

**UNESP**  
**Faculdade de Engenharia do *Campus* de Guaratinguetá**

**ANÁLISE DO PROCESSO DE LIXAMENTO TUBULAR DA  
MADEIRA DE *Corymbia citriodora***

**Guaratinguetá**  
**2012**

DEMÉTRIO ZACARIAS

ANÁLISE DO PROCESSO DE LIXAMENTO TUBULAR DA  
MADEIRA DE *Corymbia citriodora*

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do *Campus* de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica na área de Materiais Lignocelulósicos.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Cleber de Sampaio Alves  
Co-orientador: Prof. Dr. Marcos Tadeu Tibúrcio Gonçalves

Guaratinguetá  
2012

Z13a	<p>Zacarias, Demétrio</p> <p>Análise do Processo de Lixamento Tubular da Madeira de <i>Corymbia citriodora</i> / Demétrio Zacarias – Guaratinguetá : [s.n], 2012. 112 f : il. Bibliografia: f. 92-96</p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2012. Orientador: Prof. Dr. Manoel Cleber de Sampaio Alves Coorientador: Prof. Dr. Marcos Tadeu Tibúrcio Gonçalves</p> <p>1. Usinagem I. Título</p>
------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------


CDU 621.9

**DEMÉTRIO ZACARIAS**

**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
“MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA”**

**PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA  
ÁREA: MATERIAIS**

**APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO**

  
**Prof. Dr. José Antonio Perrella Balestieri**  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

  
**Prof. Dr. MANOEL CLÉBER SAMPAIO ALVES**  
Orientador / Unesp-Feg

  
**Prof. Dr. MARCOS VALÉRIO RIBEIRO**  
Unesp-Feg

  
**Prof. Dr. IVALDO DE DOMENICO VALARELLI**  
Unesp-Bauru

## **DADOS CURRICULARES**

### **DEMÉTRIO ZACARIAS**

NASCIMENTO	14.03.1985 – ITAPEVA / SP
FILIAÇÃO	Dario Zacarias Neli Oscarlina Angelini Zacarias
2004/2008	Curso de Graduação Engenharia Industrial Madeireira - Universidade Estadual Paulista.
2010/2012	Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de Mestrado, na Faculdade de Engenharia do <i>Campus</i> de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter suprido todas as minhas necessidades e dificuldades na realização deste trabalho. Por ter me dado a motivação e o entusiasmo para a busca do conhecimento e a vontade de compartilhá-lo,

ao meu orientador *Prof. Dr. Manoel Cleber de Sampaio Alves* que sempre ofereceu a ajuda, que pude sempre contar e aceitar, e o incentivo necessário para a conclusão do trabalho,

a minha *família, noiva e amigos* que entenderam a minha inclinação, para o estudo e pesquisa, em eu gastar o tempo que fosse necessário para avançar mais uma etapa da minha vida,

ao *Campus* da UNESP de Itapeva e de Guaratinguetá por terem facilitado o andamento e conclusão deste estudo.

Este trabalho contou com apoio da seguinte entidade

- CNPq - Processo nº 473611/2008

“A natureza usa o mínimo possível de tudo.”

**Johannes Kepler**



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.

## RESUMO

Neste trabalho é apresentado e avaliado o processo de lixamento tubular da espécie de *Corymbia citriodora*. O objetivo principal foi conhecer a influência e a interação das variáveis de entrada: velocidade de corte, de avanço e granulometria de lixa, sobre as variáveis de saída: rugosidade, potência consumida, emissão acústica e vibração, no processo de lixamento tubular da madeira de *Corymbia citriodora*. Foi utilizada uma lixadeira tubular, com 2 cabeçotes de lixa, um para lixa de desbaste e outro para lixa de acabamento. O processo foi monitorado e foi realizada aquisição dos dados. Com 4 velocidades de corte, 4 velocidade de avanço e 3 conjuntos de lixas, foram feitas 3 repetições para cada combinação, resultando em 144 ensaios. Os resultados foram analisados estatisticamente através de análise de variância (ANOVA) com nível de significância de 5%, acompanhado do teste de Tukey. Para todas as variáveis: rugosidade, potência consumida, emissão acústica e vibração, foi observado que os fatores conjunto de lixas, velocidade de corte e de avanço, tiveram influência significativa no processo de lixamento tubular do *Corymbia citriodora*.

**PALAVRAS CHAVES:** *Corymbia citriodora*, Lixamento, Rugosidade.

ZACARIAS, D. **Analysis of Tubular Sanding Process Of Wood *Corymbia citriodora***. 2012. 112 f. Dissertation (Master in Mechanical Engineering) – Faculdade de Engenharia do *Campus* de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

### **ABSTRACT**

This work is presented and evaluated the process of tubular sanding of *Corymbia citriodora*. The main objective was to determine the influence and interaction of input variables: cutting speed, feed speed and grain size of sand on the output variables: roughness, power consumption, acoustic emission and vibration in the process of tubular sanding of *Corymbia citriodora*. We used a tubular sander with 2 sanding heads, one for roughing and another to finishing sanding. The process was monitored and data acquisition was made. With 4 cutting speeds, 4 feed rate and 4 sets of 3 abrasives, 3 replicates were performed for each combination, resulting 144 tests. The results were analyzed statistically using analysis of variance (ANOVA) with significance level of 5%, followed by the Tukey test. For all variables: roughness, power consumption, acoustic emission and vibration, it was observed that the factors of sanding, cutting speed and feed, had significant influence in the process of tubular sanding of *Corymbia citriodora*.

**KEYWORDS:** *Corymbia citriodora*, Sanding, Roughness.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Composição de uma lixa (NBR 14960/2003).....	19
Figura 2 – Anatomia da lixa de papel (adaptado de NAGYSZALANCZY, 1997) .....	20
Figura 3 - Fabricação da lixa por sistema de gravidade. 1- Grãos, 2- Reservatório de alimentação, 3- Faca de ajuste de alimentação, 4- Camada de adesivo sobre o costado e 5- Costado (BOZO, 2011). .....	21
Figura 4 - Fabricação da lixa por sistema eletrostático. 1- Grãos, 2- Reservatório de alimentação, 3- Faca de ajuste de alimentação, 4- Camada adesiva sobre o costado, 5- Costado, 6- Placa eletrostática negativa, 7- Placa eletrostática positiva, 8- Campo eletrostático e 9- Correia alimentadora (BOZO, 2011). .....	22
Figura 5 – Sistema de gradeação dos grãos abrasivos (adaptado de NAGYSZALANCZY, 1997) .....	23
Figura 6 - Comparativo entre carbeto de silício e óxido de alumínio para rugosidade (Rq). (TAYLOR <i>et al.</i> , 1999) .....	27
Figura 7. Sistemas de corte aplicados a seção transversal da madeira (GONÇALVES, 2000). .....	32
Figura 8 - Comprimentos de amostragem (le). (NBR 6405/1988).....	39
Figura 9 - Percurso de medição de rugosidade média.....	40
Figura 10 - Esquema do processo de aquisição de dados.....	41
Figura 11 – Confeção dos corpos de prova, a) desdobro da tora, b) transformação em pranchas, c) transformação em blocos e d) confecção dos corpos de prova em torno tubular. ....	45
Figura 12 – Amostras em sua forma inicial.....	46
Figura 13 - Seccionamento das amostras. ....	47
Figura 14 - Esquadrejamento das amostras. ....	47
Figura 15 - Lixamento de uma das extremidades dos corpos de prova. ....	48
Figura 16 - Corpos de prova preparados para os ensaios de lixamento. ....	48
Figura 17 - Banco de ensaios utilizado.....	49
Figura 18 - Módulo de aquisição de dados.....	49

Figura 19 – Esquema completo da estrutura física da lixadeira tubular: a) vista frontal, b) perspectiva e c) vista lateral (adaptado de TIBÚRCIO, 2009). .....	51
Figura 20 - Painel de comando dos equipamentos. ....	52
Figura 21 - Módulo de emissão acústica. ....	53
Figura 22 – Posicionamento dos sensores de emissão acústica e de vibração. ....	53
Figura 24 – Planejamento dos ensaios. ....	55
Figura 25 – Controle da velocidade de avanço, com a variação do ângulo $\alpha$ . ....	57
Figura 26 - Tacômetro óptico marca Dynapar, modelo HT 100. ....	57
Figura 27 - Tela do programa de aquisição de dados desenvolvido. ....	58
Figura 28 – Suporte para acomodação de amostras. ....	61
Figura 29 – Medição da rugosidade. ....	62
Figura 30 - Amostras utilizadas para a determinação da densidade aparente e umidade dos corpos de prova. ....	64
Figura 31 – Potência consumida para o conjunto de lixas P80-P100. ....	67
Figura 32 – Potência consumida para o conjunto de lixas P80-P120. ....	69
Figura 33 – Potência consumida para o conjunto de lixas P100-P120. ....	70
Figura 34 – Potência consumida para o fator conjunto de lixas. ....	71
Figura 35 – Potência consumida para o fator velocidade de corte. ....	73
Figura 36 – Potência consumida para o fator conjunto de lixas. ....	74
Figura 37 – Rugosidade “Ra” para o conjunto de lixas P80-P100. ....	76
Figura 38 – Rugosidade “Ra” para o conjunto de lixas 80-120. ....	77
Figura 39 – Rugosidade “Ra” para o conjunto de lixas P100-P120. ....	78
Figura 40 – Rugosidade “Ra” para os 3 conjuntos de lixas. ....	79
Figura 41 – Rugosidade “Ra” para o fator conjunto de lixas. ....	80
Figura 42 – Rugosidade “Ra” para o fator velocidade de corte. ....	81
Figura 43 – Rugosidade “Ra” para o fator velocidade de avanço. ....	82
Figura 44 – Emissão acústica para o fator conjunto de lixas. ....	84
Figura 45 – Emissão acústica para o fator velocidade de corte. ....	85
Figura 46 – Emissão acústica para o fator velocidade de avanço. ....	86
Figura 47 – Vibração para o fator conjunto de lixas. ....	88
Figura 48 – Vibração para o fator velocidade de corte. ....	89

Figura 49 – Vibração para o fator velocidade de avanço. ....90

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tamanho de grãos equivalente aproximados (NAGYSZALANCZY, 1997).....	24
Tabela 2 - Classificação simplificada (adaptado de HAWKS, 2011) .....	24
Tabela 3 - Classificação de costado para abrasivos (adaptado de BOSCH, 2011). .....	28
Tabela 4 - Tabela de comprimento de amostragem (“ <i>cut-off</i> ”) (ABNT – NBR 6405/1988).....	39
Tabela 5 – Características técnicas da lixadeira tubular.....	50
Tabela 6 – Informações sobre as variáveis de entrada. ....	56
Tabela 7 – Densidade média básica e aparente para o <i>Corymbia citriodora</i> . ....	65
Tabela 8 – Valores médios de potência consumida para o conjunto de lixas P80-P100.....	67
Tabela 9 – Valores das médias de potência consumida para o conjunto de lixas P80-P120. ....	68
Tabela 10 – Valores das médias de potência consumida para o conjunto de lixas P100-P120. ....	69
Tabela 11 – Valores médios de potência consumida para o fator conjunto de lixas.....	71
Tabela 12 – Valores médios de potência consumida para o fator velocidade de corte. ....	72
Tabela 13 – Valores médios de potência consumida para o fator velocidade de avanço.....	73
Tabela 14 – Análise de Variância para as médias de potência consumida. ....	74
Tabela 15 – Valores das médias de rugosidade “Ra” para o conjunto de lixas P80-P100. ....	75
Tabela 16 – Valores das médias de rugosidade “Ra” para o conjunto de lixas P80-P120. ....	76
Tabela 17 – Valores das médias de rugosidade “Ra” para o conjunto de lixas P100-P120. ....	78
Tabela 18 – Valores médios de rugosidade “Ra” para o fator conjunto de lixas.....	80
Tabela 19 – Valores médios de rugosidade “Ra” para o fator velocidade de corte. ....	81

