

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA

THIERSO BRUNHARO BORTOLUCI

**ANÁLISE DO PROCESSO DE LIXAMENTO COM LIXAS DE  
CARBETO DE SILÍCIO**

Itapeva – SP  
2012

THIERSO BRUNHARO BORTOLUCI

**ANÁLISE DO PROCESSO DE LIXAMENTO COM LIXAS DE  
CARBETO DE SILÍCIO**

Trabalho de Graduação apresentado no Campus Experimental de Itapeva – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para a obtenção do título de graduado em Engenharia Industrial Madeireira.

Itapeva – SP  
2012

B739a Bortoluci, Thierso Brunharo.  
Análise do processo de lixamento com lixas de carbetto de silício /  
Thierso Brunharo Bortoluci. -- Itapeva, SP, 2012  
67 f.; il.

Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Industrial Madeireira)  
- Universidade Estadual Paulista, Câmpus Experimental de Itapeva,  
2012

Orientador: Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves  
Banca examinadora: Prof. Dr. Marcos Tadeu Tibúrcio Gonçalves;  
Prof. Msc. Demétrio Zacarias  
Inclui bibliografia

1. Usinagem. 2. Madeira. 3. Abrasivos. I. Título. II. Itapeva - Curso de  
Engenharia Industrial Madeireira.

CDD 621.92

# FOLHA DE APROVAÇÃO

THIERSO BRUNHARO BORTOLUCI

## **ANÁLISE DO PROCESSO DE LIXAMENTO COM LIXAS DE CARBETO DE SILÍCIO**

Trabalho de Graduação apresentado no Campus Experimental de Itapeva – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para a obtenção do título de graduado em Engenharia Industrial Madeireira.

Prof. Dr. José Cláudio Caraschi  
Coordenador de Curso

### **BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves  
Orientador – Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Prof. Dr. Marcos Tadeu Tibúrcio Gonçalves  
Coordenador Executivo - Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Prof. Msc. Demétrio Zacarias  
Doutorando - Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Itapeva, 5 de dezembro de 2012

*Este trabalho é dedicado a Solange Falzoni Ferraz Brunharo, minha querida avó, que infelizmente não vive mais entre nós, porém jamais será esquecida. Obrigado por todo exemplo durante minha vida e por todo amor que a senhora concedeu sem nunca medir esforços para me agradar.*

## AGRADECIMENTOS

*Primeiramente agradeço aos meus pais: Carla e Paulo, pela luta constante para que eu me torne um homem melhor e o incentivo desde pequeno para que eu estudasse.*

*A minha família como um todo, pelo carinho e incentivo e em especial agradeço a minha madrinha, Ângela Bortoluci, pelo apoio em tudo que precisei até hoje, não somente na faculdade, como na vida. Obrigado por me ensinar a fazer o bem às pessoas sem esperar nada em troca e por cuidar de mim realmente como se fosse um filho.*

*A Unesp de Itapeva, e em nome desta, a todos os professores, funcionários e colegas, que partilharam desta etapa da minha vida.*

*Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), e através deste ao programa de bolsas PIBIC/PIBITI;*

*À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).*

*Agradeço a toda equipe do laboratório de usinagem e automação e a algumas pessoas que contribuíram para este trabalho: Frezzatti, Varanda, Chico Mateus, Sueli, Mariane, Paulo e em especial ao Demétrio, que contribui diretamente neste trabalho e ao Bruno Santos, pela ajuda em estatística.*

*Agradeço ao meu orientador, Manoel Cléber de Sampaio Alves, por toda a dedicação para que meus projetos dessem certo. Espero que um talento como o senhor jamais se decepcione com o trabalho e continue fazendo toda a diferença na vida das pessoas. Muito obrigado por tudo!*

*“O homem é do tamanho do seu sonho”*  
*Fernando Pessoa*

## RESUMO

O processo de lixamento em madeiras garante um melhor acabamento superficial melhorando o aspecto visual, sensitivo e permite melhor aproveitamento de tintas e vernizes. Este processo é usado sempre que as usinagens primárias não garantem os requisitos de qualidade. Dessa forma, são necessários mais estudos envolvendo o processo de lixamento que é muito utilizado nas indústrias madeireiras. Neste trabalho foram estudadas as influências da granulometria das lixas e do desgaste dos grãos abrasivos no lixamento plano de *Pinus elliottii* e *Corymbia citriodora*, feito paralelamente às fibras. Utilizou-se neste experimento lixas de três diferentes granulometrias - P80, P100 e P120 - cujo material é carbetto de Silício (SiC) e também três diferentes situações de desgaste do material abrasivo. A análise foi feita tomando como parâmetros potência, vibração e emissão acústica mensuradas durante o processo, além de avaliação da rugosidade das peças, para concluir se os tratamentos surtiram ou não efeito significativo. Os resultados mostraram que a granulometria das lixas influenciou em todas as variáveis de saída e o desgaste dos grãos somente não influenciou na vibração. Os testes foram feitos tomando como base a Análise de Variância e o Teste de Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

**Palavras-chave:** Lixamento plano. *Pinus elliottii*. *Corymbia citriodora*. Carbetto de Silício. Rugosidade.

## ABSTRACT

The process of sanding on wood ensures a better surface finish improving the visual aspect, the sensitive and allowing a better use of paints and varnishes. This process is used when the primary machining requirements does not guarantee quality. Thus, further studies are needed involving the sanding process that is widely used in wood industries. In this work, we studied the influence of grain size of abrasives and wear of abrasive grains in plan sanding of *Pinus elliottii* and *Corymbia citriodora*, made parallel to the fibers. Was used in this experiment three different particle size abrasives - P80, P100 and P120 - which material is silicon carbide (SiC) and also three different situations of wear of the abrasive material. The analysis was performed using as parameters power, vibration, the noise emissions measured during the process and the roughness to conclude if the treatments have produced significant effect. The results showed that the grain size of abrasives influence on all output variables and the wear of the grains just not influenced the vibration. The tests were done based on both ANOVA and Tukey's test ( $\alpha = 0.05$ ).

Keywords: Plan sanding. *Pinus elliottii*. *Corymbia citriodora*. Silicon carbide. Roughness.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Representação esquemática das interações da ferramenta abrasiva com a peça-obra. ....	22
Figura 2: Composição de uma lixa. ....	23
Figura 3: Esforço sobre o grão de lixamento x Tipo de grão abrasivo. ....	24
Figura 4: Comprimentos de medição. ....	28
Figura 5: Rugosidade média – Ra. ....	29
Figura 6: Processo de preparação dos corpos de prova. ....	31
Figura 7: Dimensões dos corpos de prova. ....	31
Figura 8: Armazenamento dos corpos de prova confeccionados. ....	31
Figura 9: Medição das dimensões dos corpos de prova. ....	32
Figura 10: Medição da massa dos corpos de prova a 12% de umidade. ....	33
Figura 11: Célula de carga modelo TBSPL. ....	34
Figura 12: Transdutor de corrente modelo TRX-I/U. ....	35
Figura 13: Amplificador de célula de carga TCA500. ....	36
Figura 14: Banco de ensaio utilizado. ....	37
Figura 15: Organograma do ensaio. ....	38
Figura 16: Medição da rugosidade com o rugosímetro TAYLOR HOBSON. ....	41
Figura 17: Desgaste dos grãos abrasivos. ....	42
Figura 18: Controle do desgaste das lixas. ....	42
Figura 19: Potência consumida no lixamento do <i>Pinus elliottii</i> . ....	45
Figura 20: Potência consumida no lixamento do <i>Corymbia citriodora</i> . ....	46
Figura 21: Teste de Tukey - Potência. ....	47

Figura 22: Emissão acústica no lixamento do <i>Pinus elliottii</i> . .....	49
Figura 23: Emissão acústica no lixamento do <i>Corymbia citriodora</i> . .....	50
Figura 24: Teste de Tukey – Emissão Acústica. ....	51
Figura 25: Vibração no lixamento do <i>Pinus elliottii</i> . .....	53
Figura 26: Vibração no lixamento do <i>Corymbia citriodora</i> . .....	54
Figura 27: Teste de Tukey – Vibração. ....	55
Figura 28: Rugosidade no lixamento do <i>Pinus elliottii</i> . .....	57
Figura 29: Rugosidade no lixamento do <i>Corymbia citriodora</i> . .....	58
Figura 30: Teste de Tukey – Rugosidade. ....	59

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Uso da lixa de papel de acordo com sua gramatura. ....	23
Tabela 2: Características técnicas da lixadeira plana. ....	34
Tabela 3: Características técnicas do transdutor de corrente TRX-I/U. ....	35
Tabela 4: Características técnicas do amplificador TCA500. ....	36
Tabela 5: Valores médios de densidade básica. ....	43
Tabela 6: Valores médios para densidade aparente. ....	43
Tabela 7: Consumo de potência ( <i>Pinus elliottii</i> ) para as variáveis estudadas. ....	45
Tabela 8: Consumo de potência ( <i>Corymbia citriodora</i> ) para as variáveis estudadas. .....	45
Tabela 9: Análise de variância para as médias de potência consumida no lixamento do <i>Pinus elliottii</i> . ....	46
Tabela 10: Análise de variância para as médias de potência consumida no lixamento do <i>Corymbia citriodora</i> . ....	46
Tabela 11: Dados de emissão acústica ( <i>Pinus elliottii</i> ) para as variáveis estudadas. .....	48
Tabela 12: Dados de emissão acústica ( <i>Corymbia citriodora</i> ) para as variáveis estudadas.....	49
Tabela 13: Análise de variância para a emissão acústica no lixamento do <i>Pinus elliottii</i> . ....	50
Tabela 14: Análise de variância para a emissão acústica no lixamento do <i>Corymbia citriodora</i> .....	51
Tabela 15: Dados de vibração ( <i>Pinus elliottii</i> ) para as variáveis estudadas. ....	52
Tabela 16: Dados de vibração ( <i>Corymbia citriodora</i> ) para as variáveis estudadas...	53

Tabela 17: Análise de variância para a emissão acústica no lixamento do <i>Pinus elliotii</i> .	54
Tabela 18: Análise de variância para a vibração no lixamento do <i>Corymbia citriodora</i> .	55
Tabela 19: Dados de rugosidade ( <i>Pinus elliotii</i> ) para as variáveis estudadas.	56
Tabela 20: Dados de rugosidade ( <i>Corymbia citriodora</i> ) para as variáveis estudadas.	57
Tabela 21: Análise de variância para a rugosidade no lixamento do <i>Pinus elliotii</i> .	58
Tabela 22: Análise de variância para a rugosidade no lixamento do <i>Corymbia citriodora</i> .	58

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	15
2.	OBJETIVOS.....	17
2.1.	Objetivo geral.....	17
2.2.	Objetivos específicos .....	17
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1.	Pinus elliottii .....	18
3.2.	Corymbia citriodora .....	19
3.3.	Usinagem da madeira .....	19
3.4.	Lixamento .....	20
3.5.	Carbeto de Silício (SiC).....	24
3.6.	Potência consumida no lixamento .....	25
3.7.	Vibração.....	26
3.8.	Emissão acústica .....	26
3.9.	Rugosidade.....	27
4.	MATERIAL E MÉTODOS .....	30
4.1.	Preparação dos corpos de prova .....	30
4.2.	Determinação da densidade aparente .....	32
4.3.	Determinação da densidade básica .....	33
4.4.	Descrição do banco de ensaios .....	34
4.5.	Procedimentos de ensaio.....	37
4.6.	Análise das variáveis de saída.....	38
4.6.1.	Potência.....	38
4.6.2.	Vibração .....	40
4.6.3.	Emissão acústica .....	40
4.6.4.	Rugosidade.....	40
4.6.5.	Desgaste dos grãos abrasivos .....	41
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	43
5.1.	Densidade aparente e densidade básica .....	43
5.2.	Potência Consumida - Resultados.....	44
5.3.	Emissão Acústica no experimento .....	48
5.4.	Vibração durante o lixamento .....	52
5.5.	Rugosidade mensurada .....	56

6.	CONCLUSÕES .....	61
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	62

## 1. INTRODUÇÃO

A madeira é um material predominantemente heterogêneo e anisotrópico, ou seja, apresenta diferentes características físicas, químicas e anatômicas entre diferentes espécies, entre uma mesma espécie e em uma mesma tora e diferentes propriedades em sua extensão, qualquer que seja a direção: axial/longitudinal, tangencial ou radial, deste modo, mesmo que utilizando peças cortadas de uma mesma árvore, cada uma terá características próprias.

Considerando que o mercado brasileiro para a indústria madeireira tem crescido bastante desde a década de 1990, o estudo das propriedades de cada espécie, assim como sua adequação ao meio em que foi inserida, e o uso racional da madeira tem sido um dos principais fatores que tem contribuído para o constante desenvolvimento tecnológico e produtivo desta área.

No Brasil, as florestas nativas têm perdido espaço para as florestas plantadas, o que acontece por diversos fatores, tanto negativos - como a exploração ilegal das florestas e consequente extinção de algumas espécies - ou por fatores geoeconômicos – como a facilidade de adaptação de espécies como o Pinus e o Eucalipto ao nosso solo e clima, ligados ao rápido crescimento dessas espécies, o que ajuda a atender à alta demanda industrial por recursos florestais.

Muitos são os processos pelos quais a madeira precisa passar para que seja obtido o produto final. Através desses processos é que se chega à qualidade desejada, ou seja, é pela escolha destes processos que será agregado valor ao produto. Um importante processo de usinagem para estabelecer a qualidade final do produto é o lixamento, que é um processo de abrasão que pode ser utilizado tanto para conferir acabamento superficial aos produtos, quanto para fazer o desbaste adequado de madeiras previamente à aplicação de produtos como tintas e revestimentos ou mesmo à aplicação de produtos para o tratamento da madeira.

Neste trabalho foi estudado o lixamento plano do *Pinus elliotii* e do *Corymbia citriodora* feito paralelamente às fibras, de modo que serão mantidas velocidade de corte e tipo de grão abrasivo (carbeto de Silício), porém variando-se a granulometria das lixas (P80, P100, 120) e o desgaste do abrasivo, a fim de analisar se estas

variáveis influenciam nos parâmetros potência consumida, emissão acústica, vibração e rugosidade média.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

O objetivo geral deste trabalho é estudar a influência da granulometria e do desgaste do material abrasivo na qualidade superficial e nos esforços de lixamento (potência, vibração e emissão acústica).

