominal dos motores das máquinas e iii) propor melhorias no processo, buscando melhor qualidade da madeira processada utilizando de forma eficiente a potência dos motores das máquinas.

A energia específica de corte é uma variável importante a ser avaliada para garantir que as máquinas sejam eficientes no processamento mecânico, sem desperdícios energéticos. Também pode evita sobrecargas que gerem interrupções de produção, denominadas paradas técnicas de manutenção, por exceder limites de requisição dos motores.

A influência da densidade da madeira nos processos de seu corte ainda não se encontra muito bem descrita em literatura, uma vez que os estudos nessa área relatam o uso de baixa amplitude de densidade, o que gera lacunas no conhecimento acerca dessa propriedade na energia específica de corte.

Dessa forma, o objetivo foi obter a associação entre as energias específicas de corte e as densidades básicas das madeiras na fresagem periférica, com comando numérico computacional.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Densidade básica

É observada ampla variação das densidades básicas nas principais madeiras que são normalmente utilizadas no setor madeireiro. Segundo Néri (2003), o processamento mecânico da madeira utiliza como premissa a força necessária para romper o material e, sua densidade possui influência direta na magnitude das forças envolvidas no processamento. Este fato se baseia na íntima relação entre a densidade da madeira e sua resistência mecânica. É possível observar que as madeiras encontradas no Brasil, nativas e, ou exóticas, apresentam ampla variação de densidade. Na Tabela 1 encontra-se a apresentadas nove espécies citadas em literatura, com seus respectivos valores de densidades básicas e com definição dos principais usos, mostrando-se como representantes da variação de densidade encontrada.

Tabela 1- Relação de madeiras com variação de densidade básica média, com seus respectivos nomes científico e vulgar e indicação de usos.

Nome		Densidade básica (g.cm <sup>-3</sup> )	Principais utilizações	Autor
Científico	Vulgar			
<i>Bowdichia nitida</i>	Sucupira	0,780	Mobiliário, assoalho e construção civil.	IPT (1989)
<i>Cryptomeria japonica</i>	Criptoméria	0,400	Construção civil e marcenaria.	Dobner Junior et al. (2013)
<i>Eucalyptus grandis</i>	Eucalipto	0,480	Painéis, energia e marcenaria.	Iwakiri et al. (2008)
<i>Eucalyptus saligna</i>	Eucalipto	0,550	Painéis, energia e marcenaria	Oliveira e Silva (2003)
<i>Hymenaea spp.</i>	Jatobá	0,800	Mobiliário, assoalho e construção civil.	IPT (1989)
<i>Qualea dinizzi</i>	Mandioqueira	0,550	Móveis, materiais de acabamento e esquadrias.	Cardoso et al. (2012)
<i>Tabebuia serratifolia</i>	Ipê	0,840	Mobiliário, assoalho e construção civil.	IPT (1989)
<i>Tectona grandis</i>	Teca	0,650	Decoração de interiores e mobiliário fino.	IPT (1989)
<i>Toona ciliata</i>	Cedro australiano	0,330	Mobiliário e produtos sólidos.	Santos (2011)

Fonte: Da autora (2018)

## 2.2 Processamento mecânico da madeira

O processamento mecânico da madeira é trabalhar a madeira por meio de ferramenta de corte, visando a qualidade do produto e segurança do operador (SILVA et al., 2005).

Segundo Bonduelle, Cruz e Silva (2002), o processamento mecânico da madeira poderá ser expressa pela função 5M (matéria prima – madeira; máquina – aspectos construtivos; metodologia – parâmetros de usinagem; mão de obra – treinamento dos colaboradores; meio ambiente – degradações do ambiente).

A madeira, por ser um material heterogêneo e anisotrópico, apresenta propriedades físico/mecânicas diferentes nos planos transversal, radial e tangencial. Assim, ela pode ser usinada de diferentes formas em função da direção e sentido do ataque entre a ferramenta de corte e suas fibras. Leitz (2001) define que se pode trabalhar a madeira longitudinalmente, transversalmente e no topo tendo cada um suas peculiaridades.

A densidade da madeira é a característica física que é mais utilizada para definir a correlação com o esforço de corte. Ela é consequência da estrutura anatômica e química da espécie. Segundo literaturas pertinentes, a densidade apresenta correlações fortes (positivas ou negativas) com os processamentos da madeira. O aumento da densidade pode estar associado com o aumento dos esforços requeridos durante o processamento da madeira, com a redução da vida útil da ferramenta de corte e com o aumento do ruído produzido durante o processamento mecânico da madeira (SILVA, 2002).

Segundo Silva (2002), a otimização do processamento mecânico da madeira resulta em grandes vantagens, como a diminuição do custo energético demandado pelas máquinas operatrizes, maior aproveitamento da madeira, aumento da vida útil das ferramentas e da produtividade, levando a redução dos custos do processamento mecânico e do produto final.

A orientação da grã da madeira exerce influência na facilidade em se processar mecanicamente a mesma. Madeiras com grã reta não apresentam dificuldade nesse sentido, porém aquelas com grã irregulares apresentam superfícies com pior qualidade, formando superfície áspera nas regiões em que a ferramenta corta contrário à direção aos elementos anatômicos. A grã influencia a qualidade da superfície e a energia requerida durante o corte (BROWN, PANSIN e FORSAITH, 1949).

De acordo com Ferraresi (1970) para se realizar o processamento mecânico em madeira, pode-se utilizar uma fresa acoplada à tupia. Essa operação permite a realização de rasgos de chaveta, cavidades, canais e perfis, entre outras. Deve-se escolher a fresa que possua ótimas propriedades, principalmente resistência durante o processamento mecânico.

Essa escolha deve garantir o tempo de trabalho maior sem perdas das características de seu corte. O dente da fresa é constituída por carbonetos metálicos de tântalo, tungstênio, titânio ou molibdênio, com a adição de cobalto, que atua como aglomerante. Esse material é vulgarmente conhecido como metal duro ou widea. A dureza desse material é muito elevada, podendo suportar temperaturas de corte de até 1.000°C.