Tabela 20 – Valores médios de rugosidade “Ra” para o fator velocidade de avanço...	82
Tabela 21 – Análise de Variância para as médias de rugosidade “Ra”.....	83
Tabela 22 – Valores médios de emissão acústica para o fator conjunto de lixas.....	84
Tabela 23 – Valores médios de emissão acústica para o fator velocidade de corte.....	85
Tabela 24 – Valores médios de emissão acústica para o fator velocidade de avanço...	86
Tabela 25 – Análise de Variância para as médias de emissão acústica. ....	87
Tabela 26 – Valores médios de vibração para o fator conjunto de lixas.....	87
Tabela 27 – Valores médios de vibração para o fator velocidade de corte.....	88
Tabela 28 – Valores médios de vibração para o fator velocidade de avanço.....	89
Tabela 29 – Análise de variância para as médias de vibração. ....	90

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/D	-	Analógico/ Digital
ABNT	-	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANSI	-	American National Standard Institute
ANOVA	-	Análise de Variância
ASME		American Society of Mechanical Engineers
CV	-	Coefficiente de Variação
DP	-	Desvio Padrão
EA	-	Emissão Acústica
FEPA		Fédération Européenne des Fabricants de Produits Abrasifs
GL	-	Graus de Liberdade
ISO	-	International Organization for Standardization
IPT	-	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
M	-	Sistema da Linha Média
NBR	-	Norma Brasileira Registrada
RMS	-	Raiz Média Quadrática
SQ	-	Soma de Quadrados
SQM	-	Soma de Quadrados Médios
USB	-	Universal Serial Bus
UE	-	Umidade de Equilíbrio



## LISTA DE SÍMBOLOS

$D_{ap}$	densidade aparente	[kg.m <sup>-3</sup> ]
$D_b$	densidade básica	[kg.m <sup>-3</sup> ]
$L_e$	comprimento de amostragem (cut-off ou $\lambda_c$ )	[mm]
$L_m$	comprimento de medição	[mm]
mesh	corresponde a quantidade de fios por polegada linear	-
$m_i$	massa inicial da amostra	[g]
$m_s$	massa seca amostra	[g]
$m_f$	massa final da amostra	[g]
$m_{im}$	massa da amostra imersa em água	[g]
$m_v$	massa da amostra saturada em água	[g]
$R_a$	rugosidade média	[ $\mu$ m]
$R_q$	rugosidade média quadrática	[ $\mu$ m]
$R_t$	máxima distância pico a vale	[ $\mu$ m]
$U_{(%)}$	porcentagem de umidade	-
$V_n$	velocidade	[m.s <sup>-1</sup> ]

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	16
1.1 Objetivos .....	17
1.1.1 Objetivo principal .....	17
1.1.2 Objetivos secundários .....	17
1.2 Motivações para realização do trabalho.....	17
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	18
2.1 Introdução sobre o processo de lixamento da madeira .....	18
2.1.1 Composição das lixas.....	19
2.1.2 Estudos sobre o processo de lixamento .....	29
2.2 Parâmetros do processo.....	33
2.2.1 Potência de corte .....	33
2.2.2 Emissão Acústica .....	35
2.2.3 Vibração.....	36
2.2.4 Rugosidade.....	37
2.3 Sistema de medição e aquisição de dados .....	41
2.4 Propriedades do <i>Corymbia citriodora</i> .....	43
<b>3 MATERIAIS E MÉTODO</b> .....	45
3.1 Preparação dos corpos de prova.....	45
3.2 Montagem do banco de ensaios .....	49
3.3 Ensaio e aquisição dos dados do processo de lixamento .....	54
3.4 Análise das variáveis de saída.....	59
3.5 Densidade básica e aparente .....	62
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	65
4.1 Densidade básica e aparente .....	65

4.2 Resultados do processo de lixamento .....	65
4.2.1 Potência consumida .....	66
4.2.2 Rugosidade.....	74
4.2.3 Emissão acústica (EA) .....	83
4.2.4 Vibração.....	87
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>91</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>92</b>
<b>APÊNDICE A - ANÁLISE FÍSICA DA MADEIRA .....</b>	<b>97</b>
<b>APÊNDICE B - RESULTADO DO LIXAMENTO .....</b>	<b>99</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A madeira tem se tornado um material de alto consumo, principalmente as de espécies de reflorestamento, onde é possível se fazer o corte raso, na faixa dos 7 a 14 anos de idade da árvore. Por ser um material de fácil transformação, pode ser usada na construção civil, indústria moveleira, painéis à base de madeira, indústria naval, etc. E com o aumento da demanda deste material pelas indústrias madeireiras, é de suprema importância estudar as variáveis que envolvem o processo de desdobro e beneficiamento da madeira. O entendimento dos processos possibilitam a otimização do uso deste material gerando um melhor aproveitamento. O processo de lixamento é considerado um dos processos primordiais para se aplicar acabamento na madeira e é o foco deste estudo.

O lixamento é considerado pela maioria dos pesquisadores como um processo complexo de se estudar, primeiramente devido a madeira ser um material heterogêneo, tendo propriedades e características diferentes de espécie para espécie, e também relacionado ao seu plano de corte, e segundo por serem muitas as variáveis do processo. Devido a essas dificuldades, existem poucos estudos, à nível mundial, relacionados ao lixamento, e mais difícil ainda, de se encontrar pesquisadores na linha de lixamento tubular da madeira no Brasil.

Quando a usinagem de uma peça é feita de forma perpendicular às fibras, se torna necessário o processo de acabamento da mesma, principalmente se esta for usinada através de um torno mecânico. Então é utilizada uma máquina de lixamento tubular para acabamento final.

O processo de lixamento nas indústrias moveleiras tem como objetivo principal diminuir as irregularidades superficiais da madeira e preparar para a aplicação de tingidores, seladores e vernizes, diminuindo o consumo destes itens.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo principal

Estudar a influência e interação dos fatores: conjunto de lixas, velocidade de corte e de avanço, no processo de lixamento tubular do *Corymbia citriodora*, para as variáveis de saída: potência consumida, rugosidade “Ra” (rugosidade média), emissão acústica e vibração.

### 1.1.2 Objetivos secundários

Verificar a utilização de sistema de aquisição de dados para monitoramento do processo do lixamento tubular.

Verificar a possibilidade do uso de sensores de emissão acústica e vibração para monitoramento do processo de lixamento tubular.

## 1.2 Motivações para realização do trabalho

Devido a falta de pesquisas relacionadas ao lixamento tubular, principalmente no Brasil. Esse tipo de processo foi pouco estudado. Foi escolhida a espécie da madeira de *Corymbia citriodora*, conhecida também como eucalipto citriodora, que no Brasil é bastante cultivada, e utilizada nas indústrias madeireiras.

As variáveis escolhidas estão relacionadas aos processos da indústria moveleira, onde o controle das mesmas, ajudará na otimização do processo de acabamento da madeira, gerando menores custos e maiores lucros.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Introdução sobre o processo de lixamento da madeira

Há pouca literatura sobre o processo de lixamento da madeira e não há informações sobre os parâmetros específicos no lixamento da madeira e suas interações. Atualmente, sem essa documentação as indústrias confiam na experiência dos operadores que não possuem o conhecimento técnico. Muitas indústrias usam parâmetros de corte iguais, para diferentes espécies de madeira. Devido a isso, o processo de lixamento nas indústrias é o gargalo na produção (HENDARTO *et al.*, 2011). Gurau (2010) afirma que não há diretrizes aprovadas na metrologia de superfícies de madeira sobre como medir e avaliar objetivamente a qualidade superficial e que também não existe um método padrão e programas de informática específicos que são usados somente para madeira.

Segundo Moura e Hernández (2006) o lixamento é um dos métodos de preparação de superfície mais comuns nas indústrias moveleiras, que precede o processo de revestimento. O objetivo do lixamento é produzir superfícies livres de defeitos visíveis como também deixar a superfície uniforme para absorver o revestimento por igual. As propriedades e características da superfície lixada de madeira diferem grandemente da superfície obtida do aplainamento. O lixamento provoca uma uniformidade na superfície e reduz a influência da estrutura anatômica da madeira, devido a presença de vasos, poros e outros erros geométricos.

A automação no processo de lixamento é limitada pela pouca informação sobre o efeito dos parâmetros de processo na qualidade da superfície. Hann<sup>1</sup> (1957 apud GURAU, 2004) reconheceu a necessidade de controle da qualidade em relação à rugosidade de peças de madeira usinadas em conformidade com uma padronização. Contudo, nenhum padrão foi desenvolvido para superfícies de madeira, e os padrões

---

<sup>1</sup> Hann, R. A. A method of quantitative topographic analysis of wood surfaces. Forest Prod J, n.7, v.12, 1957 apud GURAU, L. ; MANSFIELD-WILLIAMS, H.; IRLE, M. Processing roughness of sanded wood surface. Holz als Roh – und Werkstoff, v.63, n.1, p.43-52, Nov.2004.

existentes para a usinagem de metais, como a ISO 11562 (1996) e ASME B46.1 (1995), não são adequados.

Segundo Ratnasingam e Scholz (2004) o processo de lixamento abrasivo na indústria do mobiliário continua a ser um dos processos mais “complexos” resultando em um alto custo. Ao contrário do processo com máquinas de aplainamento convencional, o qual deve ser feito para proporcionar uma superfície de boa qualidade, necessitando do mínimo de lixamento da madeira. Por isso, o lixamento abrasivo sem um padrão definitivo é submetido a tentativas e erros inevitáveis, uma prática dispendiosa na indústria moveleira. A prática industrial de tratar o processo de lixamento como um custo indireto tem sido citada como a razão pela falta de pesquisa neste assunto. No entanto, com o aumento da competição na indústria do mobiliário por todo o mundo, o que exige um aumento de produtividade, parece haver um crescente interesse nos processos de lixamento da madeira (RATNASINGAM e SCHOLZ, 2004).

### 2.1.1 Composição das lixas

Segundo a NBR 14960/2003, lixa é o produto fabricado com a deposição de grãos de mineral abrasivo, previamente classificado a um tamanho específico, sobre um costado de papel, tecido ou fibra vulcanizada, filme plástico ou combinação (papel + tecido), e unidos por camadas de adesivos que são curadas para obtenção de forma sólida. Na Figura 1 é apresentada a composição da lixa.

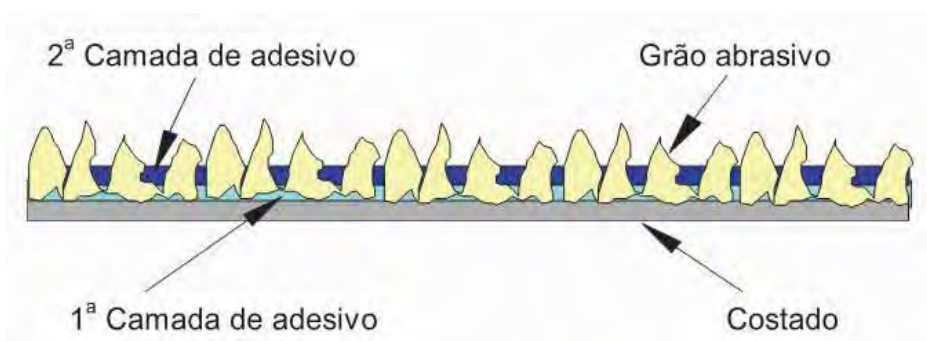


Figura 1 - Composição de uma lixa (NBR 14960/2003)

A Figura 2 apresenta detalhadamente a composição da lixa:

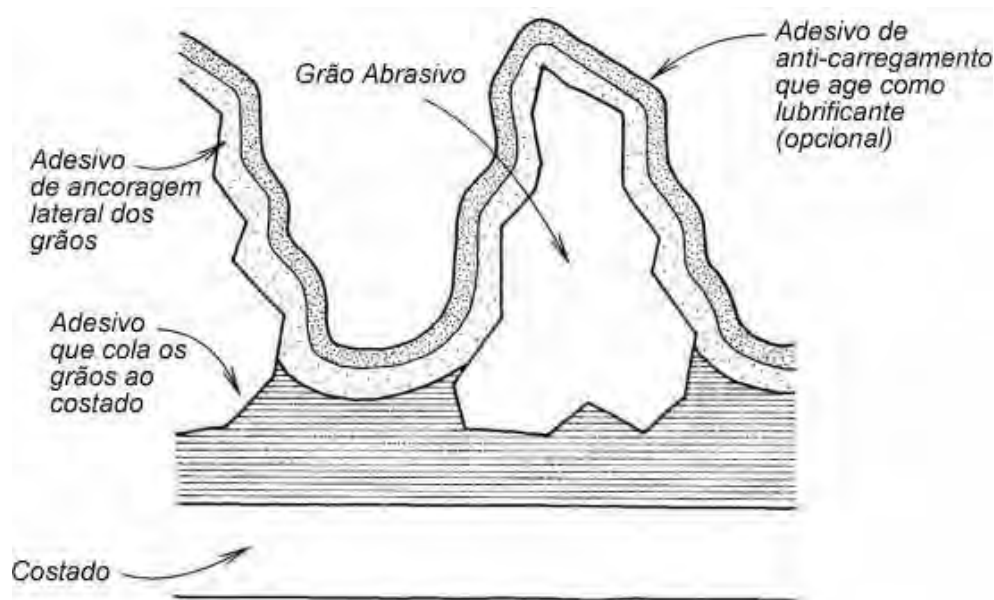


Figura 2 – Anatomia da lixa de papel (adaptado de NAGYSZALANCZY, 1997)

**Grãos abrasivos** – De acordo com Catai (2002) os grãos abrasivos são obtidos através de minerais triturados, formando partículas que são classificadas em números de “grana”. Nagyszalanczy (1997) diz que esses grãos podem ser naturais ou sintéticos, onde possuem diferentes graus de dureza, afiação e resistência, onde cada um deve ser escolhido de acordo com a tarefa a ser executada.