### **2.2. Objetivos específicos**

- Estudar a influência da granulometria das lixas e seu desgaste no lixamento plano do *Pinus elliottii* e do *Corymbia citriodora*, processados paralelamente às fibras, com lixas de carbetto de Silício;
- Com esse estudo, chegar a conclusões que possam contribuir para o conhecimento a respeito do processo de lixamento;
- Otimizar processos já realizados em indústrias, melhorando o uso dos recursos e promovendo economia de material, tempo e dinheiro.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. *Pinus elliottii*

Segundo Baena (1994), devido à devastação desordenada das florestas nativas brasileiras e com a crescente demanda por produtos florestais, tornou-se necessário o reflorestamento de grandes áreas territoriais, sendo atualmente responsáveis pela maior parte das espécies exóticas reflorestadas, o pinus e o eucalipto.

Para Shimizu (2009), há mais de um século várias espécies de pinus vêm sendo introduzidas ao Brasil, sendo do *Pinus canariensis*, proveniente das Ilhas Canárias, no Rio Grande do Sul, em torno de 1880 as primeiras introduções de que se tem notícia. Segundo Shimizu, por volta de 1936, foram iniciados os primeiros ensaios de introdução de pinus (com espécies européias) para fins silviculturais no Brasil, resultando em um grande fracasso pela falta de adaptação ao nosso clima.

De acordo com Ferreira (2003), o *Pinus elliottii* é uma espécie de origem estadunidense, sendo conhecido no Brasil como pinus, pinheiro ou pinheiro-americano. Entre suas principais características, tem cerne e alburno indistintos pela cor, cheiro e gosto característicos (devido principalmente resina), e em termos de trabalhabilidade, é relativamente fácil de desdobrar, aplinar, desenrolar, lixar, tornear, furar, fixar e colar. É uma madeira leve (tendo densidade básica igual a  $\rho_b = 420\text{kg/m}^3$  e sendo a 15% de umidade igual a  $\rho(ap,15) = 480\text{kg/m}^3$ ), sendo muito empregada na construção de cordões, guarnições, rodapés, forros e lambris e no Brasil muito utilizado também para a construção de móveis, tanto de madeira maciça, quanto de painéis de madeira.

### 3.2. *Corymbia citriodora*

Atualmente o eucalipto é plantado em quase todo o mundo por ser um gênero que possui espécies facilmente adaptáveis a diversas condições climáticas. A maioria das espécies plantadas no Brasil apresenta rápido crescimento, resultado da alta qualidade do material genético utilizado. A produção da madeira e de seus derivados é feita em larga escala, devido à grande demanda de madeira no mercado florestal brasileiro (MALINOVSKI, 2002).

Segundo Garcia e Mora (2000), a madeira de eucalipto é de grande versatilidade, com possibilidades de utilização em diversos segmentos, como óleos essenciais, celulose, madeira tratada, carvão vegetal e lenha, madeira serrada, painéis a base de madeira, entre outros.

Pryor e Johnson (1971) elaboraram uma chave sistemática para o eucalipto, dividindo em subgêneros dos quais pode-se destacar *Symphyomyrtus*, *Monocalyptus* e *Corymbia*. O que era conhecido como *Eucalyptus citriodora* foi rearranjado devido a diferenças taxonômicas e é agora classificado como *Corymbia citriodora*.

### 3.3. Usinagem da madeira

Usinagem de madeira é um processo de conversão da matéria-prima em um produto de valor agregado, quer alterando a sua forma geométrica, melhorando o acabamento de superfície, ou a combinação de ambos (KOCH, 1996).

Os processos de usinagem da madeira são parte integrante do valor acrescentado na indústria transformadora de produtos deste material, contribuindo com quase 23% do custo total de produção de tais produtos (HOFF *et al.*, 1997).

Em seu livro *Processamento da madeira*, Gonçalves (2000) discorre sobre os diversos fatores aos quais temos que levar em conta para determinar a capacidade que um material tem em ser usinado, ou seja, a facilidade que tem para ser

trabalhado por uma ferramenta manual ou mecânica, referindo-se a essa capacidade como “trabalhabilidade”.

Gonçalves (2000) ainda diz fatores como teor de umidade, densidade, direcionamento das fibras (referindo-se à madeira) e espessura de corte estão entre os vários fatores que interferem sobre as forças e potência de usinagem nas diferentes operações de corte da madeira, afetando o desempenho de corte das ferramentas.

Para Néri (2003), pelo fato do processamento da madeira ter operações que utilizam em alguns casos madeira verde e em outros madeira seca, é importante conhecer o comportamento da madeira em função da umidade nos processos de usinagem.

De acordo com Kollmann (1959), o cerne da madeira verde contém entre 30% e 100% de água e o alburno entre 40% e 200%, tendo como referência o peso seco, e entre 25% e 50% (cerne) e 29% e 67% (alburno), referido ao peso úmido.

Para Néri (2003), por a madeira ser um material heterogêneo, o desempenho de usinagem pode variar de espécie para espécie, apresentando melhor trabalhabilidade com maior ou menor teor de umidade conforme as características da espécie.

Para Lemaster e Beall (1996), a superfície de qualquer material se caracteriza por sua textura, que depende do processo de fabricação envolvido, da natureza do próprio material, ou de uma combinação de ambos, sendo que para determinados fins, a qualidade superficial deste material torna-se extremamente importante.

Citam ainda que a qualidade superficial é uma ferramenta para o estudo da trabalhabilidade e que os parâmetros de usinagem podem ser variados a fim de buscar a melhor qualidade superficial possível, determinando assim as características ideais para este processo.

### **3.4. Lixamento**

As peças que necessitam de lixamento, em geral, tiveram, em seu processo anterior, uma geração de material em excesso que precisa ser removido para que se

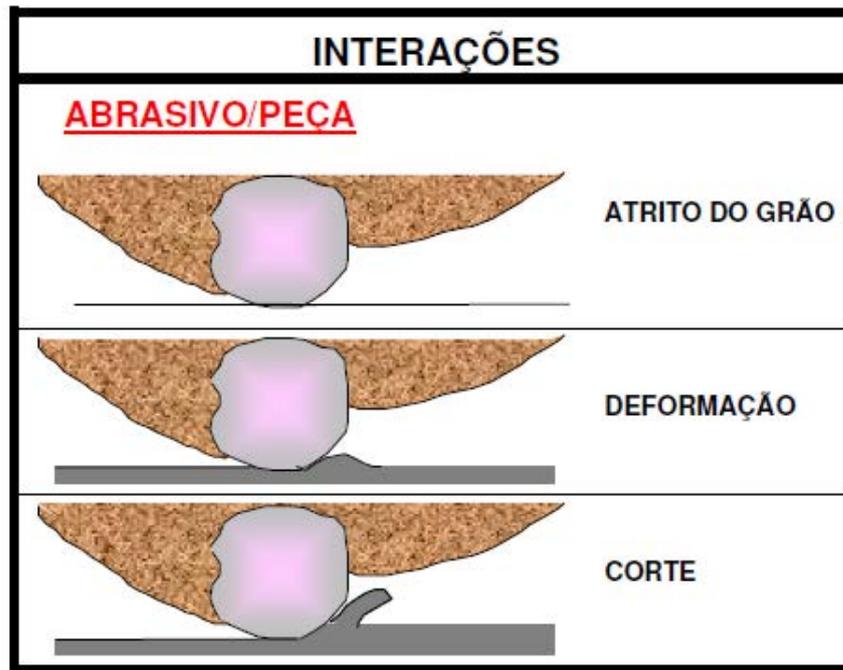
alcance a qualidade superficial adequada ou dimensionamento especificado. Um bom exemplo de situação onde as peças necessitam de um bom acabamento superficial é na fuselagem de aviões, na qual o acabamento aperfeiçoa o processo de pintura e minimiza o atrito entre o ar e a superfície da aeronave, reduzindo o consumo de combustível e o acúmulo de eletricidade estática. (GONÇALVES *et al.*,2010).

Para Koch (1964), o processo de lixamento pode ser dividido em duas etapas de trabalho: desbaste, onde os processos são realizados para preparar a madeira, reduzindo mais ou menos a aspereza superficial da peça, e acabamento, onde os processos de lixamento preparam a madeira para subsequente aplicação de materiais de acabamento.

Para Gonçalves *et al.* (2010), o mecanismo de lixamento dos materiais ocorre, em geral, em três etapas:

- O atrito do grão abrasivo com o material lixado, que gera modificação superficial na peça até a eminência do grão abrasivo cortar o material;
- A deformação, onde ocorre o deslocamento de material momento, na qual o material entra em deformação elástica e se inicia a formação do cavaco;
- O corte, processo de cisalhamento do material que se caracteriza pela capacidade do grão abrasivo interagir com o material da peça obra formando cavacos por meio do corte.

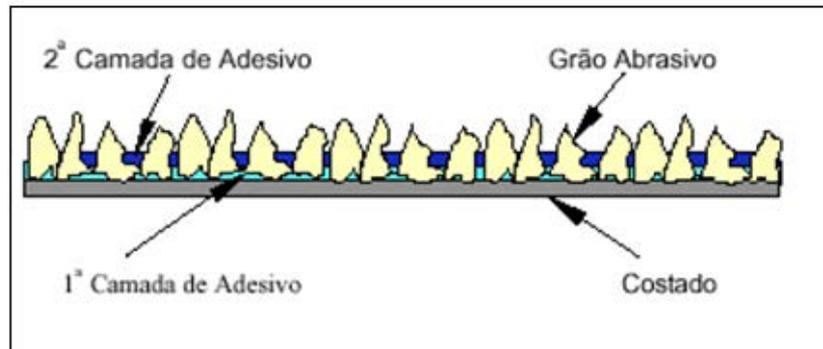
Figura 1: Representação esquemática das interações da ferramenta abrasiva com a peça-obra.



(SUBRAMANIAN, K. apud GONÇALVES *et al.*, 2010)

A norma NBR 14960 (ABNT, 2003), diz que lixas são ferramentas compostas de três partes: grãos abrasivos, costados e adesivos, definindo-as como produtos fabricados com a deposição de grãos minerais abrasivos, previamente classificados a um tamanho especificado (granulometria), sobre um costado de papel, tecido, fibra vulcanizada, filme plástico ou combinação (papel + tecido), e unidos por camadas de adesivos que são curadas para ter a forma sólida, o esquema de uma lixa pode ser visto na Figura 2.

Figura 2: Composição de uma lixa.



(ABNT, 2003)

O processo de lixamento pode ser empregado para várias finalidades, para isso, é ilustrado com a Tabela 1, a utilização das lixas de acordo com sua granulometria:

Tabela 1: Uso da lixa de papel de acordo com sua gramatura.

Gramatura	Classificação	Uso
600–500	Super fina	Polimento
400–360–320	Extra fina	Lixamento que antecede a aplicação de revestimento
280–224–220	Muito fina	Lixamento entre os cantos e último lixamento para madeiras duras
180–150	Fina	Último lixamento de madeira macia e primeiro para madeira dura
120–100–80	Média	Lixamento preliminar
60–50–40	Grossa	Remoção de tinta ou falhas grosseiras

(HAWKS, 1995)

Para Stemmer (1992) apud Santiago (2011), as dimensões e a uniformidade dos grãos são características importantes do processo de usinagem com abrasivos. Segundo o autor, a norma mais utilizada para padronização dos grãos é a ANSI, que especifica o tamanho dos grãos em “mesh”, sendo este correspondente ao número

de fios por plegada linear da peneira onde os grãos ficam retidos no processo de seleção. Deste modo, pode-se dizer que quanto maior a granulometria empregada, menores os grãos abrasivos.

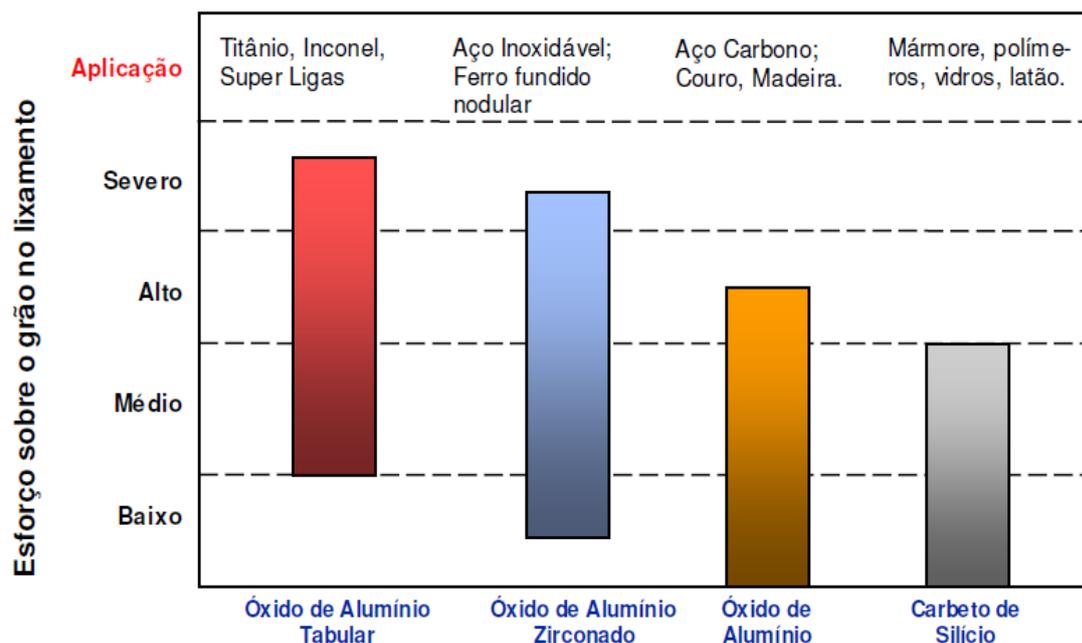
De acordo com Bianchi *et al.* (1999), a usinagem por abrasão é o processo responsável por melhorar o acabamento de peças, fundamentado pela abrasão de grãos que são fixados por um ligante.

### 3.5. Carbeto de Silício (SiC)

De acordo com Gonçalves (2012), o carbeto de Silício é um material de elevada dureza (Knoop) e friabilidade (facilidade dos grãos em se fraturarem em pedaços, possibilitando a existência constante de arestas cortantes sobre a superfície da lixa), sendo geralmente recomendado para usinagens de materiais não metálicos ou de baixa resistência mecânica.

Na Figura 3, ilustra-se a finalidade de trabalho para diversos grãos abrasivos, relacionando-se aos esforços a que podem ser submetidos.

Figura 3: Esforço sobre o grão de lixamento x Tipo de grão abrasivo.



(MALKIN, 1989)

O Óxido de Alumínio ( $Al_2O_3$ ) é geralmente mais utilizado para o lixamento de madeiras devido à sua boa relação entre resistência, dureza e afiação.