### **2.3 Energia específica de corte**

A energia específica é uma das grandezas físicas importantes do processamento mecânico (GORCZYCA, 1987). Variáveis como força, tempo de corte, comprimento do corte, desgaste da ferramenta, temperatura de corte, influenciam diretamente no processo mecânico de corte (GORCZYCA, 1987; RODRIGUES; COELHO, 2007).

A energia específica de corte é a energia efetiva consumida para remover determinada unidade de volume do material da peça (SALMON, 1992).

Os principais trabalhos que mensuram a energia específica de corte obtêm esses dados a partir de um analisador de energia da marca Fluke (GUEDES, 2016) ou por meio da porcentagem do torque do motor como no inversor de frequência (GONTIJO, 2012). A energia específica é calculada por meio da razão entre a potência de corte, em W, e a taxa de remoção de material, em cm<sup>3</sup>. A taxa de remoção é o volume de material que foi removido em determinado intervalo de tempo.

As variáveis do processo, como velocidade de avanço e de corte, número de dentes da ferramenta, tipo de máquina e rotação do eixo do motor interferem na energia que é requerida ao realizar o corte. Sabe-se que as características do material processado mecanicamente, como sua densidade, também são importantes fontes de variação sobre a energia requerida, uma vez que alteram a resistência ao corte do material.

Em trabalho realizado por Souza et al. (2011) estudou-se a influência dos parâmetros do processamento, como a velocidade de avanço e de corte e número de dentes no consumo de energia específica de corte de madeira de *Eucalyptus* saturadas e secas. Os cortes foram feitos em serra circular utilizando carrinho mecânico de movimentação. A energia requerida foi medida por meio dos dados de torque e velocidade fornecidos pelo inversor de frequência. Como resultado os autores atestaram que maiores velocidades de corte, menores velocidades de avanço e serra circular de 40 dentes consumiram maior quantidade de energia específica. Os autores também determinaram condições ideais de corte para cada material genético, visando diminuir a energia específica de corte sem comprometer a qualidade. Como

recomendações, os autores sugeriram que próximos trabalhos confrontassem a energia em função da umidade e densidade com distribuição radial.

Gontijo (2012) analisou a influência das velocidades de corte e de avanço e do número de dentes das serras circulares no consumo de energia específica de corte da madeira. Foi utilizado a serra circular de carrinho com controle da velocidade de avanço para fazer os cortes. A energia específica foi calculada por meio dos dados de torque e velocidade fornecidos por um inversor de frequência. Os resultados mostram que maiores velocidades de corte e menores velocidades de avanço requereram, em geral, mais energia específica de corte.

Melo et. al. (2015), em experimento utilizando diferentes materiais genéticos, estudou a influência da densidade no consumo de energia específica durante o corte das madeiras. Os parâmetros de processamento como velocidade de avanço, velocidade de corte, número de dentes, rotação do eixo porta ferramentas e serra circular foram fixados. O material genético influenciou o consumo máximo de energia específica. Os cortes feitos longitudinalmente tiveram consumo superior aos feitos transversalmente.

Aguilera (2011) verificou a energia de corte necessária para serrar MDF e a relação com a rugosidade da superfície. A umidade dos painéis estava entre 8 e 9%. Os painéis foram usinados em serra circular com 34 e 24 dentes. Para medir a energia de corte o autor utilizou equipamento elétrico conectado a um computador, gravando emissões acústicas e transmitindo a frequência. O processamento de MDF com serras circulares em altas velocidades produziram acabamento superficial pior, ao longo da borda da placa, exigindo energia de corte menor para todas as espessuras de painéis.

Aguilera e Muñoz (2011) avaliaram o efeito da espessura média do cavaco na energia total de corte e rugosidade em madeiras de *Acacia melanoxylon* e *Sequoia sempervirens*. A energia e potência foram obtidas por meio da medição da tensão e corrente. O sistema de medição possuía uma amostragem a cada segundo e enviava os dados para o computador. A energia e potência de corte média teve aumento quando a espessura média dos cavacos foi maior.

Comparando madeiras de diferentes densidades em relação a energia de corte consumida para realizar cortes de diferentes famílias, Silva (2015) observou que em média os cortes transversais consumiam 1,3 vezes mais energia do que os cortes longitudinais.

Silva (2016) estudou a requisição de energia de corte em madeiras com densidades distintas utilizando o comando numérico computacional que controlou as velocidades de avanço e de corte durante o fresamento. Os cortes foram realizados em sentidos variados em

relação às fibras da madeira. Em seus resultados o autor constatou que houve aumento de consumo de potência com o aumento da velocidade de avanço e de corte e também com o aumento da densidade da madeira. Os cortes realizados perpendiculares às fibras requereram maior energia específica de corte. O autor não conseguiu definir classes de densidades com representatividade e não definiu a umidade dos corpos de prova durante o processamento.

Guedes (2016), trabalhando com três madeiras de diferentes densidades, cumaru, cupiúba e pinus (alta, média e baixa) e em diferentes umidades, observou que houve relação negativa entre umidade e energia específica de corte e que para a densidade a relação foi positiva. Este trabalho foi conduzido em tupia com controle numérico computacional e a potência ativa foi aquiritada por meio do analisador de energia da marca Fluke.

Nascimento et. al. (2017), determinando a influência da umidade na energia específica de corte em corte longitudinal de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus urophylla*, observaram que houve aumento de 44% no consumo específico de energia de corte com a redução da umidade de 75% (condição saturada) a 12% (condição de equilíbrio) e de 54% de consumo de energia quando a madeira é seca de 12% a 2% (condição seca) de umidade.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Material biológico

Foram utilizadas madeiras de nove espécies para garantir ampla variação das classes de densidade a fim de relacioná-las à energia específica de corte. As espécies utilizadas foram: *Bowdichia nitida*, *Cryptomeria japonica*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, *Hymenaea* spp., *Qualea dinizii*, *Tabebuia serratifolia*, *Tectona grandis* e *Toona ciliata*. Todas as espécies são pertencentes ao grupo das angiospermas eudicotiledôneas, com exceção da *Cryptomeria japonica* que é uma gimnosperma. A escolha dessas espécies se deu por meio de literaturas pertinentes, em que indicaram variação da densidade básica entre elas de  $0,200 \text{ g.cm}^{-3}$  a  $1,000 \text{ g.cm}^{-3}$ .