Alguns abrasivos podem ser encontrados na natureza como o sílex, granada, etc., e alguns podem ser fabricados como o óxido de alumínio, carbetto de silício, óxido de zircônio, CBN (nitreto de boro cúbico), entre outros. A maioria das ferramentas abrasivas revestidas consiste em uma ou múltiplas camadas de grãos orientados de tamanhos aproximados que são colados a um substrato. O padrão dos tamanhos de grãos é estabelecido por peneiramento em malhas de tamanhos conhecidos, por sedimentação ou por flotação do ar. A disposição dos grãos no costado é feita por gravidade (Figura 3) ou induzida por polarização eletrostática (Figura 4). Esses abrasivos fabricados apresentam tamanhos, forma, distribuição e orientação de grãos,



todos de um modo aleatório. O ângulo de inclinação dos grãos para o corte muitas vezes não é conhecido. Carrano e Taylor (2005), devido a esses fatores, fizeram um trabalho onde o objetivo foi desenvolver e validar um modelo computacional em 3D que iria ajudar no entendimento do impacto da geometria dos grãos sobre a rugosidade. Então conseguiram moldar a geometria dos grãos abrasivos, conhecendo-se também a superfície a ser usinada, e calcular os ângulos de corte, prevendo então que tipo de usinagem iria ser realizada.

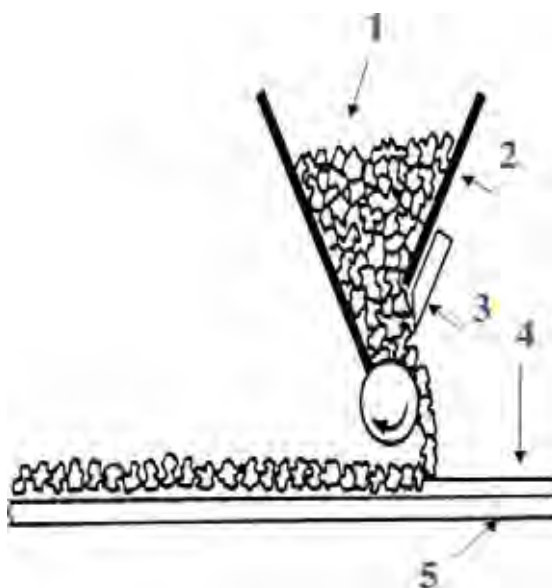


Figura 3 - Fabricação da lixa por sistema de gravidade. 1- Grãos, 2- Reservatório de alimentação, 3- Faca de ajuste de alimentação, 4- Camada de adesivo sobre o costado e 5- Costado (BOZO, 2011).

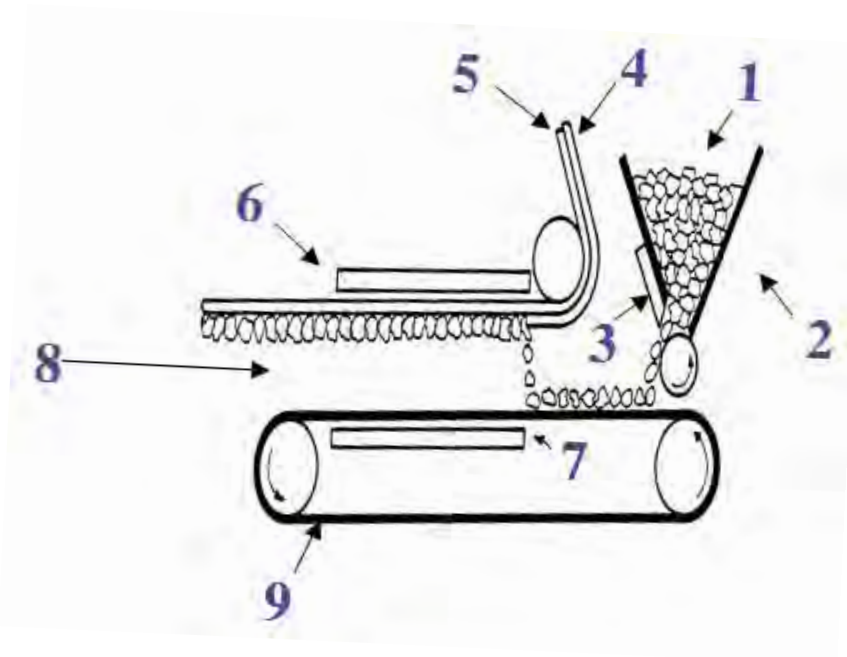


Figura 4 - Fabricação da lixa por sistema eletrostático. 1- Grãos, 2- Reservatório de alimentação, 3- Faca de ajuste de alimentação, 4- Camada adesiva sobre o costado, 5- Costado, 6- Placa eletrostática negativa, 7- Placa eletrostática positiva, 8- Campo eletrostático e 9- Correia alimentadora (BOZO, 2011).

Moura e Hernández (2006) citam em seu trabalho que os grãos abrasivos nas lixas funcionam como pequenas facas com pequenos ângulos de saída. De fato, os grãos abrasivos fazem o polimento da superfície que é ocasionado por “danos” mecânicos. As paredes celulares são comprimidas e os lúmens são preenchidos por pó fino durante o lixamento. Superfícies lixadas também são caracterizadas pela presença de grupos de microfibrilas arrancadas das paredes celulares pelo processo abrasivo.

É a partir do tamanho dos grãos de um produto abrasivo que se define sua granulometria. Santiago (2011) cita em seu trabalho que a norma mais usual para a classificação dos grãos é a ANSI Standard B 74.12, que especifica o tamanho dos grãos em “mesh”. Esta medida é a representação do número de fios por polegada linear da peneira na qual os grãos ficam retidos no processo de seleção. Quanto maior o número de fios, menor serão os tamanhos dos grãos (Figura 5).

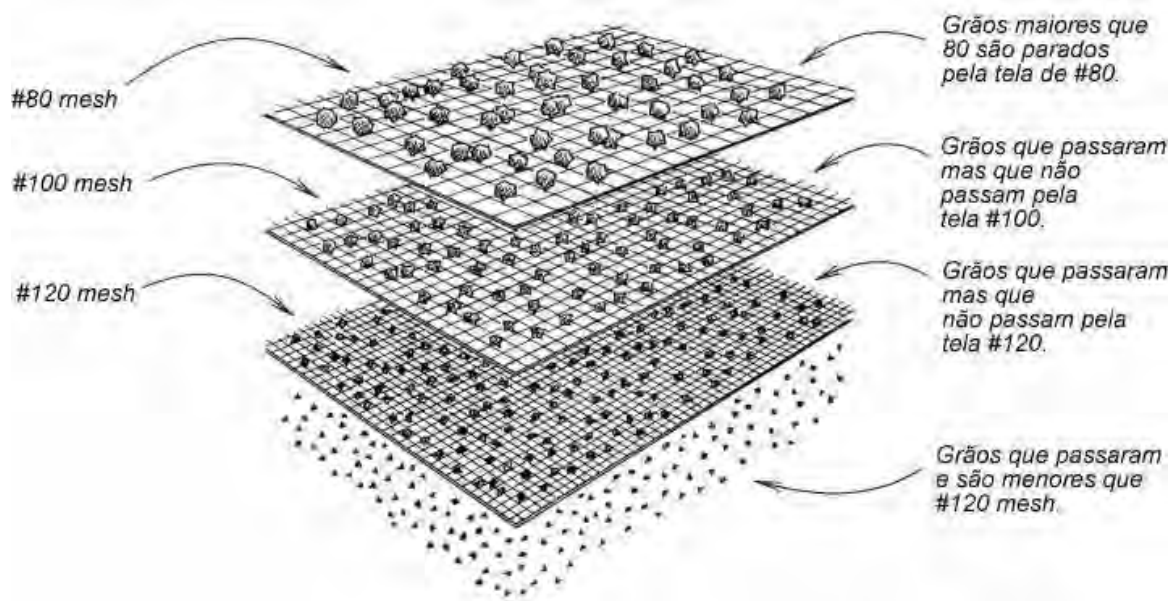


Figura 5 – Sistema de gradeação dos grãos abrasivos (adaptado de NAGYSZALANCZY, 1997).

Todos os abrasivos fabricados no Brasil e nos Estados Unidos obedecem duas normas técnicas de classificação do tamanho do grão abrasivo: a norma ANSI (CAMI) estabelecida por um instituto normalizado americano, e a norma FEPA estabelecida pela federação europeia. No primeiro grupo os grãos são classificados através do peneiramento, e tanto na norma ANSI e FEPA os grãos são divididos em 14 diferentes tamanhos, desde o grão P16 até o P220. Estes números significam o número por polegada linear que a peneira usada na classificação possui. No segundo grupo os grãos são classificados por processo de sedimentação, portanto os grãos são divididos em 7 tamanhos diferentes, do 240 ao 600. Pela norma FEPA são divididos 12 diferentes tamanhos que vai do P240 ao P2500. No grão abrasivo da norma FEPA usa-se a letra P antes do número.

Quando for indicar um abrasivo revestido fabricado no Brasil ou nos Estados Unidos para substituir outro produto fabricado na Europa, a correlação correta de grão deve ser seguida de acordo com tabela específica para que o rendimento de acabamento dos dois produtos seja equivalente. A Tabela 1 mostra alguns tamanhos equivalentes entre as duas normas.

Tabela 1 - Tamanho de grãos equivalente aproximados (NAGYSZALANCZY, 1997).

<b>Escala ANSI</b>	<b>Escala FEPA</b>
#80	P80
#120	P120
#220	P220
#240	P280
#320	P400
#600	P1200

Existem outras formas de classificação de lixa de acordo com o tamanho dos grãos (Tabela 2).

Tabela 2 - Classificação simplificada (adaptado de HAWKS, 2011).

<b>Grãos (mesh)</b>	<b>Classificação</b>
600-500	Super Fino
400-360-320	Extra Fino
280-224-220	Muito Fino
180-150	Fino
120-100	Médio
80-60-40	Grosso (desbaste)

## **Tipos de abrasivos**

Existem diversos tipos de abrasivos que são classificados de acordo com o material e tamanho dos grãos abrasivos, material do costado, tipo de lixa: cinta, banda larga e folha. E essa classificação é padronizada por cada fabricante de lixa. A seguir, são colocados os tipos de materiais que compõem o material abrasivo e suas classificações.

- **Naturais**

**Esmeril** – Uma pedra composta por vários minerais duros, sendo o Coríndon o mineral mais abundante em sua composição. É uma das mais duras entre todas as substâncias naturais. A lixa feita com esse tipo de grão é usada para metais. Quando

usada na madeira pode danificá-la devido a sua forma. Discos de esmeril são usados para afiação de ferramentas de corte.