A elevada friabilidade dos grãos de SiC faz com que seu principal mecanismo de abrasão seja o corte por arestas agudas, portanto seu desempenho é mais adequado em materiais dúcteis e de menor dureza, como alumínio e madeira (GONÇALVES, 2012).

### **3.6. Potência consumida no lixamento**

O nível de remoção de material de uma determinada peça pode ser diretamente associado ao consumo de potência do equipamento (GONÇALVES *et al.*, 2010).

O sensor de potência mede a potência consumida pelo motor ou a variação de frequência do motor, onde sua medição consiste em medir a corrente e da tensão do motor. Devido à fácil instalação em equipamentos, os sensores de potência são usados em grande escala no monitoramento de equipamentos de usinagem (JEMIELNIAK, 1999).

Há diversas maneiras de mensurar a potência de corte de um equipamento. Na usinagem com metais é comum a instrumentação dos processos de usinagem, enquanto que nos processos de usinagem de madeiras, é mais recente o emprego da instrumentação. Santini (2000) estabeleceu um índice de desempenho com relação ao consumo de energia por volume de produção, fazendo medições do consumo de potência durante operação de desdobro de toras de pinus, mais precisamente, em operação de serramento por serra de fita. O processo foi instrumentado pela conexão de um medidor tipo alicate (portátil) diretamente no painel de distribuição de energia elétrica da serra de fita. O medidor foi ligado em um sistema de aquisição de dados computadorizado que registrou em tempo real valores de diversas variáveis de saída, como tensão, corrente contínua, frequência, fator de potência, potência ativa e potência aparente. Para aquisição e armazenamento dos dados foi utilizado um software específico.

Para a medição do consumo de potência em seu trabalho, Gonçalves *et al.* (2006), instrumentou o equipamento de usinagem com aparelho de controle

eletrônico microprocessado, indicado para medição e registro de grandezas da rede elétrica que alimenta a máquina. O medidor de grandezas elétricas utilizado realizou a medição direta de corrente por plugs ou por alicate tipo TC (transformador de corrente), registrando valores de potência ativa e reativa, tensão, corrente e frequência, por fase e trifásica.

### **3.7. Vibração**

Para Souza (2011), vibração é o estudo do movimento de oscilação de um corpo em torno de uma posição de equilíbrio, assim como das forças a ele associadas, podendo ser quantificada de acordo com seu movimento ondulatório (deslocamento, velocidade, aceleração). Para que haja vibração é necessário que seja armazenada energia cinética e que o corpo rígido tenha certa elasticidade, respondendo assim ao estímulo de uma fonte.

Para Zacarias (2012), a vibração é um parâmetro de usinagem que pode estar relacionada ao desgaste de ferramentas de corte e falhas de componentes de máquinas, que ocorre devido a variação de forças dinâmicas.

Para Alves *et al.* (2009), através da análise de vibrações pode-se detectar desgaste de ferramentas, queima em peças, condição de lubrificação, entre outros.

### **3.8. Emissão acústica**

Para Reddy (2010), a emissão acústica (EA) se refere às ondas de tensão geradas por processos dinâmicos no material, cuja energia liberada pode ser mensurada por um transdutor de alta sensibilidade.

Segundo Mechefske *et al.* (2002), o estudo dos fenômenos de desgaste pelo monitoramento da emissão acústica tem uma grande correlação, sendo as emissões acústicas geradas em um material que está sendo usinado, provendo assim indicações do estado físico da peça. As EA podem ser vistas como uma descrição

do processo, que é mais estreitamente relacionado com o processo de estrutura do material ou características de sua geometria. As características do sinal de EA, tais como a frequência, amplitude, entre outras, são determinadas pelas propriedades do material.

De acordo com Alves (2007) apud Webster (1996), uma das melhores formas de se monitorar o sinal de emissão acústica é pelo seu valor RMS (valor quadrático médio), o qual é um valor retificado do sinal de EA em intervalos de tempo determinado, e vem sendo amplamente utilizado com sucesso para monitoramento de diversos problemas de retificação.

### **3.9. Rugosidade**

Apesar das vantagens da madeira como material de engenharia serem inquestionáveis, a fabricação de produtos de madeira de primeira qualidade é sempre um desafio. Diferentes elementos anatômicos são cortados pela ferramenta durante a usinagem, criando assim, superfícies muito complexas. Além disso, fatores como a anisotropia da madeira, densidade, umidade, juntamente com a cinemática do processo de corte, condições da máquina e outras variáveis aumentam a complexidade da superfície de madeira (SANDAK *et al.*, 2005).

A qualidade da superfície de madeira tem da sua forte influência em seus processos de fabrico, tais como o adesivo de juntas e acabamento. A qualidade da superfície resultante do processo de usinagem da madeira é afetada pela interação entre as características da peça, parâmetros de máquina e os fatores de ferramenta (KILIC *et al.*, 2005).

Segundo Gurau *et al.* (2005), madeiras lixadas possuem em suas superfícies diversas irregularidades causadas pelo processo de lixamento e pela anatomia da madeira, ou seja, rugosidade anatômica, que independe de qualquer operação de usinagem.

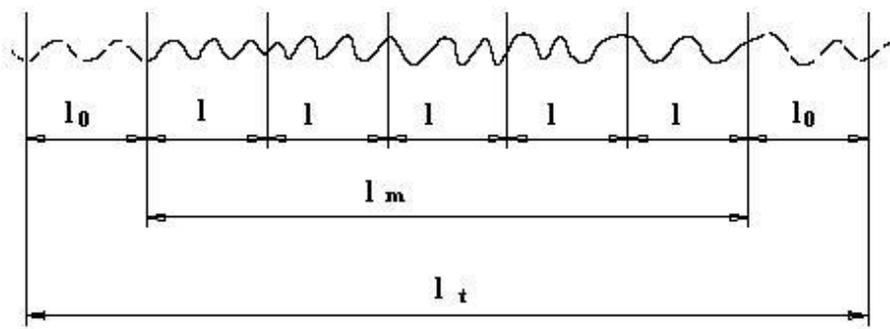
Segundo Siqueira (2003), a rugosidade pode ser definida como os desvios apresentados em uma superfície, tendo frequências periódicas e aperiódicas, produzidas diretamente pelo contato da ferramenta de corte sobre a superfície da

peça sofrendo uma influência sobre o tipo de formação do cavaco. Já as ondulações são desvios predominantemente periódicos, que surgem devido à fixação fora de centro, batimento no processo de usinagem ou por vibrações nas máquinas, ferramentas ou peças.

Para Carpinetti (2000), rugosidades caracterizam-se pelas microirregularidades geométricas da superfície do material usinado. A rugosidade consiste basicamente de marcas regulares oriundas do perfil da ferramenta combinada a outras irregularidades, podendo ser variáveis conforme o material e o tipo de ferramenta utilizada.

Para medir a rugosidade, através de rugosímetros, primeiramente é preciso determinar o comprimento de amostragem " $l_t$ ", como mostrado na Figura 4. Entretanto, a medição da rugosidade é feita sobre um trecho menor, " $l_m$ ", depois de ter eliminado o segmento inicial e final, " $l_0$ ", que possuem um erro devido à aceleração e desaceleração da agulha. Finalmente o comprimento de amostragem corresponde a segmentos dentro do comprimento de medição, " $l$ " (CARPINETTI *et al.*, 1996).

Figura 4: Comprimentos de medição.



(Carpinetti *et al.*, 1996)

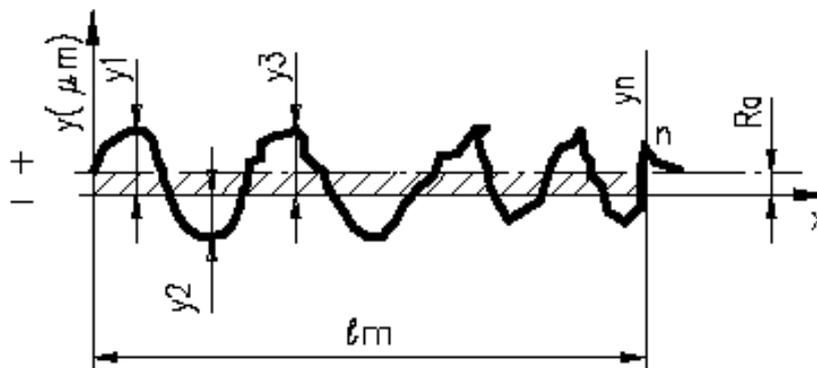
Carpinetti *et al.* (1996) afirmam, ainda, que a rugosidade média, expressa pelo parâmetro  $R_a$ , como mostrado na Figura 5, é definida como a amplitude média do perfil em relação à linha de referência sobre um comprimento do perfil correspondente à cada comprimento amostral considerado. Matematicamente, a rugosidade média ( $R_a$ ) pode ser expressa pela Equação 1, que segue:

$$R_a = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n y_i \quad (1)$$

$\sum y_i$  é a somatória de todos os pontos discretos (picos ou vales) ao longo do perfil;

$n$  é o número de pontos ao longo do perfil.

Figura 5: Rugosidade média – Ra.



(Carpinetti *et al.*, 1996)

A quantificação da rugosidade é feita pelos parâmetros de altura e largura das irregularidades. Sua magnitude está diretamente relacionada ao coeficiente de atrito, desgaste, lubrificação, transmissão de calor, resistência mecânica, rigidez do equipamento, a velocidade de remoção, entre outros fatores (WINTER, 2004).

Segundo Kilic *et al.* (2006), apesar da rugosidade da superfície da madeira ser facilmente determinada em termos técnicos, não há uma metodologia padrão estabelecida. Experimentalmente diversos métodos são utilizados, mas industrialmente são empregados poucos métodos. Dentre os métodos utilizados em pesquisas tem-se a perfilometria óptica, análise de imagens técnicas usando uma câmera de vídeo, pneumática, ultra-som e microscopia.

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1. Preparação dos corpos de prova**

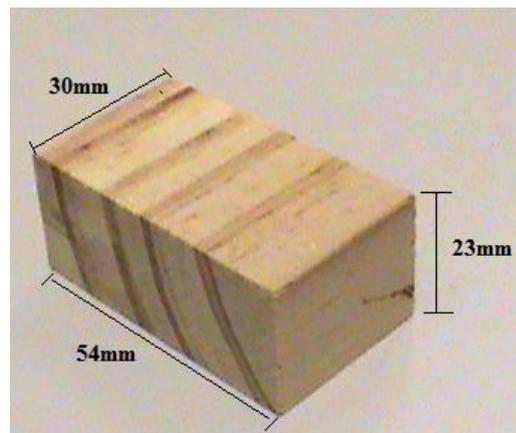
Os corpos de prova foram fabricados no Laboratório de Processamento da Madeira no Campus Experimental da UNESP de Itapeva. As condições de preparação dos corpos de prova foram idênticas de maneira a não influenciar no processo de lixamento.

Após a preparação do desdobro inicial, as peças com dimensões de 1000 x 30 x 60 mm foram aplainadas em duas faces de referência em uma plaina da marca ROCCO modelo PMS 350, reduzidas nas dimensões (largura e espessura) em uma desgrossadeira da marca BALDAN modelo DGR4 e cortadas em uma esquadrejadeira da marca VERRY modelo LIFE nas dimensões finais, a Figura 6 mostra os processos de usinagem realizados na segunda etapa. Os corpos de prova foram preparados para que o lixamento procedesse na direção paralela às fibras com os planos de corte (tangencial e radial) aleatoriamente distribuídos. Preparou-se um total de 54 corpos de prova para cada espécie ensaiada, os quais foram enumerados e devidamente climatizados de acordo com a norma NBR 07190/1997 para “classe de umidade 1 - 12%UE” em uma câmara climática da marca TECNAL modelo TE 4001. As dimensões finais dos corpos de prova foram 30 x 54 x 23 mm (Figura 7).

Figura 6: Processo de preparação dos corpos de prova.



Figura 7: Dimensões dos corpos de prova.



Após a climatização dos corpos de prova, os mesmos foram acondicionados em sacos de polietileno e lacrados para não ocorrer variação da umidade (Figura 8).

Figura 8: Armazenamento dos corpos de prova confeccionados.



## 4.2. Determinação da densidade aparente

Para a determinação da densidade aparente, foram medidas as dimensões dos corpos de prova com um paquímetro da marca Mitutoyo com precisão de 0,05mm (Figura 9), com a finalidade de calcular o volume das peças, e então a massa (a 12% de umidade) foi mensurada em uma balança com precisão de 0,01g (Figura 10). Deste modo, foram seguidas as recomendações da norma NBR 7190 e utilizou-se a Equação 2 para determinar a densidade aparente.

$$D_{ap(12\%)} = \frac{m_{12\%}}{V_{12\%}} \quad (2)$$

$D_{ap(12\%)}$  = densidade da madeira a 12% de umidade,  $\text{kg.m}^{-3}$ ;

$m_{12\%}$  = massa de amostra a 12% de umidade, em kg;

$V_{12\%}$  = volume da amostra a 12% de umidade, em  $\text{m}^3$ .

Figura 9: Medição das dimensões dos corpos de prova.



Figura 10: Medição da massa dos corpos de prova a 12% de umidade.



### 4.3. Determinação da densidade básica

Seguindo-se a norma NBR 7190, utilizamos o método da balança hidrostática para determinar a densidade básica das madeiras de pinus e corymbia.

A densidade básica é uma relação entre a massa de uma amostra seca em estufa e seu volume saturado. Para chegar à saturação os corpos de prova foram imersos em um recipiente com água, aonde através de uma pressão negativa gerada por fluxo de ar era gerado vácuo, aumentando a pressão interna do recipiente a fim de agilizar o processo de saturação. Para saber se os corpos de prova estavam saturados, era feita a medição de sua massa a cada 6h, até o momento em que a diferença entre os valores seja menor ou igual a 0,5%. A etapa seguinte foi colocá-los em estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  até secar (obedecendo o mesmo procedimento da saturação).

A densidade básica foi determinada pela Equação 3.

$$Db = \frac{ms}{mv-mi} \times Da \quad (3)$$

**Db** = densidade básica,  $\text{kg.m}^{-3}$ ;

**ms** = massa de amostra seca, em kg;

**mv** = massa de amostra saturada em água, em kg;

$m_i$  = massa de amostra saturada imersa em água, em kg;

$D_a$  = densidade a água a 25°C.

#### 4.4. Descrição do banco de ensaios

O banco de ensaio é composto por uma lixadeira plana com um suporte adaptado para fixação do corpo de prova e adição de massas para pressão, exaustor para captação do pó, sistema de monitoramento e aquisição de dados composto por um painel de controle, sensores, transdutores, microcomputadores, placas, conectores, cabos e software para aquisição e manipulação dos dados.