A partir das espécies elencadas, foram obtidas tábuas secas em estufa, oriundas de projetos em desenvolvimento pelos grupos de pesquisa em tecnologia da madeira da Universidade Federal de Lavras e da Universidade Federal do Paraná.

#### 3.2 Preparo dos corpos de prova

Para os ensaios de energia específica de corte foram utilizados dez corpos de prova por espécie cujas dimensões foram variadas para garantir as maiores dimensões possíveis, levando em consideração as dimensões das tábuas obtidas. Para tanto, os corpos de prova foram preparados, sendo todas as faces desempenadas e desengrossadas e os topos foram cortados.

Posteriormente, todos os corpos de prova foram empilhados, com tabiques de 2,0 cm de espessura, no Laboratório de Usinagem da Madeira (DCF-UFLA), local onde fora realizado o ensaio de energia requerida para o corte. Esta etapa foi fundamental para a aclimatização dos corpos de prova de maneira que os mesmos atingissem a estabilização da umidade e que essa característica não ocasionasse interferência na coleta de dados de energia específica de corte.

O controle da estabilização da umidade dos corpos de prova foi efetuado por meio da pesagem de 3 corpos de prova, por classe de densidade, a cada 3 dias. A estabilização da umidade foi confirmada com o cálculo da perda de massa e utilizando a descrição da NBR 7190 (ABNT, 2010). Nesta norma, considera-se massa constante para variação inferior a 0,5% entre pesagens sucessivas. Assim, todos os corpos de prova apresentaram umidades semelhantes, compatíveis com a Umidade de Equilíbrio da sala onde se encontra a tupa pantográfica.

### 3.3 Fresamento periférico

O fresamento periférico foi realizado em tupia pantográfica, da marca Tecnopampa, modelo Router, acoplada e comandada pelo comando numérico computacional (CNC). A tupia foi equipada com uma fresa reta, de dois gumes, com profundidade de corte máxima de 15,6 mm e diâmetro de 6 mm (FIGURA 1). Esse tipo de fresa é indicado para fresagens em ranhura e com capacidade de suportar rotações de até 35000 rpm.

Figura 1 – Fresa Bosh utilizada para realização dos cortes nas madeiras das diferentes densidades.



Fonte: Da autora (2018)

Para evitar que o desgaste da fresa interferisse nos dados da energia de corte, foram tomados alguns cuidados antes da realização do corte. Primeiramente, procedeu-se a numeração sequencial de todos os corpos de prova. A seguir, foi realizado o sorteio dos mesmos, de modo a distribuir entre as espécies, os corpos de prova e as densidades o efeito do desgaste da ferramenta. Também foi utilizada uma fresa nova, sem uso anterior.

Os parâmetros utilizados durante o processamento foram mantidos fixados para garantir as mesmas condições de corte em todas as densidades e corpos de prova. Assim, a rotação do eixo da ferramenta foi de  $17000 \text{ min}^{-1}$ , conforme Guedes (2016), e a velocidade de avanço da fresa durante o corte foi de  $2000 \text{ m.min}^{-1}$ , para permitir o corte da madeira de maior classe de densidade.

Foram realizados dez cortes em cada corpo de prova. A forma do corte foi em linha reta, dispostos transversalmente nos corpos de prova (FIGURA 2) e com dimensões de  $60 \times 6 \times 3 \text{ mm}$  (comprimento x largura x profundidade). Os dez cortes foram distantes entre si de 20 mm e localizados na região central, em função do comprimento total, dos corpos de prova.



Figura 2 – Esquema dos cortes retos na tupa pantográfica e sua localização nos corpos de prova.



Fonte: Da autora (2018)

Para a realização do fresamento periférico, na tupa pantográfica foram utilizados *software* de desenho AutoCAD® (CAD - *Computer Aided Design*), *software* de transformação de CAD (DXF) para linguagem de máquina SheetCam (2.1/2D CAM) e *software* de interpretação de linguagem de máquina e controle de movimentação das mesas Mach 3 CNC Controller (Tecnocut Plasma CNC 2000/2500 Séries), conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Interface do programa Mach 3 CNC Controller evidenciando o esquema de corte.

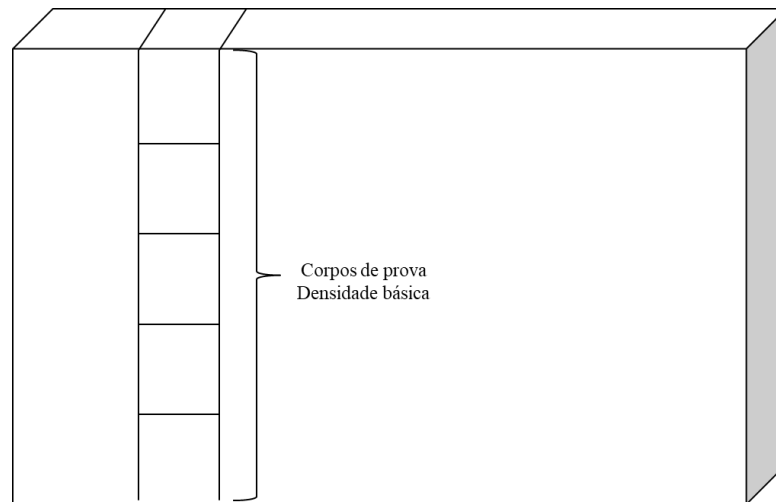


Fonte: Da autora (2018)

### 3.4 Teste físico

A amostragem para realização do teste físico de densidade básica foi perpendicular ao eixo e distante em 5 cm do topo, conforme ilustrado na Figura 4. A metodologia utilizada para este teste foi conforme descrição da norma NBR 11941 (ABNT, 2003).