**Sílex** – Rocha muito dura composta de calcedônia e opala. Nome comum de várias pedras cuja base é a sílica, areia. Essas partículas não são nem resistentes ou afiadas. As lixas quem possuem sílica são de baixo custo, devido ao tipo de grão e também ao adesivo mais barato, e são fáceis de fabricar se comparada aos outros tipos de lixas. A durabilidade de uma lixa de sílica é baixa, sendo inviável o seu uso intenso na indústria.

**Granada ou granalha** – Mineralogia mineral ordinariamente constituída de sílica, alumínio e óxido de ferro. As granadas comuns são encontradas em diversas rochas metamórficas. A indústria utiliza essas granadas para cortar e polir pedras preciosas. Em lixas, essas partículas são extremamente afiadas e quando novas podem usinar a madeira de forma agressiva. Porém essa afiação se perde com o tempo de usinagem, muito rapidamente. Apresenta o mesmo problema da lixa de sílica, onde não é viável economicamente seu uso na indústria, pois a troca de lixa precisa ser feita frequentemente.

- **Sintéticos**

Esses grãos são mais resistentes e mais duradouros que os naturais. No geral se comportam melhor e são de custo menor.

**Óxido de Alumínio ( $Al_2O_3$ )** – O mais popular de todos os grãos abrasivos, onde são usados em lixas de folha, cinta e disco. Esse tipo de grão possui um bom equilíbrio entre dureza, afiação, e resistência, o que o torna um ótimo abrasivo. A sua forma é de cunha, a qual permite que o grão penetre em madeiras densas e com alta velocidade de corte, sem a fratura do mesmo. As lixas de óxido de alumínio são vendidas em várias granulometrias, desde superfino até o mais robusto.

**Carbeto de Silício (SiC)** – Carbeto artificial sintetizado do coque e sílica(areia) pelo processo eletrolítico. Tem a habilidade de usinar agressivamente uma variedade de materiais com pouca pressão de trabalho. Mas devido a sua dureza os grãos são

mais quebradiços e não tão resistentes. A vida útil de uma lixa de carbetto de silício é menor que uma lixa de óxido de alumínio. Mas porque esse tipo de grão resiste bem ao calor, tem um bom desempenho quando necessária alta potência de corte, como calibração de espessura de painéis. No entanto, as lixas de carbetto de silício estão disponíveis para granulometrias ainda mais baixas. E também possui uma boa resistência a umidade.

De acordo com Juan<sup>2</sup> (1992 *apud* MOURA; HERNÁNDEZ, 2006) e Taylor<sup>3</sup> *et al.* (1999 *apud* MOURA; HERNÁNDEZ, 2006) o efeito de diferentes minerais abrasivos na qualidade das superfícies lixadas da madeira tem sido pouco estudado. O óxido de alumínio foi considerado o melhor abrasivo para uso em madeira, devido a sua alta durabilidade e habilidade de acabamento. No entanto, estudos tem mostrado que o carbetto de silício, quando usado a baixas pressões, pode produzir superfícies com menores rugosidades. Os arranhões de superfície provocados pelo carbetto de silício são mais profundos e mais estreitos que os obtidos com óxido de alumínio. A absorção da superfície é mais difícil quando apresenta arranhões mais profundos e estreitos, logo o óxido de alumínio produz superfícies com melhores propriedades de absorção.

Taylor *et al.* (1999) em seu estudo fizeram uma comparação entre 2 tipos de abrasivos, e 3 valores de pressão: 0,50-0,65-0,80 psi (Figura 6), e teve como resultado que a pressão no corte teve influencia na rugosidade (Rq), com todos os tamanhos de grãos usados. E nesse estudo o carbetto de silício provocou um melhor acabamento superficial que o óxido de alumínio.

---

<sup>2</sup> Juan, J. Comment bien usiner le bois. Centre technique du bois et de l'ameublement (CTBA), Paris. 1992.

<sup>3</sup> Taylor, J. B., Carrano A. L., Lemaster, R. L., Quantification of process parameters in a wood sanding operation. Forest Prod J, n.5, v.49, p.41-46, 1999.

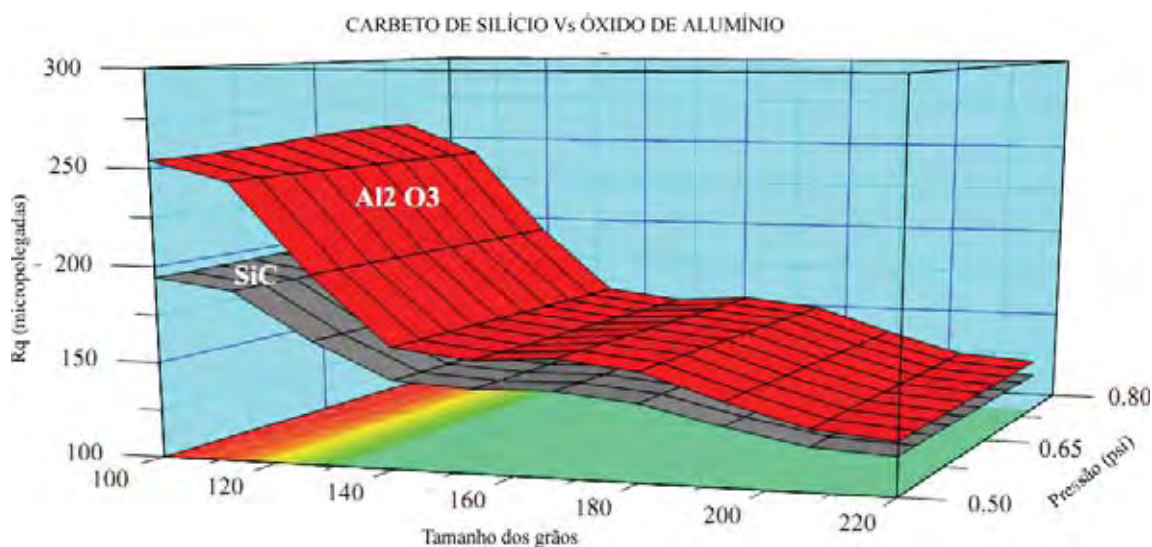


Figura 6 - Comparativo entre carbeto de silício e óxido de alumínio para rugosidade (Rq). (TAYLOR *et al.*, 1999)

**Cerâmico: Óxido de Alumínio Zirconado (AZ)** – Os minerais cerâmicos são feitos pela infusão de vidro com compostos metálicos. Um desses tipos é o óxido de alumínio zirconado que foi patenteado pela Norton e vendido pelo nome comercial de Norzon.

Estes minerais cerâmicos possuem ótimas propriedades de trabalho: são extremamente duros, muito afiados, e muito resistentes. Embora não tão duros quanto o carbeto de silício, os cerâmicos possuem dureza para usinar agressivamente a maioria dos materiais, incluindo as madeiras de mais alta densidade. Além das propriedades anteriormente citadas, os abrasivos cerâmicos possuem friabilidade, o que significa com a geração de calor produzida na usinagem, os grãos se quebram produzindo novas arestas de corte afiadas. Isso torna os abrasivos cerâmicos uma boa escolha para altas taxas de remoção de material. Eles também possuem resistência a altas temperaturas, logo não queimam a madeira pelo trabalho excessivo. Porém eles possuem duas desvantagens: são produzidos com tamanhos de grãos limitados, e possuem custo alto.

**Adesivo** – A taxa de remoção de material de uma lixa é determinada principalmente pela qualidade da adesão dos grãos abrasivos no costado. A adesão



deve garantir que o grão fique firmemente ligado ao material de costado enquanto mantém a flexibilidade da lixa. Hoje em dia, resinas sintéticas, e muito raramente, resinas animais são usadas como agente de adesão dos grãos. A resina sintética é a mais adequada, pois ajuda a promover altas taxas de remoção de material e possui menor desgaste no decorrer do processo de lixamento.

A colagem dos grãos é dividida em dois processos: é feita a ancoragem do grão no costado colando-se a parte de baixo, e posteriormente é feito a ancoragem lateral que liga os grãos lateralmente no costado da lixa. E adicionalmente, o abrasivo recebe um adesivo de anti-carregamento, que torna a lixa mais resistente com a função de lubrificação (NAGYSZALANCZY, 1997).

**Costado** – Segundo Catai (2002) costado é todo material flexível ou semi-rígido no qual o grão abrasivo é fixado por um adesivo. Os materiais podem ser: papel, tecido, fibra, filme plástico e combinações entre eles.

O tipo de mineral abrasivo e o seu tamanho são os primeiros determinantes no desempenho de uma lixa. Mas o peso do costado (considerando-se a espessura e sua rigidez) também são fatores determinantes. Geralmente esse fator determina a durabilidade da lixa, seja ela de cinta, de disco, tambor, etc. (NAGYSZALANCZY, 1997).

Os materiais de costado são classificados de acordo com sua espessura e gramatura (Tabela 3).

Tabela 3 - Classificação de costado para abrasivos (adaptado de BOSCH, 2011).

<b>Papel</b>	<b>Tecido</b>	<b>Fibra Vulcanizada</b>
A= aprox. 95 g/m <sup>2</sup>	X = algodão, pesada	V8 = 0,8mm de espessura
B= aprox. 105 g/m <sup>2</sup>	XF = algodão, leve	V6 = 0,65mm de espessura
C= aprox. 110 g/m <sup>2</sup>	YX = poliéster, pesada	
D= aprox. 130 g/m <sup>2</sup>	J = algodão, leve	
E= aprox. 250 f/m <sup>2</sup>	JF = algodão, leve, muito flexível	



### 2.1.2 Estudos sobre o processo de lixamento

Ratnasingam *et al.* (2004) fez um estudo para estabelecer um tipo de lixamento ideal para a madeira de Rubberwood (*Hevea brasiliensis*) onde se concluiu que o lixamento pode ser otimizado quando o processo anterior, de aplainamento, fosse bem executado. E que no processo de lixamento, obtêm-se melhores resultados quando feito em duas etapas. Koch (1964) diz que o processo de lixamento deve ser dividido nessas duas etapas de trabalho. Na primeira etapa (desbaste) deve-se preparar a madeira reduzindo a aspereza superficial da peça e na segunda (lixamento) prepara-se a madeira para a subsequente aplicação de materiais de acabamento.

De acordo com Gurau *et al.* (2004) o principal método de avaliação de qualidade de uma superfície é o da rugosidade. Logo, o estudo aprimorado deste efeito de rugosidade leva ao processo otimizado de lixamento. Muitos métodos de medição de rugosidade têm sido padronizados para materiais homogêneos, que não podem ser aplicados à madeira, que por sua vez é considerado um material heterogêneo. Os fatores que podem afetar esses valores de rugosidade são a anatomia da madeira e também ondulações provocadas pela usinagem. Em seu trabalho Gurau *et al.* (2004) apresentou um método de avaliação de rugosidade onde se excluiu a influência da anatomia da madeira de “European oak” (*Quercus robur L.*) lixada com granulometrias de P120, P150, P180, P240 e P1000, através da aplicação do filtro de Regressão Gaussiana Robusta, com “cut-off” de 2,5mm, chegando a conclusão que quanto mais fino o tamanho dos grãos de lixa, mais “lisa” ficava a superfície. Porém que as lixas de granulometria P120, P150 e P180 apresentaram valores muito próximos. Indicando que não é muito econômico se ter uma operação de lixamento com tamanhos de grãos finos em sequência, para a madeira de *Quercus robur L.*

A qualidade dos produtos de madeira é a combinação de texturas devido a vários processos como o corte, aplainamento e lixamento das peças. O processo de lixamento de um modo geral determina a qualidade de acabamento de uma peça. Hendarto *et al.* (2006) mostram em seu trabalho que a qualidade dos produtos de madeira é frequentemente caracterizada pelas irregularidades da superfície ou pela rugosidade. E

que há avaliação da qualidade de forma visual ou pelo tato. Mas que, entretanto, esses métodos não são quantitativos. Há uma grande variedade de instrumentos que avaliam a textura e medem a rugosidade, como os rugosímetros e câmeras de vídeo de análise. Porém são mais usados para plástico e metal. Infelizmente não há um aparelho comercialmente disponível, com fins específicos para medição em superfícies de madeira.