Lixadeira plana da marca BALDAN<sup>®</sup>, modelo LFH-2. A Tabela 2 descreve as características técnicas da lixadeira plana.

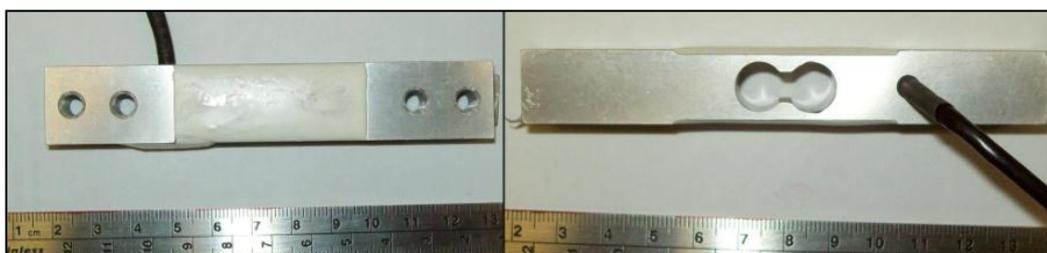
Tabela 2: Características técnicas da lixadeira plana.

Características técnicas do equipamento	
Potência do motor	1 CV
Peso líquido aproximado	78 kg

O sistema de monitoramento e aquisição de dados é composto pelos seguintes componentes:

- Célula de carga para captação da força de lixamento da marca BERMAN load cells<sup>®</sup>, modelo TBSPL com capacidade de 25 kg. A Figura 11 mostra o formato da célula.

Figura 11: Célula de carga modelo TBSPL.

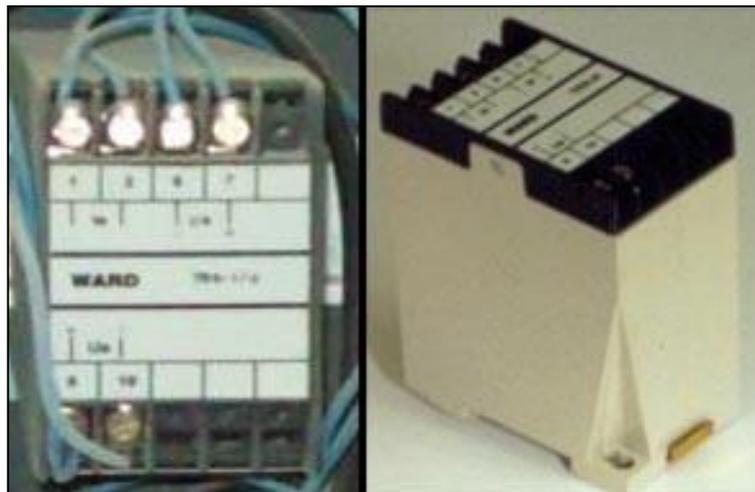


- Transdutor de corrente alternada monofásico para captação da potência consumida do motor durante o lixamento, marca WARD modelo TRX-I/U. Na Tabela 3 são apresentas algumas características técnicas do transdutor de corrente alternada. Figura 12 mostra o transdutor de corrente.

Tabela 3: Características técnicas do transdutor de corrente TRX-I/U.

<b>Características técnicas</b>	
Tensão de alimentação	24 VCC
Corrente de saída	0 – 20 mA
Tensão de saída	0 – 10VCC

Figura 12: Transdutor de corrente modelo TRX-I/U



- Amplificador da célula de carga, tem a função de receber o sinal elétrico da célula de carga e amplificá-lo para um valor em voltagem proporcional a deformação da célula, marca BITEC, modelo TCA500. A Tabela 4 apresenta algumas características técnicas do amplificador da célula. Figura 13 mostra o amplificador da célula de carga.

Tabela 4: Características técnicas do amplificador TCA500.

Características técnicas	
Dimensões	23 x 110 x75 mm
Tensão de alimentação	24 VCC
Tensão de entrada	0 – 100 mV
Tensão de saída	0 – 10 VCC

Figura 13: Amplificador de célula de carga TCA500



- Placa de aquisição de dados, marca National Instruments, modelo NI PCI 6220. A placa de aquisição de dados tem a função de receber os sinais analógicos dos sensores e transformá-los em sinais digitais para ser interpretado pelo software no microcomputador. O software utilizado para captação dos dados adquiridos pelos sensores foi feito no programa LabView<sup>®</sup> 7.1 da National Instruments, onde foi elaborado um programa para adquirir os dados com uma taxa de aquisição de 400 pontos por segundo em forma de matriz salvando em arquivo de texto.

Além dos componentes citados acima, o sistema de monitoramento e aquisição de dados possui dois microcomputadores para processamento e armazenamento dos dados, uma fonte variável 0 - 30 VCC, com três saídas independentes da marca MINIPA, modelo MPL3303 para alimentação dos módulos de vibração e emissão acústica, e um painel elétrico para acionamento da lixadeira e controle do sistema de aquisição, onde nesse painel existe um inversor de frequência da marca WEG<sup>®</sup> modelo  $\mu$ line com tensão de alimentação de 380 V e 3A, para o controle da velocidade da lixadeira, além disso, o painel possui uma fonte de

alimentação da marca Siemens com entrada 110-220 VAC com saída de 24 VCC para alimentação do amplificador da célula de carga e do transdutor de corrente.

Na Figura 14 é mostrado o banco de ensaio utilizado.

Figura 14: Banco de ensaio utilizado.

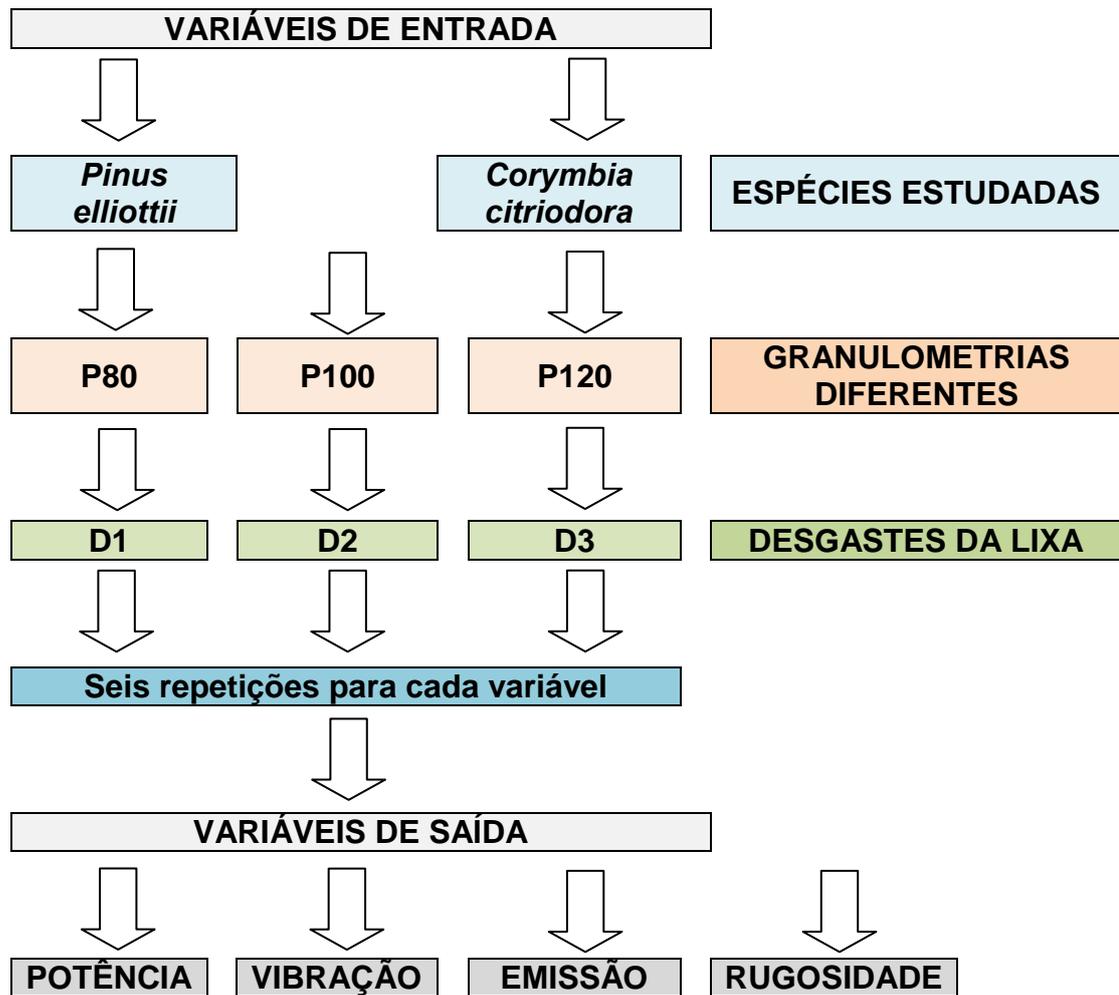


As lixas utilizadas no experimento foram climatizadas e acondicionadas de acordo com a norma NBR 14960/2003. Colocaram-se as lixas em um armário devidamente climatizado para que se pudessem atender as condições ideais que correspondem: 40 – 50% de umidade relativa com 15 – 29°C de temperatura ambiente. O abrasivo utilizado no experimento foi o carbeto de silício. As granulometria aplicadas foram P80, P100 e P120 e o fabricante da lixa corresponde à empresa NORTON abrasivos.

#### 4.5. Procedimentos de ensaio

A Figura 15 ilustra o organograma adotado para este experimento.

Figura 15: Organograma do ensaio.



## 4.6. Análise das variáveis de saída

### 4.6.1. Potência

A potência consumida foi calculada através de um transdutor de corrente alternada conforme já descrito, que em função da corrente elétrica alternada de uma das fases do motor gera uma saída proporcional de 0 a 10 Volts correntes continua (VCC) que é armazenada pelo microcomputador, onde através da Equação 4 o sinal adquirido (em VCC) a uma taxa de 400 pontos por segundo foi transformado na unidade de potência (Watts) através da Equação 4.

$$P_c = I \times U_f \times F_p \times \sqrt{3} \quad (4)$$

$P_c$  = potência consumida, em Watts;

$I$  = corrente alternada de uma das fases, em Ampéres;

$U_f$  = Tensão de uma das fases, em Volts;

$F_p$  = Fator de potência.

Como o sinal adquirido pelo sistema tem uma saída proporcional em Volts foi necessário converter o valor de Volts para Ampéres para que se possa aplicar esse valor na Equação 4. O fabricante do transdutor de corrente alternada fornece essa equação para a transformação do dado adquirido em Volts para Ampéres de acordo com a Equação 5.

$$I = \frac{U_{cc}}{2} \quad (5)$$

$I$  = corrente de uma das fases, em Ampéres;

$U_{cc}$  = Tensão de corrente contínua, em Volts.

Substituindo o valor da corrente, o valor da tensão de fase do motor da lixadeira (220 V) e o fator de potência (0,92) do motor na Equação 4, têm-se a Equação 6, que foi utilizada para transformar o sinal adquirido em Volts para potência consumida em Watts.

$$P_c = \frac{U_{cc} * 0,92 * 200 * \sqrt{3}}{2} \quad (6)$$

### 4.6.2. Vibração

Para a captação da vibração foi utilizado um sensor de vibração da marca Vibro Control modelo TV-100. O sensor foi ligado a placa de aquisição de dados de forma que todos os dados coletados durante o ensaio fossem armazenados para posterior tratamento dos dados.

Os valores obtidos em VCC foram convertidos depois para valores de velocidade em mm/s através da Equação 7.

$$V = \frac{25xV_{cc}}{8} \quad (7)$$

### 4.6.3. Emissão acústica

Para captação da emissão acústica foi utilizado o módulo de emissão acústica que é composto por um sensor (piezoelétrico) e um amplificador de sinal. O sinal que saí do amplificador corresponde a um valor quadrático médio (RMS) o qual é um valor retificado do sinal de emissão acústica em intervalos de tempo, e vem sendo amplamente utilizado com sucesso para monitoramento de diversos processos (WEBSTER *et al.*, 1996). Esse sinal elétrico retificado corresponde à unidade VCC e é amplamente empregado nessa grandeza para expressar a emissão acústica, não havendo transformações para outras unidades.

### 4.6.4. Rugosidade

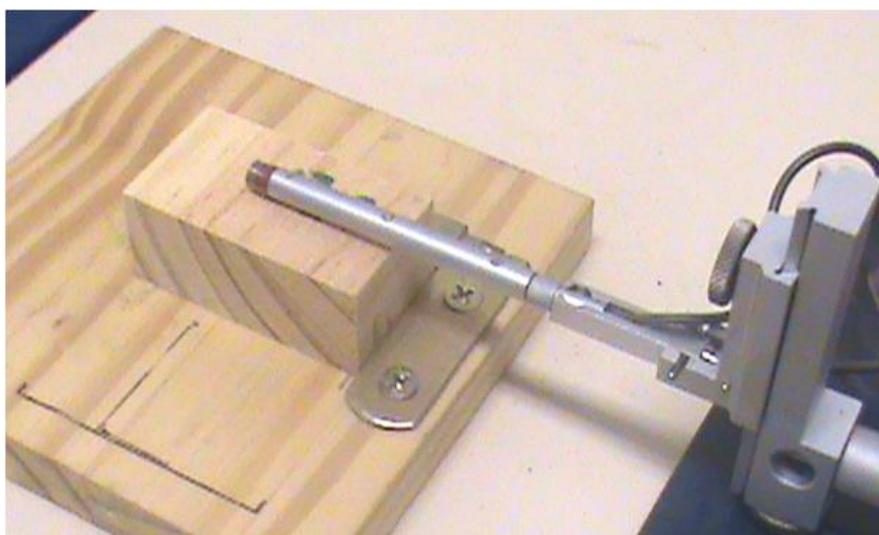
O parâmetro de rugosidade utilizado foi o valor médio “Ra”, por melhor se ajustar aos estudos de acabamento superficial de madeiras, devido a anatomia,

conforme se constatou na revisão da literatura. O comprimento de amostragem adotado foi de 2,5 mm (cut-off), segundo valor sugerido pela ABNT 6405/1988. O percurso de medição ( $l_m$ ) para cut-off 2,5 mm é de 12,5 mm, resultando na média de 5 valores adquiridos por medição. O range adotado no rugosímetro foi de 300  $\mu\text{m}$  e o filtro adotado foi o Gaussiano Robusto.

Após os ensaios foram então feitas 6 medições por corpo de prova, a partir das quais foram feitas as análises estatísticas.