Figura 4 - Posição da retirada dos corpos de prova para o teste de densidade básica



Fonte: Da autora (2018)

### 3.5. Medição de energia de corte

A coleta de dados para o cálculo de energia de corte se deu por meio de sistema capaz de ler os parâmetros, como potência, em tempo real durante a fresagem periférica. Para isso, foram utilizadas duas pontas de prova. A primeira foi utilizada para capturar a tensão, em Volts (V). A outra foi utilizada para a captura da corrente elétrica, em Amperes (A). Ambas pontas de provas estavam conectadas ao analisador de energia, da marca FLUKE, modelo 435.

A potência de corte obtida para cada corpo de prova foi determinada pela aquisição dos parâmetros elétricos medidos pelo analisador de energia (marca FLUKE modelo 435) conectado ao motor da tupa pantográfica (FIGURA 5). Obtiveram-se durante o processamento mecânico da madeira os dados de potência ativa, gravados no registrador (*datalogger*) pelo analisador.

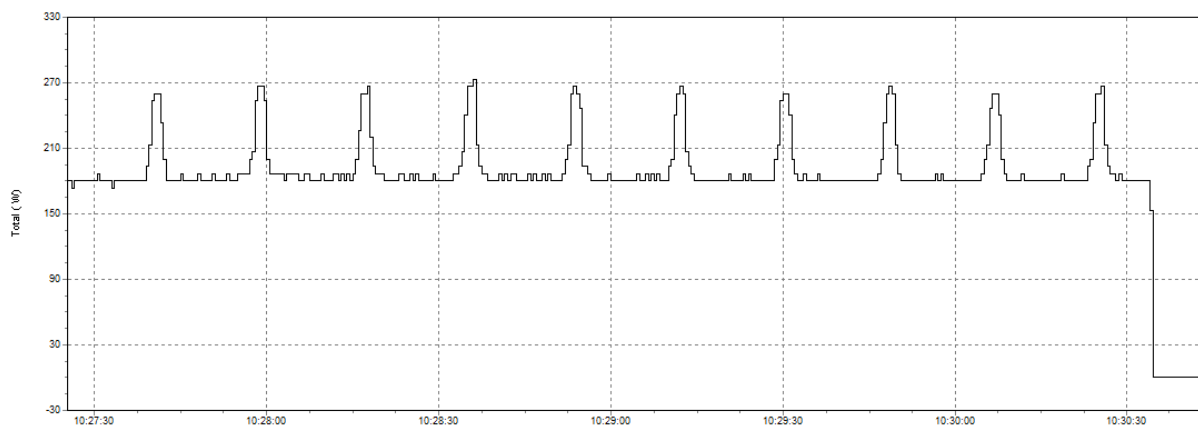
Figura 5 – *Setup* do sistema de obtenção dos dados de energia de corte em tupia com CNC.



Fonte: Da autora (2018)

Os dados obtidos pelo analisador de energia da marca FLUKE foram exportados do programa *powerlog classic 4.4* para o *Excel*. Posteriormente, foi realizado o ajuste dos dados e a confecção dos gráficos-respostas (FIGURA 6).

Figura 6 – Gráfico-resposta com a potência obtida durante os dez cortes realizados em corpo de prova da espécie *Qualea dinizii*.



Fonte: Da autora (2018)

A captura dos dados foi realizada sem interrupções ao longo do tempo e foram adotadas duas leituras por segundo ( $T = 0,5$  s). Desse modo, foi necessário realizar filtragem dos dados, selecionando apenas dados de potência ativa (FIGURA 7) em que de fato

ocorreram os cortes, isto é, os dados somente foram selecionados no tempo em que a ferramenta de corte estava em funcionamento e cortando a madeira.

Figura 7 - Ajuste dos dados dos cortes e apresentação de filtragem dos valores sem energia de corte efetiva.

Data	Hora	Potência Ativa Total Méd.
23/02/2018	10:27:37.5	180
23/02/2018	10:27:38.0	180
23/02/2018	10:27:38.5	180
23/02/2018	10:27:39.0	180
23/02/2018	10:27:39.5	193,333
23/02/2018	10:27:40.0	213,333
23/02/2018	10:27:40.5	253,333
23/02/2018	10:27:41.0	260
23/02/2018	10:27:41.5	260
23/02/2018	10:27:42.0	233,333
23/02/2018	10:27:42.5	200
23/02/2018	10:27:43.0	180
23/02/2018	10:27:43.5	180
...		
23/02/2018	10:27:53.0	180
23/02/2018	10:27:53.5	186,667
23/02/2018	10:27:54.0	180
23/02/2018	10:27:54.5	180
23/02/2018	10:27:55.0	180
23/02/2018	10:27:55.5	186,667
23/02/2018	10:27:56.0	186,667
23/02/2018	10:27:56.5	186,667
23/02/2018	10:27:57.0	186,667
23/02/2018	10:27:57.5	200
23/02/2018	10:27:58.0	206,667
23/02/2018	10:27:58.5	253,333
23/02/2018	10:27:59.0	266,667
23/02/2018	10:27:59.5	266,667
23/02/2018	10:28:00.0	253,333
23/02/2018	10:28:00.5	200
23/02/2018	10:28:01.0	186,667
23/02/2018	10:28:01.5	186,667
23/02/2018	10:28:02.0	186,667

Fonte: Da autora (2018)

A energia elétrica utilizada para o cálculo da energia específica de corte pode ser obtida por meio da Equação 1. Energia elétrica é a relação entre potência requerida pelo motor para realizar um corte durante um tempo conhecido. Na prática, com os dados fornecidos pelo analisador de energia, a energia elétrica foi calculada pela Equação 2. Por fim, a energia específica de corte é obtida por meio da Equação 3, em que se leva em consideração o volume de madeira removido.