Hendarto *et al.* (2006) ainda falam em seu trabalho que um método eficiente para se analisar a rugosidade da madeira é limitado pelo fato de que o efeito da estrutura anatômica está longe de ser totalmente investigado. A principal razão disso é a dificuldade de se distinguir as irregularidades superficiais causadas pela usinagem e pela anatomia da madeira.

A falta desses métodos de análise de superfície para madeira é devido à estrutura não homogênea que ela possui. O lenho de diferentes locais de uma mesma árvore pode variar em sua estrutura morfológica. Esse fator também dificulta o estudo do lixamento da madeira, por existirem muitas espécies para serem analisadas. Sandak e Tanaka (2003) citam em seu trabalho que o procedimento padrão para medida de rugosidade desenvolvida para metais deve ser modificado quando usados para a madeira.

Devido a necessidade de se controlar o processo de lixamento, os métodos estão sendo desenvolvidos relacionando-se variáveis de entrada, onde é possível fazer o controle das mesmas, obtendo-se variáveis de saída, como rugosidade, emissão acústica, potência consumida, entre outras, possibilitando um melhor entendimento do processo de lixamento, com o objetivo de se otimizar todo o processo, como é o caso do estudo feito por Santiago (2011).

Santiago (2011) fez um trabalho com o objetivo de entender a interação de variáveis de entrada como granulometria de lixa, velocidade de corte e pressão, sobre algumas variáveis de saída no lixamento plano: taxa de remoção de material, temperatura, rugosidade, potência consumida, força de corte, emissão acústica e integridade superficial, usando-se a madeira de *Pinus elliottii*, processada

paralelamente às fibras. E para a taxa de remoção de material foi observado que a granulometria, pressão e velocidade de corte, influenciaram significativamente. Para o acabamento superficial, apenas a granulometria de lixa influenciou significativamente na rugosidade.

Relacionando o processo de lixamento com o posterior revestimento de peças de madeira de *Eucalyptus grandis*, Silva *et al.* (2010) desenvolveu um estudo que mostra que a qualidade do revestimento está relacionada à superfície ancoradora e com o produto utilizado. E enfatiza que as superfícies de qualidade devem apresentar baixa rugosidade, poucos defeitos e ausência de impurezas, que podem ser obtidas com o lixamento. Em seu trabalho ele usou lixas com tamanho de grão P100-P150-P220, e posterior revestimento de verniz nitrocelulósico que apresentou bom desempenho em relação à aderência.

### **Lixamento tubular**

O lixamento tubular, diferentemente do lixamento plano, é feito em peças com formato cilíndrico, provenientes de uma usinagem de corte perpendicular às fibras da madeira. Esse tipo de lixamento envolve uma velocidade de corte proporcionada pela rotação de lixas em cabeçotes e possui também esteiras de avanço que quando se aumenta seu ângulo de inclinação, se aumenta a velocidade de avanço da peça cilíndrica. Geralmente possui 2 cabeçotes, um para desbaste e outro para acabamento.

Esse tipo de lixamento é muito usado para peças torneadas, como componentes de móveis e também cabos de ferramentas.

Para Gonçalves (2000), em madeiras, o lixamento torna-se necessário sempre que se realiza o corte perpendicular às fibras, pelo fato de estas se romperem, prejudicando o acabamento. O corte perpendicular pode ser visto na Figura 7, onde o corte em questão é o 0-90, com o gume cortante na direção das fibras, porém com o movimento de corte perpendicularmente a elas.

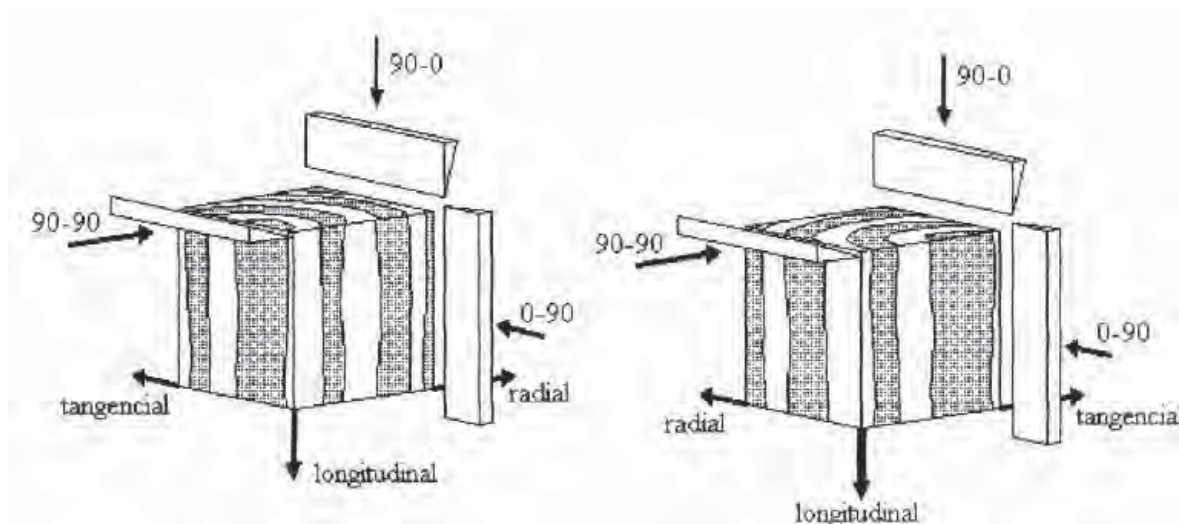


Figura 7. Sistemas de corte aplicados a seção transversal da madeira (GONÇALVES, 2000).

Tibúrcio (2009) desenvolveu um trabalho onde coletou dados de rugosidade no lixamento tubular da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Corymbia citriodora*, com uma lixadeira de cinta vertical dupla, com quatro jogos de lixas de granulometrias de P80, P100 e P120 (P80-P100, P80-P120, P100-P120 e P80-P120 desgastadas), sendo a primeira lixa para desbaste e a segunda para acabamento. E verificou que para os três conjuntos de lixas novas empregadas, o conjunto de lixas P80-P120, foi aquele que apresentou melhor desempenho quanto ao acabamento superficial para as duas espécies.

Em outro trabalho, Varanda (2010) usando um sistema de lixamento tubular, obteve resultados onde as lixas de granulometria P100 e P120, para desbaste e acabamento, respectivamente, resultaram em valores de rugosidade média inferiores aos demais conjuntos de lixas usadas (P80-P100, P80-P120 e P100-P120).

Varasquim (2009) realizou um trabalho onde se usou uma central de aquisição de dados acoplada a uma lixadeira de fita horizontal para análise da influência da velocidade de corte, granulometria das lixas e da carga aplicada no processo de lixamento plano da madeira de *Eucalyptus grandis* com corte perpendicular às fibras. Foram medidos os esforços de corte através da força tangencial de lixamento e da potência de lixamento. Observou-se que a lixa que apresentou menor esforço foi a de gramatura P100, e que também houve influência da carga com a força e a potência de

lixamento. As melhores rugosidades foram obtidas através de ensaios com maiores cargas.

Porankiewicz e Wieloch (2008) fizeram um estudo sobre lixamento perpendicular às fibras com a madeira *Fagus sylvatica* L., usando uma lixadeira de disco onde correlaciona este tipo de lixamento ao aumento da temperatura podendo provocar marcas de queimadura na madeira. E mostrou que com o aumento do tamanho do grão, da velocidade de corte, e da pressão, o nível de marcas de queimadura também aumentou.

## 2.2 Parâmetros do processo

### 2.2.1 Potência de corte

Saloni *et al.* (2005) fizeram um estudo envolvendo o consumo de potência em ensaio com madeira de “pine” e “maple”, com variação de pressão de 0,75-1,00-1,25-1,50psi, granulometria P100-P150-P220, e dois tipos de abrasivos minerais: óxido de alumínio e carbeto de silício, em uma lixadeira de cinta. Foi constatado que com o aumento da pressão houve o aumento da potência consumida. O mesmo aconteceu para o aumento da velocidade de corte. O abrasivo que resultou em menor potência de corte foi o óxido de alumínio.

De acordo com Aguilera e Martin (2001) se os parâmetros para alcançar uma determinada rugosidade forem conhecidos, e se a usinagem é feita com menores forças de corte, a potência de corte pode ser reduzida.

Saloni *et al.* (2005) fizeram um estudo onde se enfatiza que as variáveis que podem influenciar no consumo de potência são: largura de corte, profundidade de corte, velocidade de rotação da ferramenta cortante, número de facas, velocidade de alimentação e orientação de corte. Outros fatores como afiação e condições de corte, são relacionados à ferramenta utilizada.

Varasquim (2009) em seu trabalho *Análise da Influência da Velocidade de Corte na madeira de Eucalyptus grandis* obteve resultados onde a variação da granulometria de lixa afetou a potência de lixamento. Porém percebeu-se que a potência de lixamento não aumentou de acordo com a granulometria de lixa usada (P80-P100-P120).

Varanda (2010) realizou um trabalho com uma lixadeira tubular, onde a potência foi analisada, com madeira de *Eucalyptus grandis*, em função das velocidades de corte de 19,5 - 22,7 - 26 - 28,1 m/s, e granulometria de lixas de P80-P100, P80-P120, P100-P120. As duas maiores velocidades de lixamento (26 e 28,1 m/s) consumiram maior potência de corte para os três conjuntos de lixas. A velocidade de 22,7 m/s consumiu menor potência de corte em todos os conjuntos de lixas usadas. De acordo com Varanda, há diversas formas 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 da madeira, 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 a operação de desdobro das toras de pinus, mais precisamente, em operação de serramento por serra de fita. Um medidor do tipo alicate (portátil) foi utilizado 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 os valores de diversas variáveis de saída, como tensão, corrente, frequência, fator de potência ativa e potência aparente.

Estudos feitos por Carrano e Taylor (1997) e Saloni (2003) confirmaram que com o aumento da pressão de corte, a taxa de remoção de material e a potência de corte também aumentaram. Apesar da indústria madeireira não consumir altos níveis de potência, ela pode ser considerada um importante consumidor e diante de todos os processos dentro da indústria o processo de lixamento parece ser o maior consumidor.

Saloni *et al.* (2005) fizeram um estudo que mostrou que a potência consumida aumentou com o aumento da velocidade de corte e de avanço, usando-se uma lixadeira

de cinta, e lixas de óxido de alumínio e carvão de silício, e mostraram também que com o aumento da pressão aplicada, obteve-se aumento de potência consumida. Samolej e Barcik (2006) disseram que geralmente, quanto maior a granulometria da lixa, maior é a potência de corte, e isso varia para os cortes perpendicular e paralelo às fibras. Javorek *et al.* (2006) mostraram que a espécie da madeira tem pouca influência no consumo de potência, mas que a pressão e a direção de corte relativa às fibras, têm importância fundamental na potência de corte.

### 2.2.2 Emissão Acústica

Reddy (2010) em seu trabalho define emissão acústica como uma classe de fenômenos onde ondas elásticas são geradas pela liberação rápida de energia provinda das fontes no interior do material. Em outras palavras a emissão acústica é referente às ondas de tensão gerada por processos dinâmicos no material. Emissão ocorre como a liberação de uma série de pacotes de pulso de energia. A energia então liberada viaja como uma onda e é então captada pela superfície de um material usando transdutores altamente sensíveis. Esse tipo de medição é feito principalmente para usinagem de metais, e em seu estudo Reddy fez a medição no processo de torneamento de aço leve. O sinal de emissão acústica foi captado por um elemento piezoelétrico altamente sensível com a ajuda de amplificadores. Ele usou os sinais de emissão acústica como indicador que prediz, em tempo real, a condição da rugosidade da superfície usinada, e foi encontrada uma relação entre as duas variáveis.

A emissão acústica é utilizada como variável de medição, principalmente na usinagem de metais, onde é relacionada com ao desgaste das ferramentas de corte. Giriraj *et al.* (2010) fez uma metodologia que conduziu a experimentos para prever o desgaste da ferramenta em uma máquina de alta velocidade usando a técnica de emissão acústica por uma rede neural artificial.