Para medição da rugosidade superficial utilizou-se um rugosímetro da marca TAYLOR HOBSON, modelo Surtronic 25+, de haste de medição com ponta apalpadora cone-esférico de diamante, raio de ponta de 2  $\mu\text{m}$  (Figura 16).

Figura 16: Medição da rugosidade com o rugosímetro TAYLOR HOBSON.



#### 4.6.5. Desgaste dos grãos abrasivos

Neste experimento foram estudados os resultados para três diferentes condições, sendo estas denominadas D1, D2 e D3.

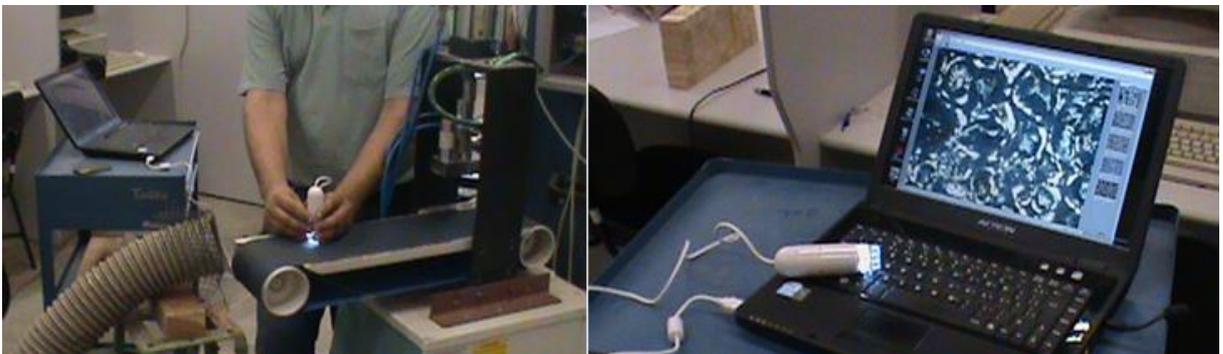
O desgaste dos grãos abrasivos não teve embasamento teórico, mas sim empírico, de modo que D1 corresponde à lixa nova enquanto D2 e D3 correspondem a diferentes níveis de desgaste desta lixa.

O desgaste foi feito com uma peça metálica (Figura) e a condição da lixa foi acompanhada por um microscópio (Figura), de modo que arbitrariamente definimos quais seriam as condições de desgaste.

Figura 17: Desgaste dos grãos abrasivos.



Figura 18: Controle do desgaste das lixas



Após a análise com microscópio, definimos D2 como sendo a lixa desgastada pela barra metálica durante quatro minutos, ininterruptamente e D3 como a lixa desgastada durante oito minutos, ou seja, quatro a mais do que D2.

Vale ressaltar que o operador não exerceu pressão alguma sobre a barra metálica, sendo o único peso atuante o de duas barras de ferro que eram colocadas no interior da peça utilizada.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. Densidade aparente e densidade básica

Nas Tabelas 5 e 6 estão expressos os valores médios, com respectivos desvios padrões, para os valores de densidade das peças.

Tabela 5: Valores médios de densidade básica.

	Densidade Básica (kg/m <sup>3</sup> )	Desvio Padrão (kg/m <sup>3</sup> )
<i>Pinus elliottii</i>	355.91	64.07
<i>Corymbia citriodora</i>	801.17	51.43

Com os dados da Tabela ,pode-se comparar os valores com a literatura para então confirmar que a densidade está de acordo com o esperado. Segundo dados do IPT, a densidade do *Pinus elliottii* deve ser próxima a 400 kg/m<sup>3</sup>, e segundo Ferreira (2003), 420 kg/m<sup>3</sup>. Enquanto para o *Corymbia citriodora* era esperado 867 kg/m<sup>3</sup>, de acordo com Ferreira.

Com relação à densidade do pinus ter sido um pouco abaixo do normal, pode-se explicar pelo alto teor de lenho inicial (madeira de menor densidade) nos corpos de prova utilizados.

Tabela 6: Valores médios para densidade aparente.

	Densidade Aparente(kg/m <sup>3</sup> )	Desvio Padrão (kg/m <sup>3</sup> )
<i>Pinus elliottii</i>	463,83	59,30
<i>Corymbia citriodora</i>	1020,51	63,31

Com relação à densidade aparente, o esperado (segundo dados do IPT) era para *Corymbia citriodora* 1040 kg/m<sup>3</sup> e para *Pinus elliottii* 480 kg/m<sup>3</sup>, portanto os valores obtidos são perfeitamente aceitáveis.

## 5.2. Potência Consumida - Resultados

Os dados resultantes desta parte do experimento (Tabelas 7 e 8) serão interpretados a seguir, porém convém fazer uma breve explanação sobre como os dados foram tratados, para posteriormente exibir as tabelas com os resultados. Partindo dos dados já mensurados, foi feita a análise de variância (ANOVA) a fim de identificar se os fatores granulometria e desgaste dos grãos abrasivos são fatores que influenciam no processo de lixamento (de acordo com as variáveis de saída estudadas neste trabalho). A análise foi feita tomando-se como hipótese nula (H<sub>0</sub>) que as médias não diferem com a variação dos fatores, mostrando que eles não são significativos, e com a hipótese alternativa (H<sub>1</sub>), que as médias diferem, logo, os fatores são significativos.

Após a análise de variância, quando os fatores foram dados como significativos, foi então realizado o Teste de Tukey, comparando as médias e desde modo identificando quais foram os fatores que variaram realmente. A análise de variância e o Teste de Tukey foram feitos com grau de confiança de 95% ( $\alpha=0,05$ ).

O resultado do Teste de Tukey será exibido em gráficos comparativos entre pinus e corymbia, de modo que os gráficos em azul (sempre à esquerda) serão sempre referentes ao pinus e os gráficos em verde (sempre à direita) serão referentes ao corymbia.

Tabela 7: Consumo de potência (*Pinus elliottii*) para as variáveis estudadas.

Granulometria	Desgaste			
		D1	D2	D3
P80	Média (W)	658,68	630,73	670,30
	DP (W)	53,00	29,27	47,91
P100	Média (W)	693,16	731,43	734,29
	DP (W)	41,28	59,32	25,22
P120	Média (W)	728,16	665,16	728,51
	DP (W)	54,40	41,83	70,82

Tabela 8: Consumo de potência (*Corymbia citriodora*) para as variáveis estudadas.

Granulometria	Desgaste			
		D1	D2	D3
P80	Média (W)	637,19	673,00	742,97
	DP (W)	28,06	45,26	56,67
P100	Média (W)	640,05	640,51	681,74
	DP (W)	27,57	37,61	28,24
P120	Média (W)	698,10	701,60	664,18
	DP (W)	40,16	27,62	45,22

Os dados das Tabelas 7 e 8 podem ser vistos também nas Figuras 19 e 20.

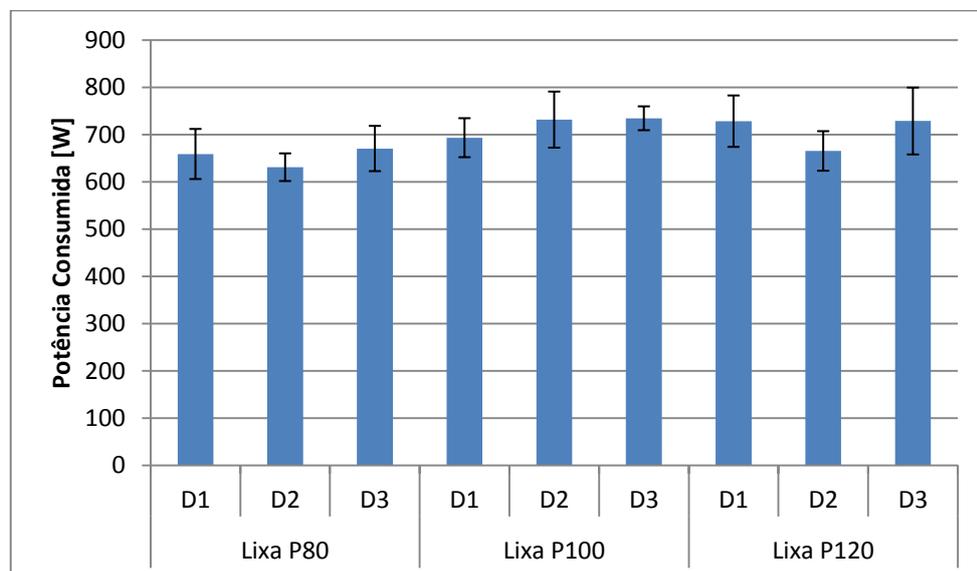
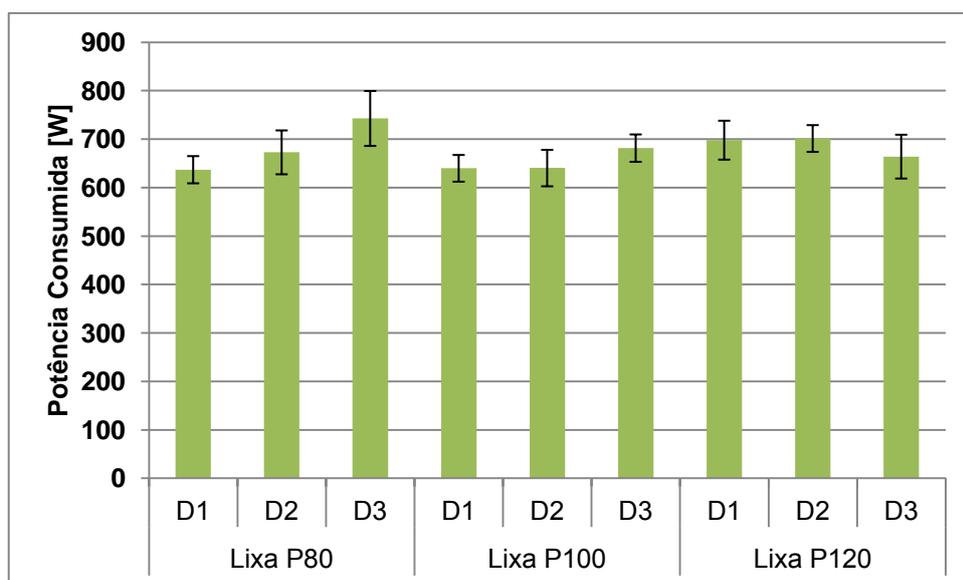
Figura 19: Potência consumida no lixamento do *Pinus elliottii*.

Figura 20: Potência consumida no lixamento do *Corymbia citriodora*.



Observando-se estas figuras, aparentemente não se pode notar nenhuma tendência significativa, porém, as conclusões estatísticas a seguir irão demonstrar que, com 95% de confiança, há interação entre estas variáveis.

Nas Tabelas 9 e 10, são mostrados os resultados da análise de variância considerando os dados da potência consumida durante o lixamento.

Tabela 9: Análise de variância para as médias de potência consumida no lixamento do *Pinus elliottii*.

Fatores	gl	F	valor-P	F crítico
Granulometria	2	9,37	0,000395	3,20
Desgaste	2	2,34	0,108257	3,20
Granulometria x Desgaste	4	1,68	0,171758	2,58

Tabela 10: Análise de variância para as médias de potência consumida no lixamento do *Corymbia citriodora*.

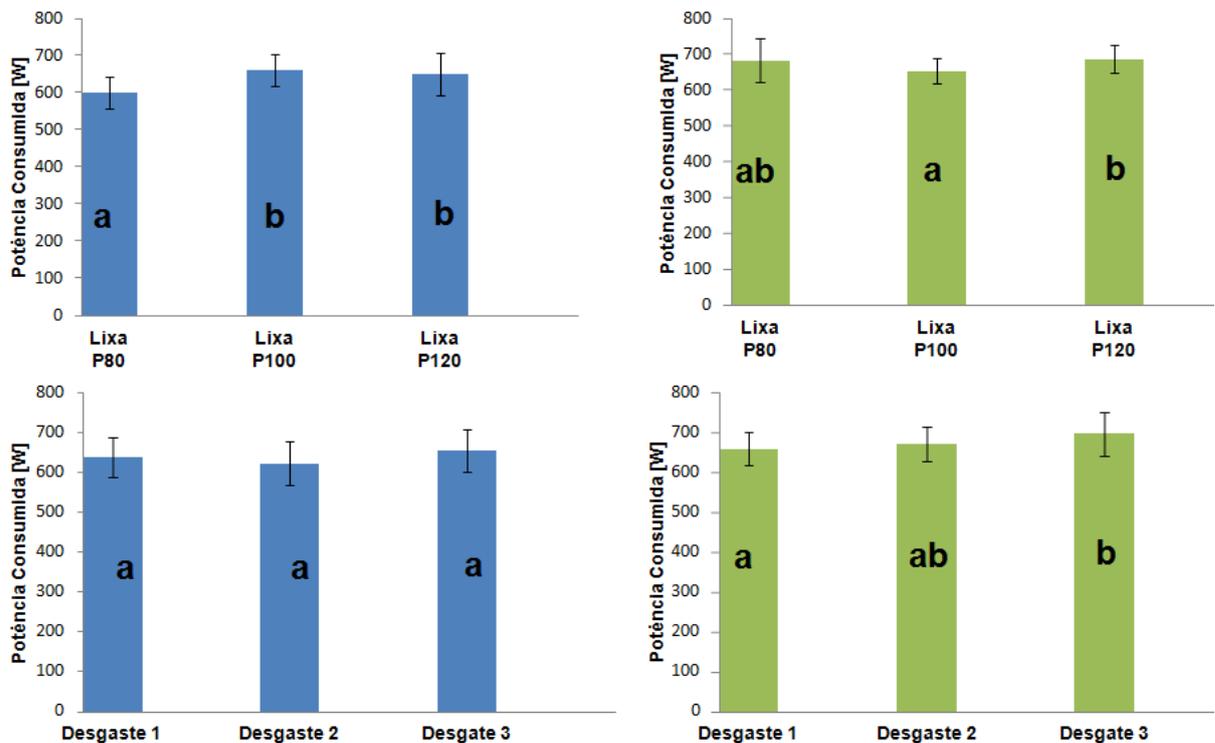
Fatores	gl	F	valor-P	F crítico
Granulometria	2	4,17	0,021784	3,20
Desgaste	2	4,45	0,017295	3,20
Granulometria x Desgaste	4	5,60	0,000955	2,58

A partir disso, pode-se notar que, baseado no grau de confiança adotado, somente o fator granulometria foi significativo para esta variável do experimento.