$$E_{el} = \int_{t_1}^{t_2} p(t) dt \quad (1)$$

Em que:

$E_{el}$  = energia elétrica de corte (J);

$p(t)$  = potência elétrica de corte (W);

$t$  = tempo de coleta dos dados (s);

$t_1$  = tempo inicial de corte (s);

$t_2$  = tempo final de corte (s);

$$E_{el} = \sum_{k=0}^n p(k)T \quad (2)$$

Em que:

$E_{el}$  = energia elétrica de corte (J);

$p(k)$  = potência elétrica de corte para amostra k (W);

$T$  = intervalo de tempo entre duas amostras (s);

$n$  = número de amostras de cada corte;

$$E_s = \frac{E_{el}}{Vol} \quad (3)$$

Em que:

$E_s$  = energia específica (J.cm<sup>-3</sup>);

$E_{el}$  = energia elétrica de corte (J);

$Vol$  = volume de material removido (cm<sup>3</sup>)

### 3.6 Análise dos dados

Na avaliação do experimento, foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 10 repetições. Foi realizada análise de variância (ANOVA), a 5% de significância, para os valores de energia específica de corte. Havendo diferença significativa foi realizado, para as comparações múltiplas, o teste de agrupamento de Scott-Knott, a 5% de significância. Também foi determinada a correlação simples entre a energia específica de corte e a densidade básica.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise geral dos dados de energia específica de corte, observou-se que o corpo de prova que apresentou maior valor foi encontrado para a espécie *Hymenaea spp*, com  $1401 \text{ J.cm}^{-3}$ . Observou-se também que a *Toona ciliata* foi a espécie que apresentou o menor valor de energia específica de corte, que requereu 388 J para cada centímetro cúbico de material removido.

O resumo da análise de variância da energia específica de corte da madeira para todas as espécies encontra-se na Tabela 2. Observa-se que houve diferença estatística entre as médias das espécies, a 5% de significância. De forma prática podemos inferir que a escolha do material genético a ser processado mecanicamente (fresagem) influencia no valor da energia requerida durante a execução de retirada de determinado volume de madeira. Esta interferência traz subsídios para a tomada de decisão do volume de madeira a ser removido, bem como no cálculo de dimensionamento das potências dos motores para específicas operações, em determinadas linhas de produção.

Tabela 2- Resumo da análise de variância da energia específica de corte

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Quadrado Médio
Espécie	8	114991*
Resíduo	81	8504
TOTAL	90	
CV(%)	19	

\* Significativo a 5% de significância

Fonte: Da autora (2018)

A variação dos valores obtidos para a energia específica de corte não se relaciona com as classes de densidades básicas do material usinado. Observou-se que a espécie em que ocorreu a maior variação dos dados de energia específica de corte foi a *Toona ciliata*, que possui densidade básica baixa ( $\rho = 0,273 \text{ g.cm}^{-3}$ ) e apresentou coeficiente de variação de 17,2%, seguidos das espécies *Eucalyptus saligna* (CV = 16,2% e  $\rho = 0,598 \text{ g.cm}^{-3}$ ) e *Bowdichia nitida* (CV = 15,7% e  $\rho = 0,801 \text{ g.cm}^{-3}$ ) com densidades mediana e alta, respectivamente. As espécies mais homogêneas quanto a variação da energia específica de corte foram *Qualea dinizii* ( $\rho = 0,562 \text{ g.cm}^{-3}$ ) e *Eucalyptus grandis* ( $\rho = 0,495 \text{ g.cm}^{-3}$ ) com

coeficientes de variação de 9,8% e 9,9% respectivamente, ambas as espécies são classificadas como de densidade básica mediana.

Os valores médios da densidade básica, da energia específica de corte e do seu coeficiente de variação por espécie, encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3- Valores médios de energia específica de corte e de densidade básica, por espécie durante a fresagem em tupia com CNC

Espécie	Densidade básica (g.cm <sup>-3</sup> )	Energia específica de corte (J.cm <sup>-3</sup> )	Coefficiente de Variação (%)
<i>Toona ciliata</i>	0,273	666,3	17,2
<i>Cryptomeria japonica</i>	0,417	626,8	14,9
<i>Tectona grandis</i>	0,442	709,4	12,8
<i>Eucalyptus grandis</i>	0,495	845,5	9,9
<i>Qualea dinizii</i>	0,562	750,6	9,8
<i>Eucalyptus saligna</i>	0,598	855,8	16,2
<i>Bowdichia nitida</i>	0,801	907,0	15,7
<i>Hymenaea spp</i>	0,837	930,3	12,8
<i>Tabebuia serratifolia</i>	0,880	832,6	10,5

Fonte: Da autora (2018)

Observa-se (TABELA 3) que a classe de madeiras com densidade básica entre 0,201 g.cm<sup>-3</sup> e 0,400 g.cm<sup>-3</sup>, foi representada apenas pela *Toona ciliata*. O consumo médio de energia específica de corte desta madeira foi de 666,3 J.cm<sup>-3</sup>. Para a classe de madeiras que possuem densidade básica entre 0,401 g.cm<sup>-3</sup> e 0,600 g.cm<sup>-3</sup> foi encontrada a maior representatividade de espécies, sendo agrupadas nesta classe a *Cryptomeria japonica* ( $\rho = 0,417$  g.cm<sup>-3</sup>), *Tectona grandis* ( $\rho = 0,442$  g.cm<sup>-3</sup>), *Eucalyptus grandis* ( $\rho = 0,495$  g.cm<sup>-3</sup>), *Qualea dinizii* ( $\rho = 0,562$  g.cm<sup>-3</sup>) e *Eucalyptus saligna* ( $\rho = 0,598$  g.cm<sup>-3</sup>). Observou para essa classe de densidade aumento em 43% no valor da densidade básica. Contudo, ao analisar a variação da energia específica de corte requerida para fresagem periférica destas madeiras não foi observada tendência crescente semelhante àquela observada para a densidade básica. Foi observado que no intervalo inicial de aumento da densidade básica ocorreu também aumento da energia específica de corte e seguindo o aumento da densidade, ocorreu redução da energia específica de corte. Contudo, observando apenas a variação da energia específica de corte

nesta classe de densidade nota-se variação de 37% entre as espécies que requereram a menor e a maior energia específica de corte.