Uma das melhores formas de se monitorar o sinal de emissão acústica (EA) é pelo seu valor RMS (Root Mean Square) ou valor quadrático médio, o qual é um valor



retificado do sinal em intervalos de tempo determinado, e vem sendo amplamente utilizado com sucesso para monitoramento de diversos processos (WEBSTER, 1996).

### 2.2.3 Vibração

De acordo com Budakci *et al.* (2007) a textura de uma superfície em madeira usinada se divide em três graus. No primeiro a textura é definida pela anatomia da madeira, no segundo a textura é definida pelo método de usinagem (que resultam em marcas de dente de serra e marcas de faca de plainas), e no terceiro e último grau a textura é definida dentro do próprio método de usinagem como vibração, desalinhamento, e falta de afiação das ferramentas de corte.

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. O monitoramento desse parâmetro é feito sem interromper o funcionamento da máquina.

Sensores de vibração são conhecidos por acelerômetros piezoelétricos. Baseiam-se no efeito piezoelétrico dos cristais de quartzo para gerarem um sinal elétrico proporcional à aceleração que lhe é aplicada. Em um acelerômetro, a tensão nos cristais ocorre como o resultado da imposição de uma força de uma massa sísmica sobre o cristal. Dentro da faixa de frequência especificada, essa estrutura obedece à segunda Lei de Newton. Desta forma, a quantidade total da carga acumulada é proporcional à força aplicada, que por sua vez, é proporcional à aceleração (MOREIRA, 2007).

Para Alves *et al.* (2009) todos os componentes possuem diferentes e particulares frequências de vibração, que podem ser isoladas e identificadas. A amplitude de cada componente de vibração distinto deverá permanecer constante ao longo do tempo, caso não ocorram alterações na dinâmica operacional da máquina ou mudança na integridade dos componentes. Através da análise de vibrações pode-se detectar desgaste de ferramentas, queima em peças, condição de lubrificação, entre outros.



#### 2.2.4 Rugosidade

Magoss (2008) define rugosidade como a caracterização de irregularidades em uma superfície usinada. Essas irregularidades podem ser determinadas pela medição da altura, largura e forma dos picos e vales produzidos nas operações de usinagem da madeira ou pela anatomia da mesma. A qualidade superficial é uma complexa definição e é caracterizada quantitativamente nos dias de hoje por diferentes parâmetros como o Ra, Rz e Rmax. Essas variáveis são padronizadas pelas Normas ISO 4287 e 13565-2.

A qualidade da superfície em materiais depende de diversos fatores e são relacionados tanto a anatomia da madeira como condições de usinagem. Isso varia de espécie para espécie, de acordo com a densidade, teor de umidade e a distribuição dos vasos e traqueídes e seus respectivos diâmetros. A madeira não é considerada um material homogêneo por possuir uma distribuição de elementos anatômicos variando de espécie para espécie, e variando até mesmo em uma mesma árvore. E esse é um fator que dificulta na busca de uma padronização de métodos de medição da rugosidade.

O processo de usinagem também é um fator determinante na avaliação da rugosidade. Em muitos estudos foram constatados a influência de alguns fatores como a velocidade de corte, afiação da ferramenta de corte, direção de corte, vibração da máquina, entre outros.

Prasad e Sarcar (2008) realizaram um trabalho onde relacionaram o parâmetro rugosidade média (Ra) com o desgaste da ferramenta no processo de torneamento, usando um sistema de medição com rugosímetro, e também um sistema de medição indireta com câmeras, e chegaram à conclusão que a rugosidade está diretamente ligada as condições da ferramenta de corte.

De acordo com Aguilera e Martin (2001) para se obter uma qualidade superficial desejada, é possível somente através da obtenção dos valores de rugosidade. Os parâmetros de usinagem e das ferramentas podem ser mudados para melhorar a

produtividade, reduzir o consumo de matéria prima e aumentar a qualidade dos produtos pelo contínuo monitoramento e controle das variáveis do processo.

Dependendo do tipo de superfície e do material avaliado, a definição de qualidade superficial pode ter um significado diferente, conforme o comprimento de amostragem (MALDONADO, 1998). As irregularidades de forma e de estado de superfície usinada podem ser definidas geometricamente em seis níveis:

1ª ordem: diferença de forma e deposição que indicam uma zona de tolerância em relação a um referencial específico;

2ª ordem: caracteriza as ondulações de um perfil, de caráter periódico devida às vibrações de baixas frequências de peça ou da ferramenta;

3ª e 4ª ordens: a rugosidade em si, regular ou de alta frequência, decorrente do avanço, da geometria e qualidade de afiação da ferramenta, e do material;

5ª e 6ª ordens: dependem da estrutura físico-química, além do domínio da metrologia.

- **Sistema de medição da rugosidade da linha média**

São usados dois sistemas básicos de medida: o da linha média (M) e o da envolvente (E). O sistema da linha média é o mais utilizado. No Brasil, pela Norma ABNT NBR 6405/1988, é adotado o sistema da linha média (M).

A linha média é a linha paralela à direção geral do perfil (Figura 8) da amostragem ( $l_m$ ), de tal modo que a soma das áreas superiores, compreendida entre ela e o perfil efetivo, seja igual à soma das áreas inferiores.

As normas NBR 4287/2002, NBR 4288/2008 e NBR 6405/1988 padronizaram os parâmetros e critérios para avaliação da rugosidade no apalramento mecânico onde deve se estabelecer um comprimento de medição ( $l_m$ ), com cinco comprimentos de amostragem ( $l_e$ ) chamados de (“*cut-off*”) mostrados na Figura 9.

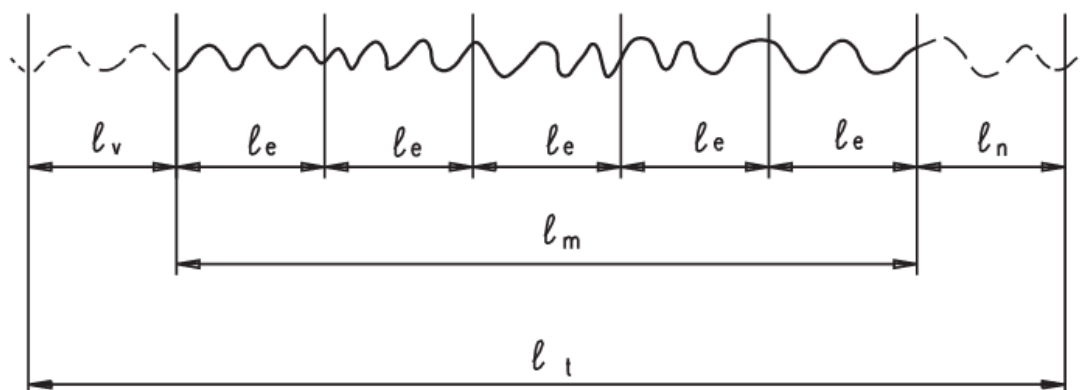


Figura 8 - Comprimentos de amostragem ( $l_e$ ). (NBR 6405/1988)

**$l_e$** : comprimento de amostragem (“*cut-off*”);

**$l_m$** : comprimento de medição – trecho considerado no perfil rugosidade utilizado diretamente na avaliação;

**$l_t$** : comprimento total de medição;

**$l_v$** : comprimento para atingir a velocidade de medição do apalpador;

**$l_n$** : comprimento para parada do apalpador.

Tanto o valor de ( $l_v$ ) como o de ( $l_n$ ) não são considerados na avaliação da rugosidade.

O “*cut-off*”, de acordo com a norma NBR 6405/1988 deve ser escolhido de acordo com a Tabela 4, sendo que os aparelhos de medição, conhecidos como rugosímetros, apresentam os valores limites de “*cut-off*” padronizados.

Tabela 4 - Tabela de comprimento de amostragem (“*cut-off*”) (ABNT – NBR 6405/1988)

Rugosidade Média $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	Mínimo Comprimento ( $l_e$ ) “ <i>cut-off</i> ” (mm)
De 0 até 0,1	0,25
Maior que 0,1 até 2,0	0,8
Maior que 2,0 até 10,0	2,5
Maior que 10,0	8

- **Rugosidade Média (Ra)**

Um dos principais parâmetros de avaliação da medida de profundidade na rugosidade, no processo de lixamento, é a rugosidade média (Ra) e também um dos mais usados em todo o mundo. Possui as vantagens de ser aplicável à maioria dos processos de fabricação de peças, e devido a isso quase todos os equipamentos usados na medição de rugosidade possuem esse parâmetro. E esse parâmetro está de acordo com a curva de Gauss, que caracteriza a distribuição de amplitude.

O parâmetro Ra é a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas de afastamento  $Z(x)$  (Figura 9), dos pontos do perfil de rugosidade em relação à linha média, dentro do percurso de medição ( $l_m$ ). Essa grandeza pode corresponder à altura de um retângulo, cuja área é igual à soma absoluta das áreas delimitadas pelo perfil rugosidade e pela linha média, tendo por comprimento o percurso de medição ( $l_m$ ).

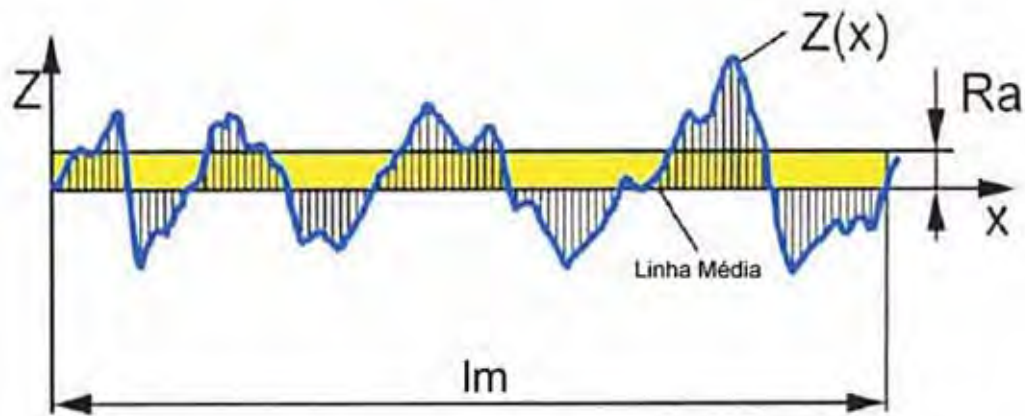


Figura 9 - Percurso de medição de rugosidade média.

O valor de rugosidade média pode ser dado pela Equação (1) e é expresso em ( $\mu\text{m}$ ):

$$Ra = \frac{1}{l_m} \int_0^{l_m} |Z(x)| dx \quad (1)$$

### 2.3 Sistema de medição e aquisição de dados

De acordo com Thomazini e Albuquerque (2008), para o estudo da automação em sistemas industriais, comerciais, automobilísticos, domésticos, é preciso determinar as condições (ou variáveis) do sistema. É necessário obter os valores das variáveis físicas do ambiente a ser monitorado, e este é o trabalho dos sensores.

Alguns elementos do sistema de medição e aquisição de dados são mostrados na Figura 10.

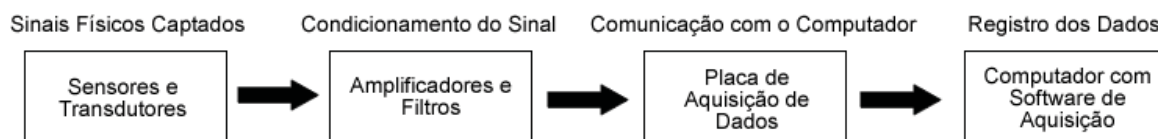


Figura 10 - Esquema do processo de aquisição de dados.

**Sensores** – Dispositivos sensíveis a alguma forma de energia do ambiente que pode ser luminosa, térmica, cinética, relacionando informações sobre uma grandeza que precisa ser medida, como: temperatura, pressão, velocidade, corrente, aceleração, posição, etc. Um sensor nem sempre tem as características elétricas necessárias para ser utilizado em um sistema de controle. Isso geralmente é realizado com um circuito de interface para produção de um sinal que possa ser lido pelo controlador. (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2008).