Com os resultados dos testes, foi elaborado o gráfico a seguir (Figura 21), que compara as médias (Teste de Tukey) e auxiliam na exibição dos resultados.

A interpretação para estes gráficos funciona considerando que quando as letras colocadas no centro dos gráficos forem iguais, as médias não diferem e quando as letras forem diferentes, as médias também são consideradas diferentes (isto só vale para um mesmo gráfico).

Figura 21: Teste de Tukey - Potência.



Deste modo, interpreta-se este gráfico dizendo que o consumo de potência para pinus, quando utilizada a lixa P80, foi diferente do consumo das demais, porém não houve diferença entre o consumo quando se utilizou as lixas P100 e P120. Outro ponto a observar é a tendência para que haja maior consumo de potência quando a granulometria for maior.

Nota-se também, que para o corymbia o consumo foi diferente comparando-se as lixas de granulometrias P100 e P120, de modo que houve um aumento da

potência. Porém a lixa P80, que precede ambas teve um consumo intermediário, não diferindo de nenhum dos outros dois.

Uma possível explicação é que grãos maiores usinam a madeira com maior facilidade, além de que lixas com maior granulometria (maior número de grão, porém de menor tamanho) tem mais grãos atuando sobre a peça ao mesmo tempo, de modo que é necessária maior força para remover material, estando esse fator diretamente ligado à potência.

Em relação às médias das potências consumidas (pinus) quando houve variação no desgaste das lixas, a Figura 21 mostra que as médias não diferiram entre si. Nota-se que houve variação no consumo de potência (corymbia) quando comparadas as médias para o Desgaste 1 e Desgaste 3, havendo assim uma tendência ao aumento da potência. Atribuímos esse comportamento ao desgaste das arestas cortantes, o que pode dificultar o lixamento e exigir maior força para a retirada de material, aumentando o consumo de potência.

### 5.3. Emissão Acústica no experimento

Os valores dos resultados dos dados para a emissão acústica são dados RMS (Root Mean Square), que é correspondente ao VCC (volts em corrente contínua).

Nas Tabelas 11 e 12 são exibidos os dados referentes à emissão acústica.

Tabela 11: Dados de emissão acústica (*Pinus elliottii*) para as variáveis estudadas.

Granulometria	Desgaste			
		D1	D2	D3
P80	Média (RMS)	5,75	5,59	5,02
	DP (RMS)	0,95	0,63	0,05
P100	Média (RMS)	4,67	5,23	4,73
	DP (RMS)	0,10	0,60	0,50
P120	Média (RMS)	7,24	7,86	10,00
	DP (RMS)	0,79	1,09	0,69

Tabela 12: Dados de emissão acústica (*Corymbia citriodora*) para as variáveis estudadas.

Granulometria	Desgaste			
	D1	D2	D3	
P80	Média (RMS)	4,87	5,07	4,72
	DP (RMS)	0,06	0,74	0,07
P100	Média (RMS)	4,82	4,50	4,56
	DP (RMS)	0,68	0,09	0,10
P120	Média (RMS)	5,53	8,76	9,37
	DP (RMS)	0,63	1,09	1,18

Estes dados são mostrados nas Figuras 22 e 23, de modo que se possa observar melhor a tendência dos resultados.

Figura 22: Emissão acústica no lixamento do *Pinus elliottii*.

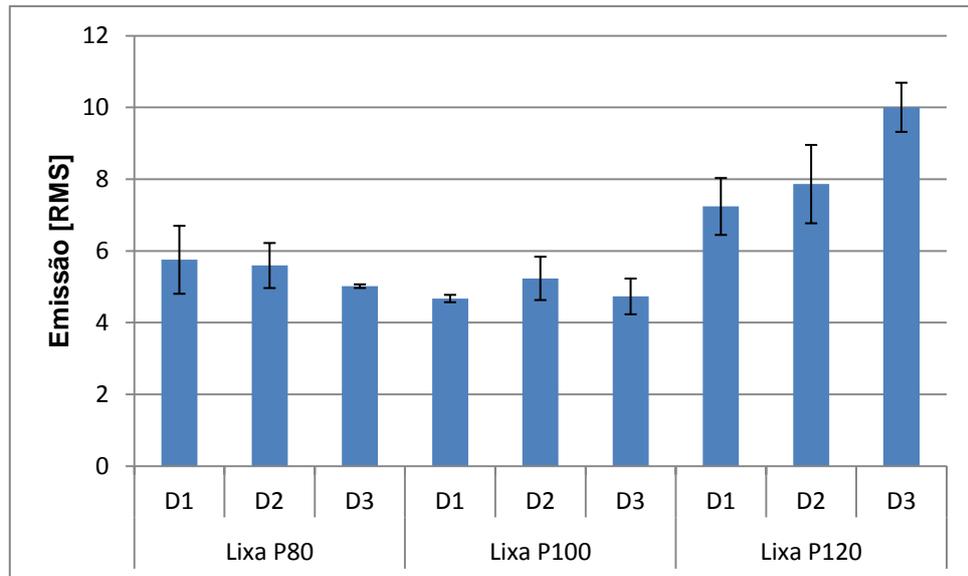
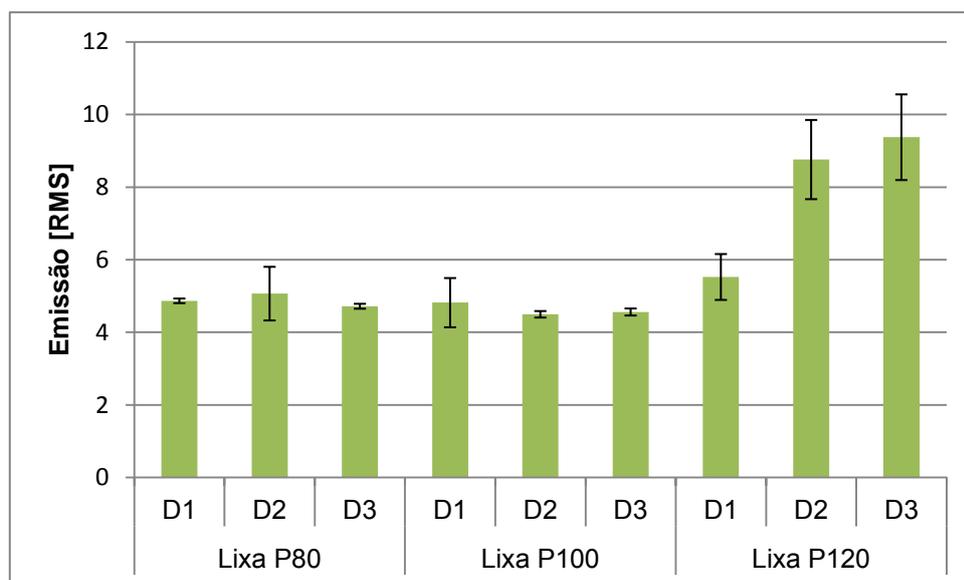


Figura 23: Emissão acústica no lixamento do *Corymbia citriodora*.

Nestas figuras pode-se notar que aparentemente não há interação enquanto se observa somente a emissão acústica quando se utilizou lixas de granulometria P80 e P100, o mesmo ocorre com os desgastes durante a utilização destas lixas. Porém, com a utilização da lixa P120, percebe-se um elevado aumento da emissão acústica, o que parece ter afetado também a interação dos desgastes.

A análise de variância, cujos dados estão nas Tabela 13 e 14, revela que ambos os fatores (granulometria e desgaste) foram significativos para esta variável de saída, para ambas as espécies de madeira.

Tabela 13: Análise de variância para a emissão acústica no lixamento do *Pinus elliottii*.

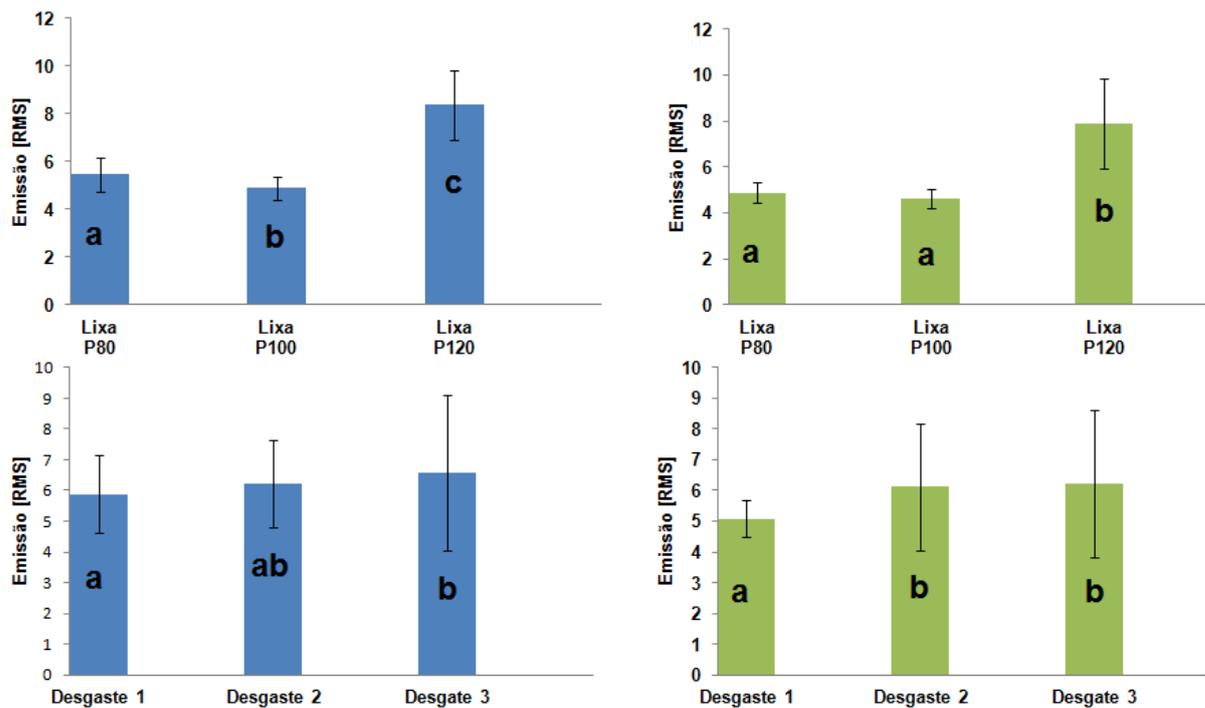
Fatores	gl	F	valor-P	F crítico
Granulometria	2	134,72	1,01E-19	3,20
Desgaste	2	4,66	0,014451	3,20
Granulometria x Desgaste	4	12,73	5,21E-07	2,58

Tabela 14: Análise de variância para a emissão acústica no lixamento do *Corymbia citriodora*.

Fatores	gl	F	valor-P	F crítico
Granulometria	2	132,72	1,34E-19	3,20
Desgaste	2	16,20	5,03E-06	3,20
Granulometria x Desgaste	4	21,09	7,52E-10	2,58

Com o Teste de Tukey, foram comparadas as médias e então elaborada a Figuras 24.

Figura 24: Teste de Tukey – Emissão Acústica.



Na Figura 24 é mostrado que quando utilizada a lixa P120, a emissão acústica foi muito maior que a mensurada utilizando-se as outras granulometrias.

Nota-se que somente as médias da emissão acústica gerada quando se utilizou o Desgaste 1 e o Desgaste 3 diferiram entre si (pinus), de modo que houve uma aparente tendência a haver aumento da emissão conforme o maior desgaste da lixa. Essa tendência também pode ser observada com relação ao corymbia.

A emissão acústica aumentou conforme o aumento da granulometria e também com o desgaste dos grãos abrasivos, isto se deve, segundo Varanda (2010), à maior superfície de contato gerada devido ao maior tamanho dos grãos abrasivos e devido à maior área de contato no caso dos grãos desgastados.

Trabalhos como o de Mechefske *et al.* (2002) mostram que há relação entre a emissão acústica e a condição das superfícies e componentes, de modo que há maior emissão quanto maior o desgaste destes. Comparando a emissão provinda de usinagens feitas com os diferentes desgastes, nota-se uma tendência a haver maior emissão quando os grãos estão mais desgastados. Apesar desta tendência, é muito claro nos gráficos que o desvio padrão é alto nesta comparação, o que ocorre tanto para o pinus quanto para o corymbia, em especial a partir do segundo desgaste das lixas, sendo isso um fator agravante para realmente se concluir um comportamento padrão.

#### 5.4. Vibração durante o lixamento

Os dados mensurados para a vibração são mostrados nas Tabelas 15 e 16.

Tabela 15: Dados de vibração (*Pinus elliottii*) para as variáveis estudadas.

Granulometria	Desgaste			
		D1	D2	D3
P80	Média (mm/s)	7,71	9,16	9,01
	DP (mm/s)	1,21	0,87	0,81
P100	Média (mm/s)	9,83	10,33	9,44
	DP (mm/s)	1,03	1,01	0,74
P120	Média (mm/s)	19,23	17,97	17,72
	DP (mm/s)	2,85	1,66	1,57

Tabela 16: Dados de vibração (*Corymbia citriodora*) para as variáveis estudadas.

Granulometria	Desgaste			
		D1	D2	D3
P80	Média (mm/s)	8,90	8,78	9,46
	DP (mm/s)	0,46	0,36	0,81
P100	Média (mm/s)	9,07	9,68	9,41
	DP (mm/s)	0,60	0,37	0,57
P120	Média (mm/s)	14,61	13,56	14,12
	DP (mm/s)	0,81	0,60	0,60

Os dados podem ser melhor visualizados com as Figuras 25 e 26, que exibem um perfil muito semelhante se analisarmos a vibração para os diferentes desgastes estudados.