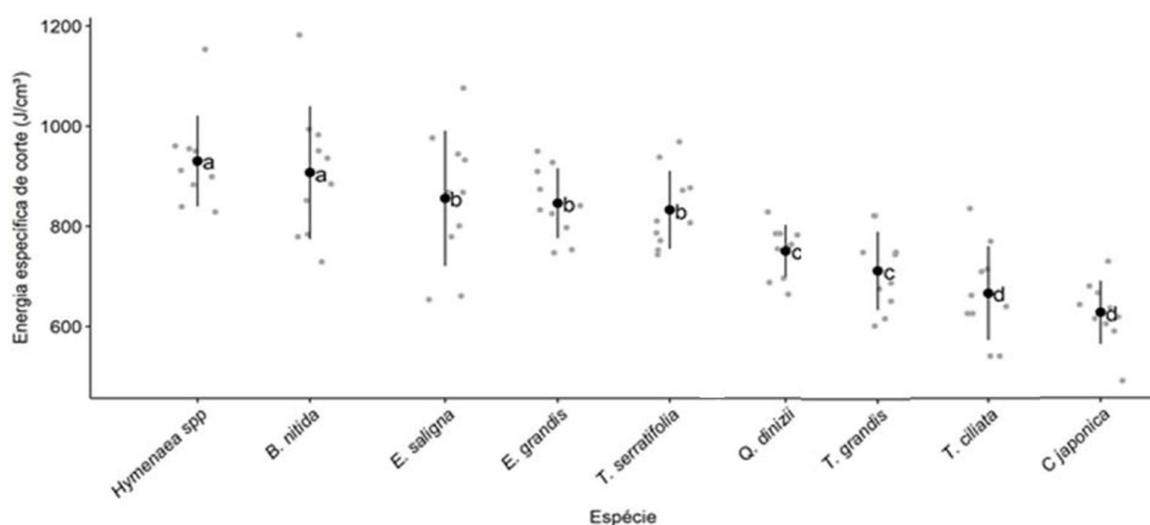
Para a classe de madeiras com densidade básica, compreendida entre 0,801 g.cm<sup>-3</sup> e 1,000 g.cm<sup>-3</sup>, representadas pelas *Bowdichia nítida* ( $\rho = 0,801$  g.cm<sup>-3</sup>), *Hymenaea* spp. ( $\rho = 0,837$  g.cm<sup>-3</sup>) e *Tabebuia serratifolia* ( $\rho = 0,880$  g.cm<sup>-3</sup>), observou aumento em 10% nos valores da densidade básica. Semelhante a classe de densidade básica de 0,401 a 0,600 g.cm<sup>-3</sup>, a variação da energia específica de corte requerida para fresagem das madeiras de maiores densidades básicas foi inicialmente crescente, acompanhando o aumento da densidade básica e seguido de decréscimo da energia específica de corte na porção final do aumento da densidade básica.

Na análise geral de todas as madeiras utilizadas, em média não observou que a menor energia específica de corte foi requerida para a fresagem periférica da madeira de menor densidade média. Observa-se (TABELA 3), que a *Cryptomeria japônica* ( $\rho = 0,417$  g.cm<sup>-3</sup>) foi a que requereu menor energia de corte (626,8 J.cm<sup>-3</sup>), e não para a *Toona ciliata* ( $\rho = 0,273$  g.cm<sup>-3</sup>), contradizendo Guedes (2016) e Brown, Panshin e Forsaith (1949). Contudo, a *Cryptomeria japonica* é a única dentre as nove espécies avaliadas que é classificada como gimnosperma. Isto evidencia que não só a densidade da madeira pode afetar o valor da energia específica de corte requerida. Neste caso, pode-se inferir que a composição anatômica do lenho possui relevância na definição da energia requerida, uma vez que as gimnospermas por possuir maior homogeneidade na composição de seu lenho, em termos de tipos e arranjo de células, exigiria menor energia ao corte.

Por meio da comparação múltipla das médias pelo teste de Scott-Knott (FIGURA 8), a 5% de significância, observou-se que as espécies foram separadas em quatro grupos distintos em função da energia específica de corte.



Figura 8- Comparação múltipla das médias para o parâmetro energia específica de corte