**Transdutores** – De acordo com Bolton (2002) o termo transdutor é utilizado para descrever qualquer item que transforme informação de uma forma para outra. A razão para a mudança é obter informação que possa ser medida facilmente. É o dispositivo que contém sensor, usado para transformar uma grandeza qualquer em outra que pode ser utilizada nos dispositivos de controle. Um transdutor pode ser considerado uma interface às formas de energia do ambiente e o circuito de controle ou eventualmente entre o controle e o atuador. Ele transforma uma grandeza física

(temperatura, pressão, etc.) em um sinal de tensão ou corrente que pode ser facilmente interpretado por um sistema de controle.

Geralmente os sinais analógicos precisam ser transformados em sinais digitais, principalmente quando o sistema é integrado com um computador que irá coletar os dados e utilizá-los em um programa de computador.

**Condicionamento de sinais** - O elemento que converte o sinal de um transdutor numa forma que pode ser indicada chama-se condicionador de sinais. Muitos transdutores produzem sinais que são muito pequenos ou que não estão na forma correta para acionar o mostrador e, assim, a função do condicionador de sinais é modificar a dimensão e a forma dos sinais para indicação.

Um amplificador é utilizado para aumentar a intensidade de sinais elétricos. Quando um sinal elétrico for à saída do transdutor, o condicionador de sinais poderá ser um amplificador que amplifica o sinal o bastante para registro em um medidor. Um amplificador fornece uma saída maior que a entrada.

Existem outras formas de condicionamento de sinais que precisam ser realizadas nos sinais elétricos, tais como: filtragem, linearização, isolamento elétrica, excitação dos sensores por corrente elétrica (SANTIAGO, 2011).

## 2.4 Propriedades do *Corymbia citriodora*

Conhecida também por eucalipto citriodora, teve em seu nome científico a mudança de gênero, devido a diferenças taxinômicas. É uma espécie que origina árvores com altura variando de 15 a 30 metros, tronco reto, liso, apresentando excelente fuste. A copa tem formato de guarda-chuva, a casca é fina, lisa, brilhante e de cor branca quando nova. Esta espécie é originária da zona oeste de Queensland, Austrália. A qual se desenvolve melhor em regiões de clima tropical à subtropical, resistindo até 0°C, precipitações anuais variando entre 600 à 1000 milímetros. Adapta-se em solos pobres com pedregulhos ou em solos vermelhos, profundos, argilosos e derivados de arenitos. A madeira é da cor castanho-parda a cinza-castanho escuro. É considerada dura a muito dura e seu peso específico encontra-se entre 0,9 a 1,1 g/cm<sup>3</sup>. Muito utilizada para cabos de ferramentas, extração de essências, postes e estruturas pesadas, como também em alguns casos de aplicação de marcenaria (TIBÚRCIO, 2009).

De acordo com Geraldo (2009), a madeira de eucalipto citriodora é plantada no Brasil nas regiões dos estados de Minas Gerais, São Paulo, Bahia, Maranhão, Pernambuco e Paraíba. Possui cerne e alburno distintos pela cor, cerne pardo, alburno branco-amarelado; sem brilho; cheiro e gosto imperceptíveis; densidade alta; dura ao corte; grã variável: direita e ondulada; textura fina a média. Madeira suscetível à ação de xilófagos marinhos. Resistente ao apodrecimento. O cerne é difícil de ser tratado, entretanto, o alburno é permeável. Madeira excelente para serraria, no entanto, requer o uso de técnicas apropriadas de desdobro para minimizar os efeitos das tensões de crescimento. Apresenta boas características de aplainamento, lixamento, furação e acabamento.

No Brasil, o eucalipto citriodora foi introduzido juntamente com outras espécies de eucalipto, com o objetivo inicial de produção de madeira. Hoje, ela é muito utilizada para produção de carvão vegetal, postes, madeira para serraria, mourões de cercas e também como lenha. Além dessa aplicação, atualmente é o eucalipto mais cultivado no país para a produção de óleo essencial (VITTI, 2003).

A indústria madeireira apresenta um potencial muito grande de utilização do Eucalipto para madeira serrada, indústria civil e moveleira. De acordo com Ponce (1995), foi executado um projeto tendo em vista estudar a viabilidade do uso de três espécies de Eucalipto para a fabricação de móveis. Posteriormente foram experimentados materiais de várias espécies, de várias origens e procedências, trabalhos que possibilitaram a conclusão de que o gênero *Eucalyptus* tem perspectivas muito favoráveis para a produção de madeira serrada a partir de florestas de curta rotação.



### 3 MATERIAIS E MÉTODO

Serão descritos os procedimentos e materiais utilizados na realização do estudo com o objetivo de esclarecer a forma com que o trabalho foi conduzido.

#### 3.1 Preparação dos corpos de prova

##### 1ª Etapa – Desdobro da tora em pranchas e confecção dos corpos de prova

Os corpos de prova confeccionados pertencem à espécie de reflorestamento *Corymbia citriodora*. As peças de madeira da espécie utilizada foram adquiridas em uma serraria no município de Bauru-SP, primeiramente no formato de pranchas e depois transformadas em seções cilíndricas em um torno tubular no Campus da Unesp de Itapeva-SP, cujo corte é apresentado na Figura 11, e realizado na orientação 0-90. Convém ressaltar que as peças utilizadas eram de árvores de grande porte, com diâmetro mínimo de 50 cm e idade avançada (cerca 35 anos) e em sua maioria pertenciam ao cerne desta. As análises físicas de densidades (básica e aparente) estão descritas no final deste capítulo.

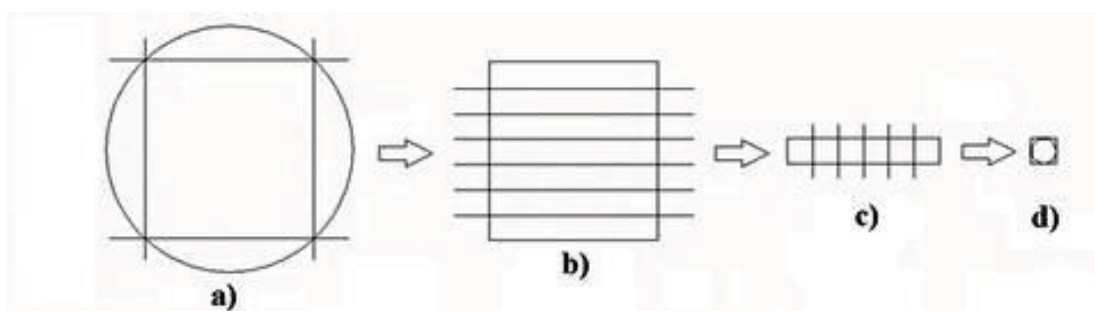


Figura 11 – Confeção dos corpos de prova, a) desdobro da tora, b) transformação em pranchas, c) transformação em blocos e d) confecção dos corpos de prova em torno tubular.

As peças no formato cilíndrico com dimensões médias de 35 e 1220 mm de diâmetro e comprimento, respectivamente, são apresentadas na Figura 12.



Figura 12 – Amostras em sua forma inicial.

## **2ª Etapa** – Uniformização do diâmetro e comprimento dos corpos de prova

A primeira atividade realizada foi uniformizar o diâmetro das amostras, com uma classificação feita por medição com paquímetro, foram classificadas as amostras que possuíam diâmetro médio (média dos três valores obtidos com a medição ao longo do comprimento do corpo de prova, isto é, nas duas extremidades e no centro) com valores entre 34,4 e 35,5 mm. Essa classificação teve como objetivo de que a lixadeira aplicasse uma pressão por igual nas peças em contato com as duas lixas, já que o parâmetro pressão não pode ser controlado.

O próximo passo foi uniformizar o comprimento das amostras, onde estas foram seccionadas ao meio para que ficassem com comprimento de 600 mm. A outra extremidade das amostras foi esquadrejada, de maneira que estas ficassem com as duas extremidades esquadrejadas. As Figuras 13 e 14 mostram o seccionamento e o esquadrejamento das amostras.



Figura 13 - Seccionamento das amostras.



Figura 14 - Esquadreamento das amostras.

Em seguida, foi realizado o lixamento de uma das extremidades dos corpos de prova, em uma lixadeira plana (Figura 15). Este lixamento foi realizado para eliminar o canto “vivo” de uma das extremidades, pois quando o corpo de prova foi colocado na lixadeira tubular este deveria ter uma das extremidades lixadas para evitar o rompimento da lixa.



Figura 15 - Lixamento de uma das extremidades dos corpos de prova.

### **3ª Etapa** – Uniformização das superfícies dos corpos de prova

A próxima etapa foi submeter os corpos de prova na lixadeira tubular, com duas lixas de gramatura 80 (para desbaste), para que todos os corpos de prova ficassem com as mesmas características superficiais e com as mesmas dimensões, para que ficassem disponíveis para a realização dos ensaios de lixamento, como apresentado na Figura 16.



Figura 16 - Corpos de prova preparados para os ensaios de lixamento.



### 3.2 Montagem do banco de ensaios

Antes da realização dos ensaios, juntamente com a preparação dos corpos de prova, foi realizada a montagem do banco de ensaios, da central de aquisição de dados e dos respectivos componentes de captação das variáveis de saída. O banco de ensaios e o módulo de aquisição de 16 canais, modelo BNC2120, marca National Instruments, são mostrados nas Figuras 17 e 18, respectivamente.



Figura 17 - Banco de ensaios utilizado.



Figura 18 - Módulo de aquisição de dados.

A lixa utilizada teve como material abrasivo grãos de óxido de alumínio, o costado de papel, com comprimento de 3000 mm e largura de 150 mm. A escolha dessa lixa tem como características principais ser a mais usada na indústria do mobiliário, e apresentar bons resultados em relação a durabilidade e qualidade superficial provocada na madeira.

O banco de ensaios é composto por uma lixadeira tubular dupla de cinta vertical, a central de aquisição de dados e o painel de comando dos equipamentos. As especificações técnicas da lixadeira tubular dupla de cinta vertical são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Características técnicas da lixadeira tubular.

Características técnicas da lixadeira tubular	
Marca	Águia
Modelo	LPD 3200
Alimentação de peças	Manual
Tipo de avanço	Automático
Motor de avanço	1 CV – 1130 rpm
Motor dos cabeçotes	7,5 CV – 1740 rpm
Quantidade de Lixas	2 – Desbaste e Acabamento
Dimensão da lixa de cinta	3000 x 150 mm
Velocidades de Avanço	De 9 a 20 m/min
Velocidades de Corte	De 19,5 a 28,1 m/s

A Figura 19 mostra detalhadamente o sistema de tracionamento por esteira de borracha, (a) o corpo de prova posicionado com o avanço para a esquerda, (b) o primeiro cabeçote fazendo o desbaste e o segundo o acabamento e (c) a localização de todas as polias sendo a polia intermediária a que provoca o contato da lixa com a peça.