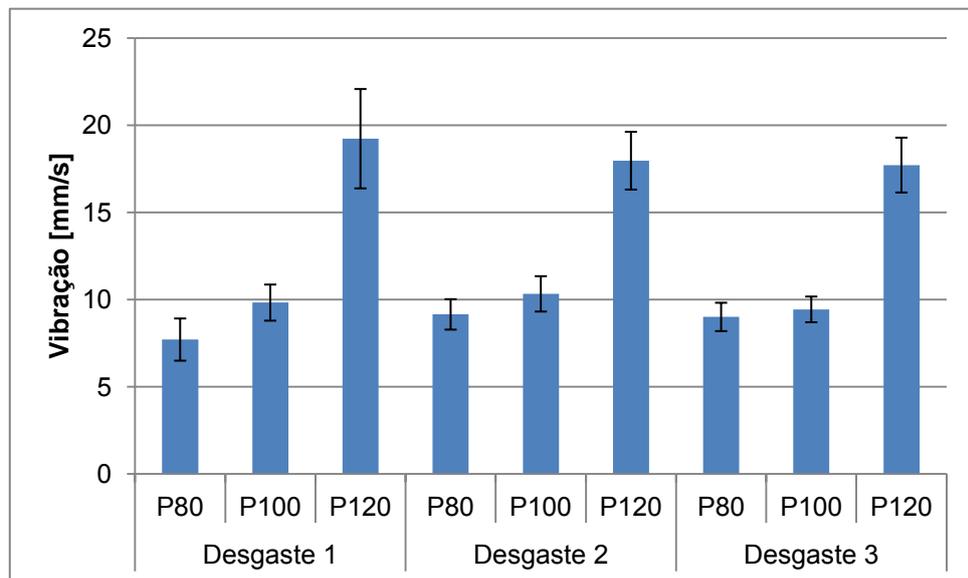
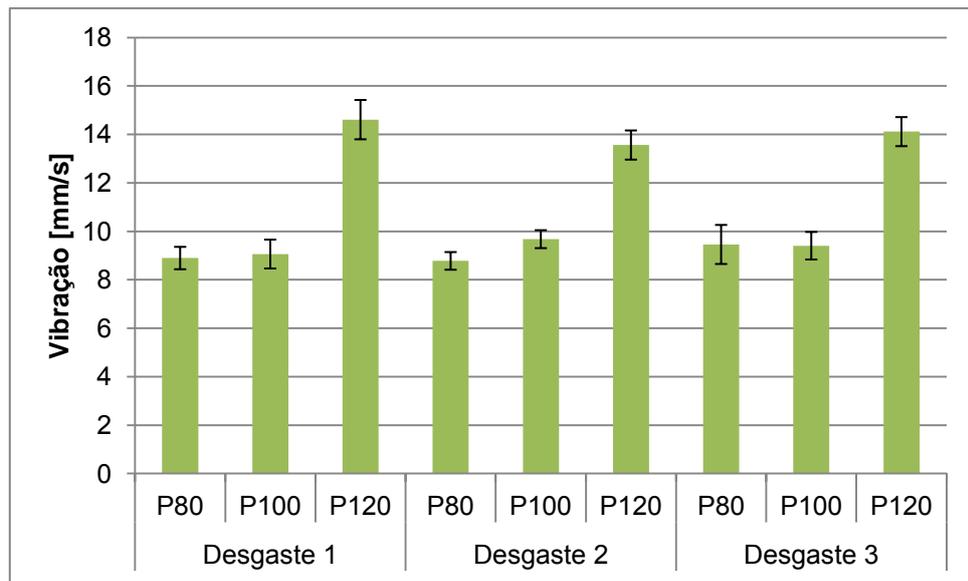
Figura 25: Vibração no lixamento do *Pinus elliottii*.

Figura 26: Vibração no lixamento do *Corymbia citriodora*.



Nestes gráficos, pode-se observar aumento na vibração quando comparada a lixa P120 com as demais, fato que se repete aparentemente em todas as situações de ambas as espécies.

Com a análise de variância, chegamos aos valores exibidos na Tabela 17, os quais nos permitem concluir que somente a granulometria das lixas foi um fator significativo na medição da emissão acústica.

Tabela 17: Análise de variância para a emissão acústica no lixamento do *Pinus elliottii*.

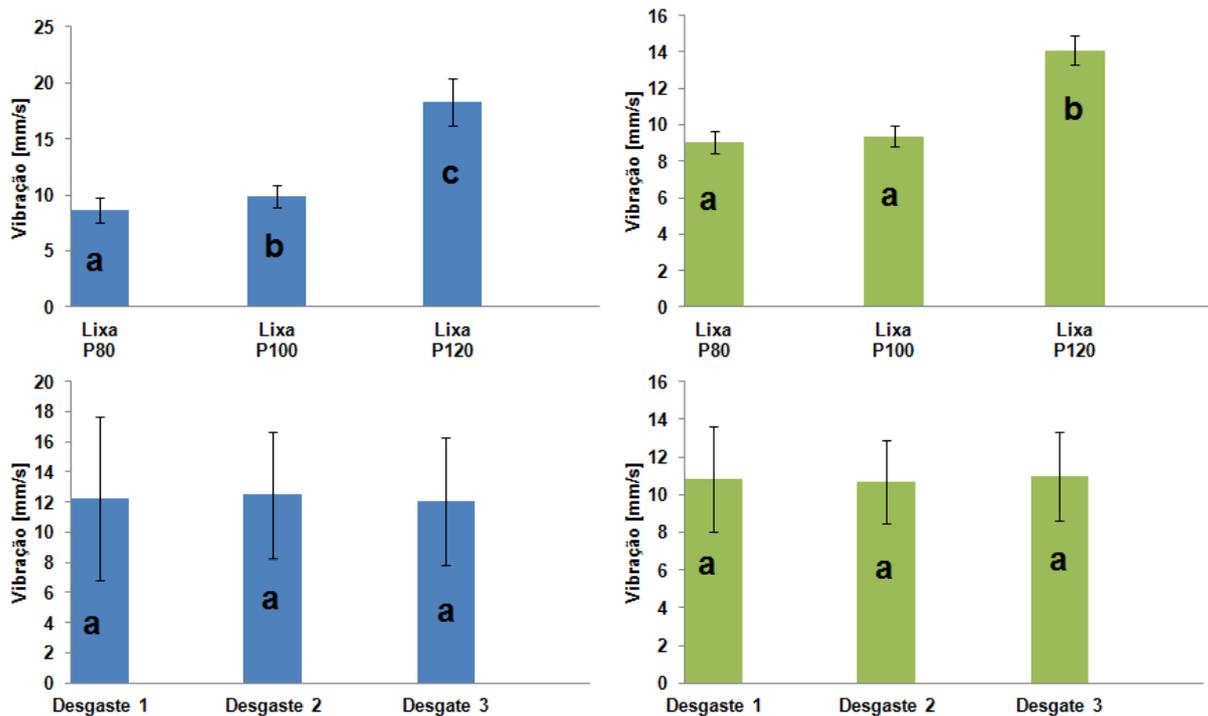
Fatores	gl	F	valor-P	F crítico
Granulometria	2	238,31	1,14E-24	3,20
Desgaste	2	0,40	0,674113	3,20
Granulometria x Desgaste	4	1,93	0,121211	2,58

Tabela 18: Análise de variância para a vibração no lixamento do *Corymbia citriodora*.

Fatores	gl	F	valor-P	F crítico
Granulometria	2	404,93	1,7E-29	3,20
Desgaste	2	1,31	0,279013	3,20
Granulometria x Desgaste	4	3,58	0,012765	2,58

Na Figura 27 são mostrados gráficos para ilustrar o resultado do Teste de Tukey, comparando assim as médias das grandezas estudadas.

Figura 27: Teste de Tukey – Vibração.



De acordo com a Figura 27, para o pinus, quanto maior a granulometria das lixas, maior a vibração durante o processo de lixamento. Para o corymbia pode-se notar que a vibração mensurada quando a lixa P120 foi utilizada é maior do que as demais, comprovando assim a tendência exibida anteriormente de que a

granulometria das lixas é um fator significativo para o lixamento, de modo que a maior granulometria gera maior vibração durante o processo.

Este comportamento pode ser justificado devido a maior superfície de contato entre a lixa e o material usinado, de modo que através do princípio da aderência, o maior contato entre os grãos abrasivos e a madeira gera uma vibração maior no processo.

Um resultado semelhante a este foi encontrado por Varanda (2010), que identificou aumento da vibração durante o lixamento tubular em relação ao aumento da granulometria das lixas, atribuindo a isto também o princípio da aderência.

## 5.5. Rugosidade mensurada

Após os tratamentos empregados neste experimento, foram conferidas as rugosidades das peças, a fim de verificar o se as variáveis deste experimento haviam ou não sido significativas e de que maneira haviam influenciado nos resultados. A medição da rugosidade talvez seja a parte mais importante desde experimento, visto que este processo de abrasão visa a melhoria da qualidade superficial.

Nas Tabelas 19 e 20 são mostrados os resultados, em termos de média e desvio padrão.

Tabela 19: Dados de rugosidade (*Pinus elliottii*) para as variáveis estudadas.

Granulometria	Desgaste			
		D1	D2	D3
P80	Média ( $\mu\text{m}$ )	11,86	6,28	5,95
	DP ( $\mu\text{m}$ )	0,59	0,66	0,39
P100	Média ( $\mu\text{m}$ )	8,76	3,85	3,59
	DP ( $\mu\text{m}$ )	0,46	0,52	0,25
P120	Média ( $\mu\text{m}$ )	7,32	5,22	5,02
	DP ( $\mu\text{m}$ )	0,11	0,45	0,41

Tabela 20: Dados de rugosidade (*Corymbia citriodora*) para as variáveis estudadas.

Granulometria	Desgaste			
		D1	D2	D3
P80	Média ( $\mu\text{m}$ )	11,84	5,58	5,08
	DP ( $\mu\text{m}$ )	0,85	0,47	0,29
P100	Média ( $\mu\text{m}$ )	8,09	3,94	4,16
	DP ( $\mu\text{m}$ )	0,66	0,48	0,58
P120	Média ( $\mu\text{m}$ )	7,79	4,47	3,94
	DP ( $\mu\text{m}$ )	0,50	0,26	0,43

Como era esperado de acordo com a literatura, houve diminuição na rugosidade com a mudança da granulometria das lixas, o que é visualmente conclusivo nas Figura 28 e 29.

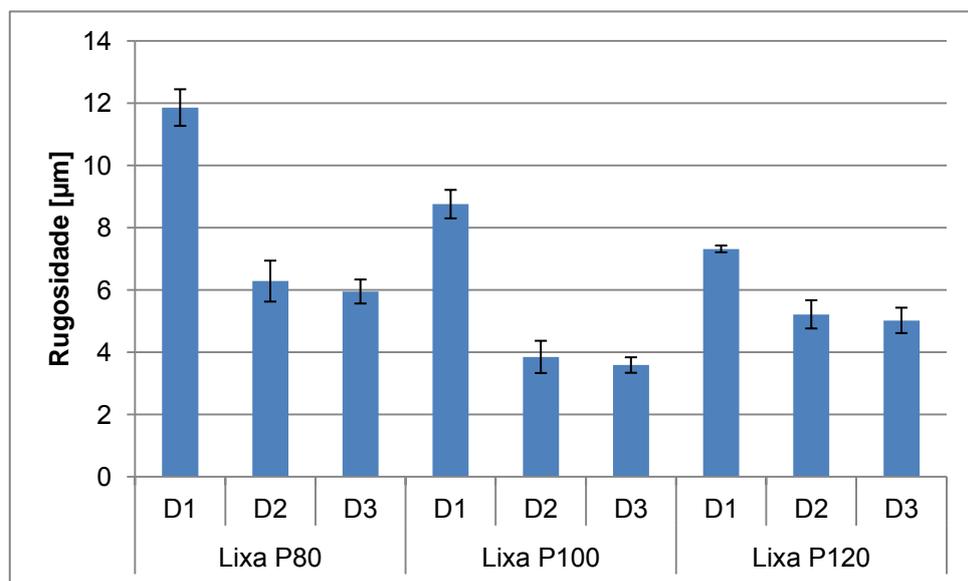
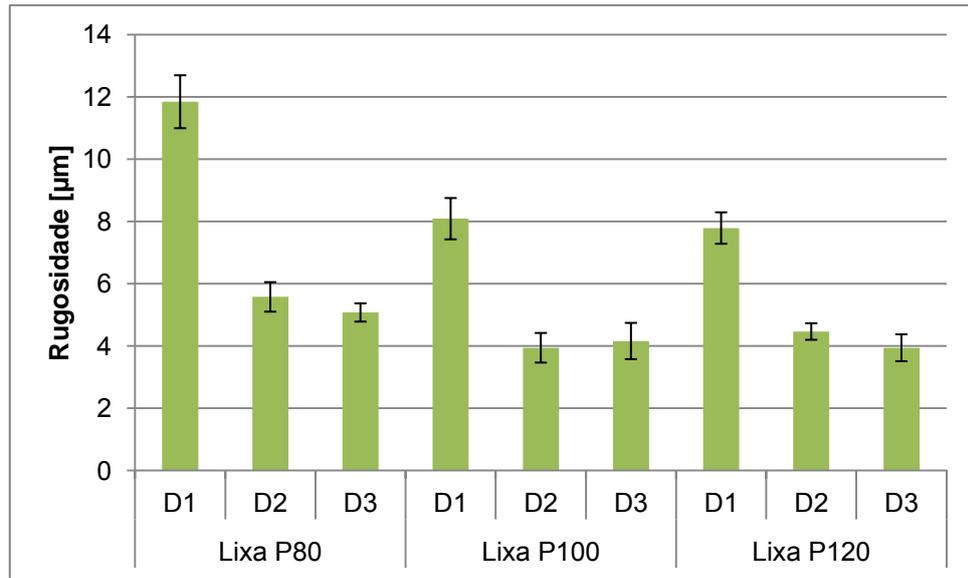
Figura 28: Rugosidade no lixamento do *Pinus elliottii*.

Figura 29: Rugosidade no lixamento do *Corymbia citriodora*.

Pode-se observar uma tendência de diminuição da rugosidade (o que representa qualidade superficial cada vez melhor), tanto quando são utilizadas lixas de maior granulometria, quando são utilizadas lixas com os grãos mais desgastados.

A análise de variância (Tabelas 21 e 22), prova que a granulometria e o desgaste são fatores significativos no processo de lixamento, interagindo com a rugosidade.

Tabela 21: Análise de variância para a rugosidade no lixamento do *Pinus elliottii*.