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

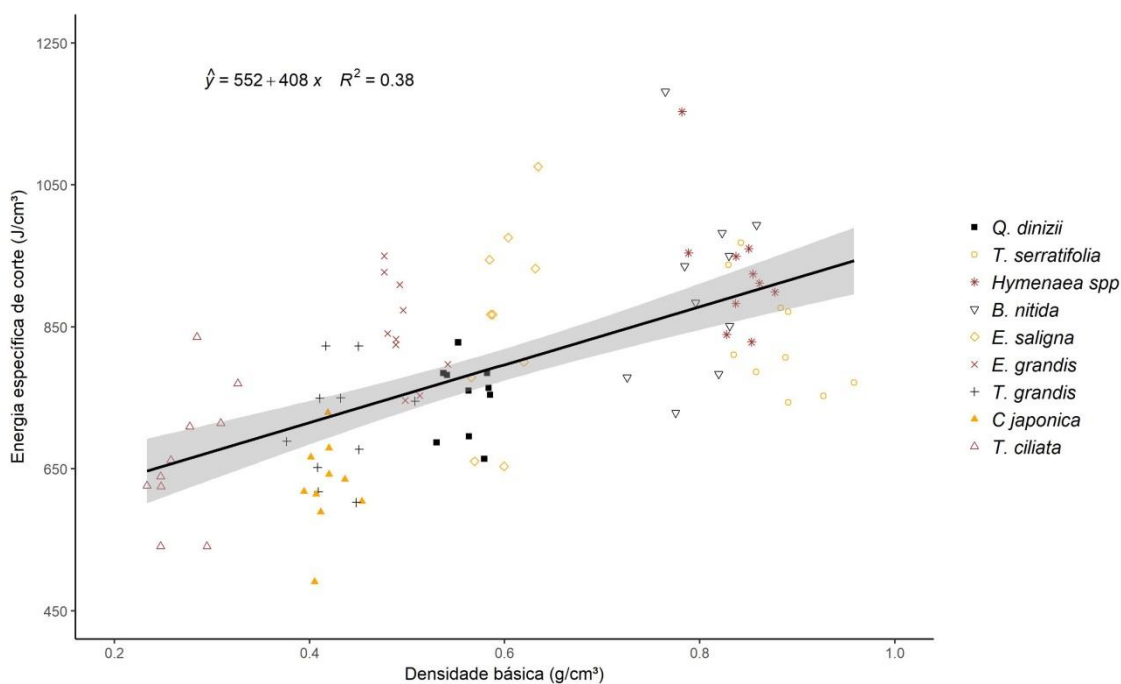
Fonte: Da autora (2018)

As classes propostas pelo teste de Scott-Knott não separaram a energia específica de corte em relação as densidades das espécies. Esses dados não corroboram com resultados obtidos por Guedes (2016), em que a autora relata que a energia de corte mostra-se intimamente relacionados com a densidade. Contudo, a autora citada utilizou apenas três classes de densidade, representadas por apenas uma espécie em cada. No entanto, quando observado os dados de densidade com maior espectro de valores, que não somente baixa, média ou alta densidade, como no caso deste estudo, nota-se que a densidade não é sozinha o fator decisivo na energia específica de corte.

Apesar de ter havido a variação de 222% ( $\rho = 0,273 \text{ g.cm}^{-3}$  até  $\rho = 0,880 \text{ g.cm}^{-3}$ ) nos valores de densidade básica das madeiras, a variação da energia específica de corte foi de 48%. Contudo, este percentual não abrangeu toda a variação da densidade básica, uma vez que o maior valor ( $930,3 \text{ J.cm}^{-3}$ ) foi apresentado pela madeira de *Hymenaea spp.* e o menor valor ( $626,8 \text{ J.cm}^{-3}$ ) foi apresentado pela madeira de *Cryptomeria japonica*, representando a variação de 201% na densidade básica da madeira.

A relação entre a densidade básica e a energia específica de corte para as nove espécies fresadas em tupia com CNC encontra-se na Figura 9.

Figura 9 - Relação entre os dados de densidade básica e de energia específica de corte para a fresagem em tupia com CNC para as nove espécies.



Fonte: Da autora (2018)

Analisando vários modelos ajustados para as nove classes de densidade observou-se que o modelo linear apresentou o melhor comportamento dos dados e foi significativo. Observa-se que de acordo com o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), apenas 38% da variação total da energia específica de corte pode ser explicada pela variação da densidade básica das madeiras. A correlação ( $r$ ) significativa, obtida entre os dados de densidade básica da madeira e de energia específica de corte foi de 0,61 e é considerada moderada.

Observa-se que as madeiras das espécies *Tectona grandis* e *Cryptomeria japonica* estão sobrepostas no eixo da densidade básica, com densidade média de  $0,430 \text{ g.cm}^{-3}$ . Contudo, em relação à energia requerida para cortar o mesmo volume de madeira, a madeira de *Tectona grandis* requereu  $709,4 \text{ J.cm}^{-3}$  e em contrapartida a madeira de *Cryptomeria japonica* requereu  $626,8 \text{ J.cm}^{-3}$ , valores que correspondem a 13% de acréscimo na energia específica para realizar a fresagem periférica em tupia, controlada pelo CNC. Conforme anteriormente mencionado, a madeira da *Cryptomeria japonica* é a única dentre as nove espécies utilizadas que pertence a classe das gimnospermas, que possui estrutura anatômica mais homogênea (menos complexa) que as demais espécies que são da classe das angiospermas eudicotiledôneas.

Na fresagem da *Tectona grandis*, a ferramenta de corte deverá vencer a resistência mecânica imposta pelo tecido que foi formado por diferentes elementos anatômicos (fibras, vasos e células de parênquima), isto é, o arranjo espacial dos elementos na formação da madeira apresenta-se heterogêneo, que pode ocasionar, como por exemplo, desvio da grã. Já para realizar a fresagem da *Cryptomeria japonica* a ferramenta de corte deverá vencer apenas a resistência dos traqueídes, que normalmente possuem orientação predominante homogênea.

Os dados obtidos também mostraram que apenas com a densidade não foi possível explicar a diferença da energia específica de corte, requerida para realizar o mesmo corte entre materiais genéticos diferentes. Este fato pode ser melhor entendido ao se observar os valores das energias específica de corte para as espécies *Eucalyptus saligna* ( $0,598 \text{ g.cm}^{-3}$ ) e *Qualea dinizii* ( $0,562 \text{ g.cm}^{-3}$ ). Vale ressaltar que essas duas madeiras são angiospermas e, portanto apresentam estruturas anatômicas semelhantes em composição e também apresentaram valores de densidades semelhantes. Pode-se observar que a madeira de *Eucalyptus saligna* requereu energia específica de corte, em média, 14% superior que a madeira de *Qualea dinizii*. Neste caso, pode ter havido a influência do tipo de grã da madeira. Como na fresagem periférica executada neste trabalho o sentido de corte apresenta-se de forma concordante e discordante, simultaneamente nas duas faces do corte, a presença da grã inter cruzada, comumente presente na madeira *Eucalyptus* spp. torna difícil para a ferramenta de corte (fresa) vencer a resistência do material, sendo expresso em aumento da energia requerida.

## 5. CONCLUSÕES

- Com ampla variação do espectro dos dados, não observou associação direta e completa do aumento da energia específica de corte em função da densidade básica das madeiras. Mas, de maneira geral houve relação crescente entre densidade básica da madeira com a energia requerida durante o corte, com explicação de 38% desta variação;
- A madeira de *Cryptomeria japonica*, que é uma gimnosperma, requereu menor energia específica de corte quando comparadas com madeiras de angiospermas eudicotiledôneas;
- O aumento de 201% na densidade básica da madeira ( $0,417 \text{ g.cm}^{-3}$  a  $0,837 \text{ g.cm}^{-3}$ ) promoveu 48% de aumento na energia específica de corte ( $626,8 \text{ J.cm}^{-3}$  a  $930,3 \text{ J.cm}^{-3}$ ).

## 6. SUGESTÕES

- Realizar pesquisas relacionando o tipo de grã da madeira com a força necessária para a ferramenta de corte vencer a resistência do material durante o corte, sendo a hipótese é que madeiras com grã inter cruzadas requererem maior energia de corte que as madeiras com grã reta.
- Realizar pesquisas em estrutura anatômica e das propriedades mecânicas da madeiras para entender melhor as interferências na energia específica de corte.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILERA, A. Cutting energy surface roughness in medium density fiber board rip sawing. *European Journal of Wood and Wood Products*, Berlin, v. 69, n. 1, p. 11-18, Feb. 2011.

AGUILERA, A.; MUÑOZ, H. Rugosidad superficial y potencia de corte enlcepillado de *Acacia Melanoxylon* y *Sequoia Sempervirens*. *Ciencia y Tecnologia*, Concepción, v. 13, n. 1, p. 19-28, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 11941: madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 2010. 67 p.

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

BROWN, H. P.; PANSKIN, A. J.; FORSAITH, C. C. Textbook of wood technology. Londres, McGraw-Hill, 1949. 652p.

CARDOSO, C. C.; MOUTINHO, V. H. P.; MELO, L. O.; SOUSA, L. K. V. S.; SOUZA, M. R. Caracterização físico-mecânica d madeiras amazônicas com aptidão tecnológica para comercialização. *Revista Ciências Agrárias*, v.55, n.3, p.176-183, jul-set. 2012.

DOBNER JUNIOR, M.; TRAZZI, P. A.; HIGA, A. R.; ARCE, J. E. Growth of a *Cryptomeria japonica* stand in Southern Brazil. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v.41, n.97, p.039-046, mar. 2013.

EYMA, F.; MEAUSOONE, P. J.; MARTIN, P. Strains and cutting forces involved in the solid wood rotating cutting process. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 148, n. 2, p. 220-225, 2004.

FERRARESI, D. Fundamentos da usinagem de metais. São Paulo. Blucher. p.671. 1970.

GONTIJO, T. G. Energia específica em cortes transversais em madeira roliça de *Eucalyptus* sp. 2012. 61 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

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

GUEDES, T.O. Consumo de energia específica de corte em madeiras de diferentes densidades em distintas umidades. 2016. 83p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, IPT. Fichas de características das madeiras brasileiras, Brasil, 1989. 418p.

IWAKIRI, S.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; PRATA, J. G.; COSTA, A. C. B. Utilização de madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* para produção de painéis de partículas orientadas – OSB. *Ciência Florestal*. Santa Maria, v.18, n.2, p.265-270, abr-jun. 2008.

LEITZ (2001). Das leitzlexikon. 3.ed. Unterschneidheim, 2001. Não paginado.

MELO, L. E. L.; SILVA, J. R. M.; NAPOLI, A.; LIMA, J. T.; NASCIMENTO, D. F. R. Influence of anatomy and basic density on specific cutting force for wood from *Corymbia citriodora* Hill & Johnson. Forest Systems, Madrid, v. 24, n. 3, p. e036, Dec. 2015.

NAPOLI, A. Effect of moisture content on specific cutting energy consumption in *Corymbia citriodora* and *Eucalyptus urophylla* woods Sci. For., Piracicaba, v. 45, n. 113, p. 221-227, mar. 2017

NASCIMENTO, D. F. R.; MELO, L.E.L.; SILVA, J. R. M.; TRUGILHO, P.F.;

NÉRI, A.C. Parâmetros de corte na usinagem de madeiras de reflorestamento. 2003. 140f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, J. C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. Revista árvore, v.27, n.3, p.381-385, 2003.

PRODUCTS. In: 22th International wood machining seminar, 2015, Quebec City. 22th International wood machining seminar, 2015.

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, São Paulo, v. 29, n. 3, p. 279-283, jul./set 2007.

SALMON, S. C. Fundamentals of grinding. Modern grinding process technology. New York: McGraw-Hill, 1992. 225 p.

SANTOS, A. M. Melhoramento genético de cedro australiano (*Toona ciliata* M Roemer var. australis). 2011. 65p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

SILVA, E. M. Fresamento com comando numérico computadorizado em madeiras de *Corymbia* e de *Eucalyptus*: análise do consumo de energia. 2016. 68 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

SILVA, E. M.; SILVA, J. R. M.; LIMA, J. T.; ANDRADE, A. C. A.; MOULIN, J. C. EVALUATION OF POWER CUTWOOD *Eucalyptus* FOR GREATER VALUE

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.

SOUZA, E. M. Influência dos parâmetros de usinagem da madeira de *Eucalyptus* sp. No consumo de energia específica de corte em serra circular. 2009. 50p. Dissertação (Mestrado

em Ciência e Tecnologia de Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

SOUZA, M. E.; SILVA, J. R. M.; LIMA, J. T.; NAPOLI, A.; RAAD, T. J.; GONTIJO, T. G. Specific cutting energy consumption in a circular saw for *Eucalyptus* stands VM01 and MN463. *Cerne*, Lavras, v. 17, n. 1, p. 109-115, jan./mar. 2011.