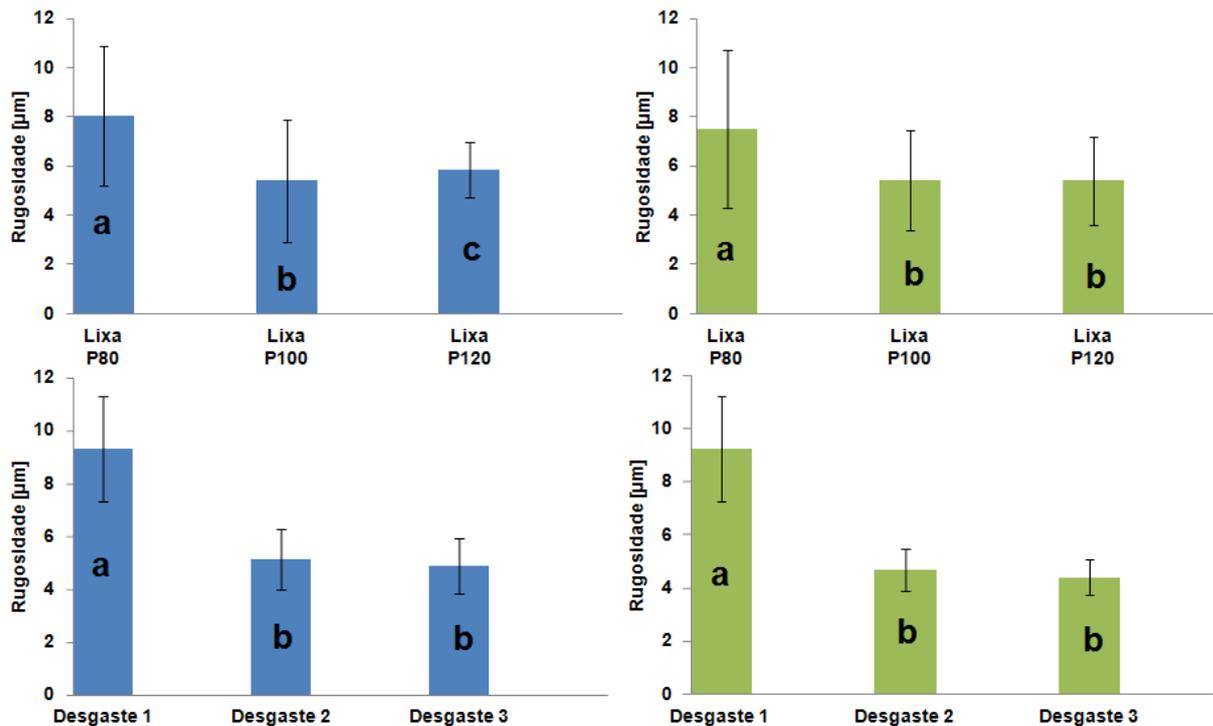
Fatores	gl	F	valor-P	F crítico
Granulometria	2	173,37	7,16E-22	3,20
Desgaste	2	547,56	2,61E-32	3,20
Granulometria x Desgaste	4	34,26	3,95E-13	2,58

Tabela 22: Análise de variância para a rugosidade no lixamento do *Corymbia citriodora*.

Fatores	gl	F	valor-P	F crítico
Granulometria	2	93,54	9,34E-17	3,20
Desgaste	2	471,70	6,48E-31	3,20
Granulometria x Desgaste	4	18,55	4,53E-09	2,58

Os testes de comparação de médias foram feitos e são exibidos na Figura 30.

Figura 30: Teste de Tukey – Rugosidade.



Nesta figura, pode-se notar que o melhor acabamento foi proporcionado pela lixa P100, para o pinus, e que não houve diferença entre o acabamento das lixas P100 e P120, para o corymbia. Apesar de ser esperado que a lixa P120 tivesse resultado no melhor acabamento, devemos considerar que o conjunto de dados estudado levou em consideração peças lixadas também com desgates diferentes. Se observada a Figura 28, mantendo-se o desgaste 1 (D1), que corresponde a uma lixa nova, pode-se notar claramente que a rugosidade proporcionada pela lixa P120 é melhor do que a P100, porém com os demais desgastes a tendência se inverte.

É conveniente portanto dizer que sob circunstâncias de maior desgaste, a lixa P100 se comporta de melhor maneira que a P120, ainda que o desvio padrão seja alto.

Com relação aos desgastes, conforme a Figura 30 obtivemos que o melhor acabamento foi produzido por D2 e D3, os quais não diferiram entre si.

É interessante observar também, na Figura 28, que após o primeiro desgaste, a lixa P80 é capaz de produzir um acabamento tão bom quanto (ou até melhor) as lixas P100 e P120 (novas), porém com um desvio padrão maior. Obviamente pensar nisso como um fator viável industrialmente não é adequado, visto que o desgaste do material acontece a todo tempo e a incerteza do estado do abrasivo pode comprometer o produto final (considerando-se que deve haver homogeneidade da qualidade das peças).

Uma possível resposta para a rugosidade das peças ser menor quando os grãos sofreram desgastes é devido ao material abrasivo, que neste caso é o carbeto de Silício, muito conhecido por sua alta dureza e friabilidade. A explicação se baseia em o grão, quando desgastado, ter alta tendência a se fraturar em vários pedaços, formando novas arestas cortantes, porém em grãos menores, proporcionando assim um acabamento semelhante a lixas de maior granulometria.

## 6. CONCLUSÕES

Com os resultados deste experimento pode-se concluir que tanto o *Pinus elliottii* quanto o *Corymbia citriodora* reagiram de maneira muito parecida aos tratamentos empregados, de modo que pode-se esperar certa tendência em seu comportamento, mesmo sendo espécies diferentes com características muito distintas.

O estudo da potência revelou que as variáveis desgaste e granulometria das lixas tiveram interação com o lixamento, havendo uma leve tendência ao maior consumo da potência quando os grãos estão mais desgastados e quando a granulometria é maior. Apesar disso, essa tendência se mostrou inconstante e de baixa interação.

Com relação a vibração, podemos afirmar que o aumento da granulometria das lixas é um fator que influencia significativamente, fazendo com que haja aumento desta grandeza, o que foi atribuído neste trabalho à maior aderência devido ao maior número de grãos em contato com a peça usinada. Também concluímos que o desgaste dos grãos abrasivos não influenciou na vibração.

A emissão acústica foi influenciada pelas duas variáveis, de modo que o aumento da granulometria e do desgaste das lixas faz com que haja maior emissão acústica, o que pode ser justificado, além da maior aderência, pela usinagem maior dificuldade para remoção de material quando grãos estão mais desgastados.

A qualidade superficial das peças (medida através da rugosidade) foi influenciada tanto pela granulometria das lixas (sendo inversamente proporcional a esta grandeza) quanto pelo desgaste das lixas, de modo que as lixas desgastadas proporcionaram melhor acabamento (menor rugosidade). Isso é provavelmente explicado devido à alta friabilidade do carbureto de silício, cujos grãos abrasivos, após o desgaste, formam arestas de corte nos grãos menores, exibindo um comportamento semelhante a lixas de maior granulometria.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M. C. S. **Influência dos métodos de lubri-refrigeração na retificação do aço ABNT 4340 usando rebolo de CBN**, Tese de Doutorado – UNESP, Bauru, SP, Brasil, 2007.

ALVES, M. C. S.; BIANCHI, E. C.; AGUIAR, P. R.; CATAI, R. E. **Influência na qualidade final de metais retificados através da variação da velocidade de mergulho**. Revista Escola de Minas. v.62, p.65-71. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107p.

\_\_\_\_\_ **NBR 6405**: Rugosidade das superfícies. Rio de Janeiro, 1988.

\_\_\_\_\_ **NBR 9656**: Determinação de umidade por secagem em estufa. São Paulo, 1986.

\_\_\_\_\_ **NBR 14960**: Abrasivos revestidos – Lixas – Requisitos de segurança para seu uso. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF. **Anuário estatístico 2009**. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br>>. Acesso em: 28 fev. 2011.

BAENA, E.de S. 1994 **Análise da viabilidade econômica da resinagem em *Pinus elliottii* Elgelm. var *elliottii* nas regiões Sul do Estado do Paraná e Sul e Sudoeste do Estado de São Paulo**. 94 p. Curitiba. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Paraná.

BIANCHI, C. E.; SILVA, E. J.; LOVATO, M. C.; FERNANDES, O. C.; VALARELLI, I. D. **Características e tendências do processo de abrasão**. Máquinas e Metais, Aranda Editora, ano 35, n. 399, p. 238-249. abr. 1999.

CARPINETTI, L.C.R. **Rugosidade superficial: conceitos e princípios de medição.** Apostila. São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. 2000. 51 p.

CARPINETTI, L. C. R.; GONÇALVES FILHO, E. V.; PORTO, A. J. V.; JASINEVICIUS, R. G. **Rugosidade Superficial: Conceitos e Princípios de Medição.** São Carlos: Apostila, pp. 51, Seção de Publicações da EESC-USP, 1996.

FERREIRA, Oswaldo Poffo (Org.). **Madeira: uso sustentável na construção civil.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas: Secretaria do Verde e do Meio Ambiente do Município de São Paulo: Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo, 2003.

GARCIA, C. H.; MORA, A. L. **A cultura de eucalipto no Brasil.** São Paulo, SP: SBS, 2000.

GOLÇALVES, F.B.; SASAKI, M.Y.; SALOMÃO, R. **Novos desafios e oportunidades nos processos de abrasão por lixamento.** Trabalho apresentado à 6ª edição da Feira e Congresso Usinagem, São Paulo, 2010.

GONÇALVES, F.B.; SOUZA, A. **Friabilidade de grãos abrasivos e o seu comportamento no processo de lixamento.** Trabalho apresentado à 7ª edição da Feira e Congresso Usinagem, São Paulo, 2012.

GONÇALVES, M.T.T. **Processamento da Madeira.** Bauru-SP: Document Center Xerox – USC, 242p., 23,5 cm. Inclui Índice. ISBN 85-901425-1-5. 2000.

GONÇALVES, M.T.T.; CAGNON, J. A.; TIBÚRCIO, U. F de. O.; SOUZA, A. J. D de. **Consumo de potência no torneamento cilíndrico de madeiras de eucalipto.** In: EBRAMEM, 10º. São Pedro, SP, 2006. **Anais.** 2006.

GONÇALVES, M.T.T.; RUFFINO, R.T. **Mecanismo de formação do cavaco na usinagem da madeira.** In: EBRAMEM, 3º., São Carlos, SP, 1989. **Anais...** São Paulo, LaMEM/EESC/USP. v.4, p.163-202, 1989.

GURAU, L.; MANSFIELD-WILLIAMS, H.; IRLE, M. **Processing roughness of sanded wood surfaces**. European Journal of Wood and Wood Products, Heidelberg, Berlin, v.63, n. 1, p. 43-52. fev. 2005.

HAWKS, L. K. **Wood Finishing and Refinishing: Sanding**. 1995. Disponível em: <[http://extension.usu.edu/files/publications/publication/HI\\_26.pdf](http://extension.usu.edu/files/publications/publication/HI_26.pdf)>. Acesso em: 05 abr. 2010.

HENDARTO, B.; SHAYAN, E.; OZARSKA, B.; CARR, R. **Analysis of roughness of a sanded wood surface**. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 28, p. 775–780. 2006.

HOFF, K.; FISHER, N.; MILLER, S.; WEBB, A. **Source of Competitiveness for Secondary Wood Products Firms : A Review of Literature and Research Issues**. Forest Products Journal: 47(2): 31-37,1997.

INASAKI, I. **Monitoring and optimization of grinding process**. Annals of the CIRP, 1990, v.40.

JEMIELNIAK, K. **Commercial Tool Condition Monitoring Systems**, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 15, p. 711-721. 1999.

KILIC, M.; HIZIROGLU, S.; BURDURLU, E. **Effect of Machining on Surface Roughness of Wood**. Building and Environment: 41: 1074-1078, 2005.

KOCH, P. **Wood Machining Processes**. New York. Ronald Press Company. 1964. 530p.

KOLLMANN, F. F. P. **Tecnología de la madera y sus aplicaciones**. Madrid: Tomo I. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de La Madera. 1959. 675p.

LEMASTER, R. L.; BEALL, F. C. **The use of optical profilometer to measure surface roughness in medium density fiberboard.** Journal of Forest Products, USA, v. 46, n. 11-12, p. 73-78. 1996.

MALINOVSKI, R. A. **Reflorestamento em áreas limítrofes de propriedades rurais em São José dos Pinhais (PR): análise de percepção e de viabilidade econômica.** 2002. 161 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba, 2002.

Malkin, S. **“Grinding Mechanisms” E “Grinding Temperatures And Thermal Damage”**, In: Malkin, S. Grinding Technology: Theory And Applications Of Machining With Abrasives. 1,Ed. Chichester, Ellis Horwood Limited, 1989

Mechefske, CK, G Sun\* & J Sheasby (2002) **Using Acoustic Emission to Monitor Sliding Wear**, INSIGHT - p. 1-8.

NÉRI, A.C. **Parâmetros de corte na usinagem de madeiras de reflorestamento.** 2003. 154 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, 2003.

NORTON ABRASIVOS. **Características operacionais dos abrasivos - 2009.** Disponível em: <<http://www.norton-abrasivos.com.br>>. Acesso em: 02 maio 2010.

PRYOR, L.D. & JOHNSON,L.A. **A classification of the Eucalyptus.** Canberra: Australian National University, 1971, 192p.

REDDY, T. S.; REDDY, C. E. **Real Time Monitoring of Surface Roughness by Acoustic Emission in CNC Turning.** Journal of Engineering Science and Technology Review, Kavala Institute of Technology. n.3, v.1, p.111-115, 2010.

SANDAK J.; NEGRI, M. **Wood Surface Roughness - What Is It?.** Publicado nos anais do 17º International Wood Machining Seminar, Rosenheim, 2005.

SANTIAGO, L. F. F. **Caracterização da Influência da Velocidade de Corte, Pressão e Granulometria de Lixa no Lixamento do *Pinus elliottii***. 2011. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

SANTINI, A. **Estudo do processo e dos parâmetros de corte no serramento da madeira por serra de fita**. 2000. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - USP, São Carlos, 2000.

SHIMIZU J.Y. **Cultivo do Pinus (Espécies)**, [S.l.], Embrapa, novembro de 2005, disponível em:  
<<http://www.ufsm.br/cepef/artigos/Pinus%20na%20silvicultura%20brasileira.pdf>>.  
Acesso em: 05/04/2011.

SIQUEIRA, K.P. Principais metodologias de medição de estado de superfícies. **Ciências Exatas e Naturais**, v.5, n.2, p.203-210. 2003.

SOUZA, A. J. Processos de Fabricação por Usinagem – Parte 1. **Apostila de Usinagem** – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2011. 89p.

SUBRAMANIAN, K. **The System Approach**. Cincinnati: Hanser Gardner Publications, 2000.

VARANDA, L. D. **Influência da Velocidade de Corte e da Granulometria das Lixas na Qualidade de Peças de *Eucalyptus grandis* Processadas Através do Lixamento Tubular**. 2010. 83p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Estadual Paulista do Campus de Itapeva, 2010.

WEBSTER, J. A.; DONG, W. P.; LINDSAY, R. **Raw acoustic emission signal analysis of grinding process**. In: *Annals of the CIRP*, vol. 45, n. 1, p. 335-340, 1996.

ZACARIAS, D. **Análise do Processo de Lixamento Tubular da Madeira de *Corymbia citriodora***, 2012. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do *Campus* de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.