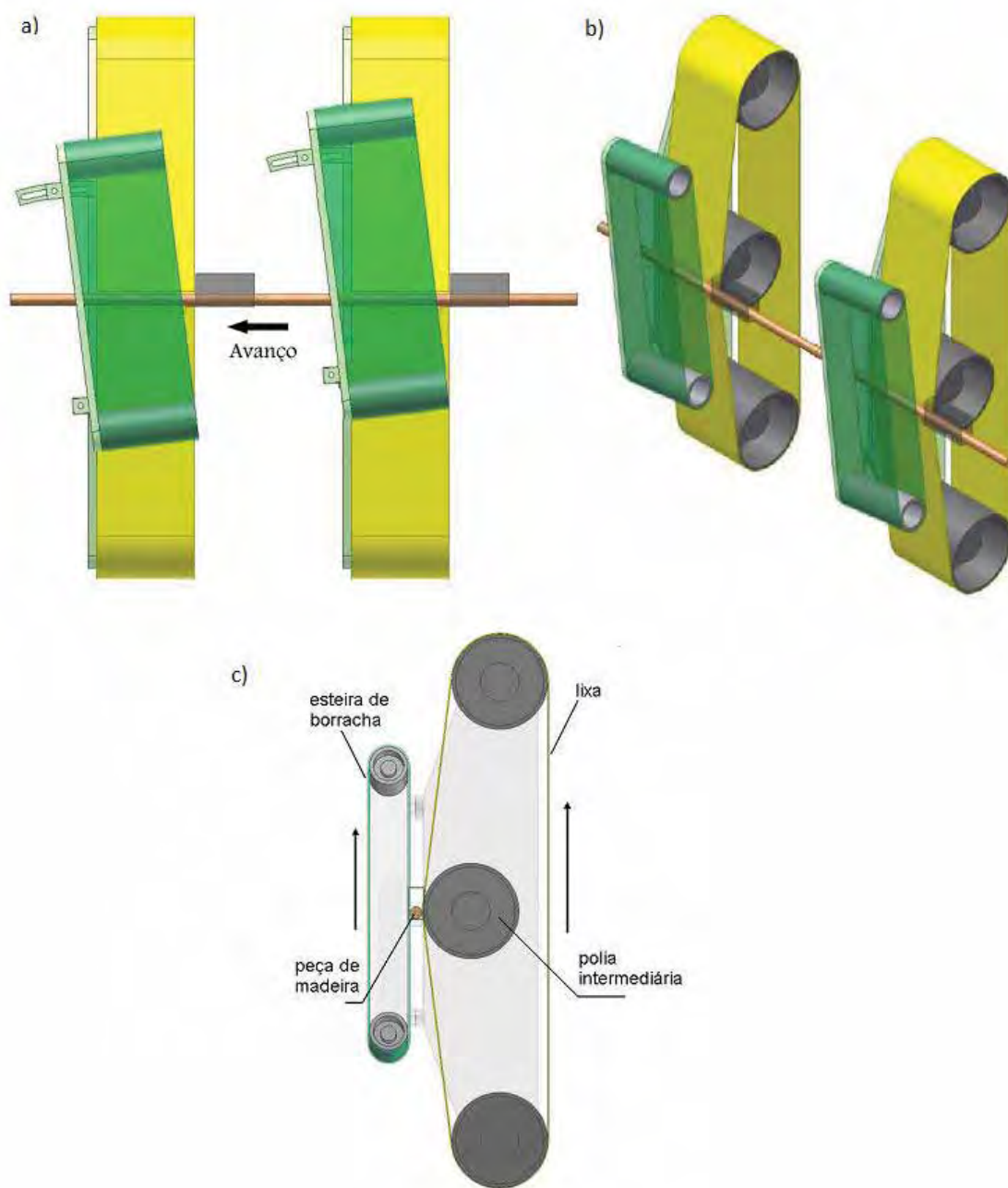


Figura 19 – Esquema completo da estrutura física da lixadeira tubular: a) vista frontal, b) perspectiva e c) vista lateral (adaptado de TIBÚRCIO, 2009).

A variação da velocidade de corte foi conseguida através de um inversor de frequência da marca Weg, modelo CFW 08-25A (Figura 20), ligado ao motor de acionamento da lixa e foi aferida através de um tacômetro óptico da marca Dynapar, modelo HT 100.



Figura 20 - Painel de comando dos equipamentos.

A potência de corte foi obtida através de um transdutor de corrente da marca Ward, modelo TRX-I/U, número de série 90501 (Figura 20), ligado a um transformador da marca Renz, modelo RH-40, com redução de 25A (Ampéres) para 5A. Para o funcionamento do transdutor, foi necessária também uma fonte de alimentação. O sinal do transdutor foi captado pela placa de aquisição de dados e armazenado durante a execução dos ensaios.

A emissão acústica foi obtida através da instalação de um sensor de emissão acústica e um módulo de emissão acústica da marca Physical Acoustics e modelo 1272 (Figura 21).





Figura 21 - Módulo de emissão acústica.

O módulo de emissão acústica apresenta saída analógica que foi ligada à placa de aquisição de dados de forma que todos os dados coletados durante o ensaio foram armazenados para posterior análise.

A análise de vibração foi obtida através do sensor de vibração da marca Vibro Control e modelo TV-100, instalado próximo a entrada das peças (Figura 22). O sensor de vibração foi ligado à placa de aquisição de dados de forma que todos os dados coletados durante o ensaio foram armazenados para posterior análise.



Figura 22 – Posicionamento dos sensores de emissão acústica e de vibração.

Para medição da rugosidade 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 23). Escolheu-se o parâmetro Ra (rugosidade média) para avaliação do estado da superfície lixada, devido esse

parâmetro não ser influenciado por picos e vales provindos da anatomia da madeira que podem distorcer os resultados.

Utilizou-se um *Cut-off* de 2,5 mm, comprimento de medição de 12,5 mm, filtro gaussiano robusto, e resolução (*range*) de 300  $\mu\text{m}$ .

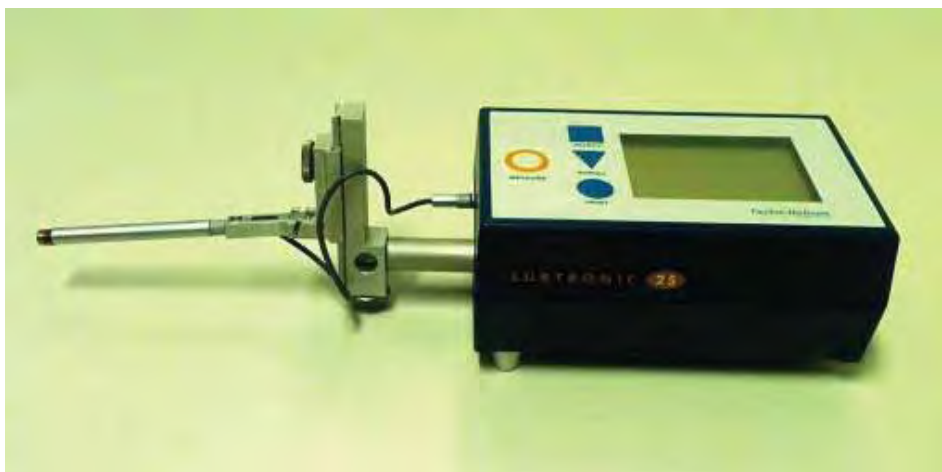


Figura 23 – Rugosímetro.

### 3.3 Ensaio e aquisição dos dados do processo de lixamento

Com o banco de ensaios montado, primeiramente, foram realizados alguns ensaios preliminares para aferição dos equipamentos, definição das condições de lixamento e para conhecer o funcionamento do banco de ensaios.

Com a utilização de 4 velocidades de corte ( $V_c$ ), 4 velocidades de avanço ( $V_f$ ), 3 combinações de lixas, foram obtidas 48 combinações, e para cada combinação foram feitos 3 ensaios de repetição, totalizando 144 ensaios.

O esquema de planejamento para a execução dos ensaios é apresentado na Figura 24.

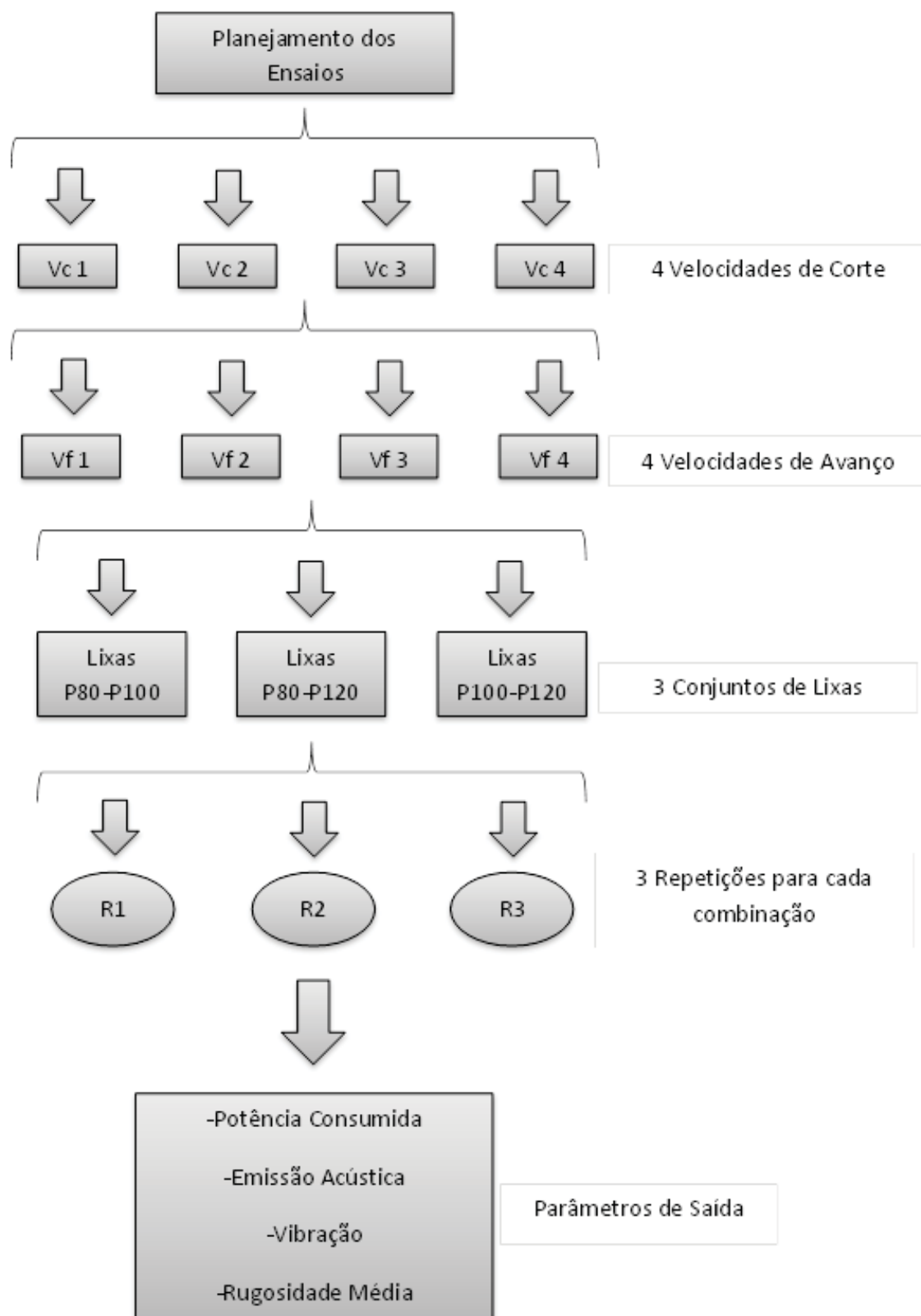


Figura 24 – Planejamento dos ensaios.

Em seguida foram realizados os ensaios definitivos e adquiridos seus respectivos dados, dividindo-se em 2 etapas:

### 1ª Etapa – Variação dos parâmetros de controle

Os valores das variáveis de entrada dos ensaios podem ser vistos na Tabela 6.

Tabela 6 – Informações sobre as variáveis de entrada.

Velocidades de Avanço (m/min)	Velocidades de Corte (m/s)	Combinações de Lixas Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (granulometria)
9	19,5	P80-P100
13	22,7	P80-P120
16	26,0	P100-P120
18	28,1	

**Procedimento** - Os ensaios foram feitos primeiramente fixando-se o conjunto de lixas e a velocidade de avanço, e variando-se somente a velocidade de corte, com 3 repetições nesta combinação. Depois de adquiridos os valores para as 4 combinações, foi mudada a velocidade de avanço e novamente feito os ensaios com as 4 velocidade de corte, até que fosse variado todas as velocidade de avanço. Depois deste procedimento, foi trocado o conjunto de lixas e feito novamente todo processo anterior. A ordem da variação desses parâmetros de controle foi escolhida de acordo com o tempo levado para cada ajuste.

As lixas não sofreram desgaste e também não emplastaram, por isso não foram trocadas por novas, devido ao tempo de execução dos ensaios ser curto.

A velocidade de avanço foi controlada inclinando-se o eixo das esteiras de avanço, quanto maior o ângulo de inclinação, maior o valor da velocidade de avanço, e depois foi aferida com ajuda de um tacômetro óptico da marca Dynapar, de modelo HT 100, ambos são apresentados nas Figuras 25 e 26, respectivamente.

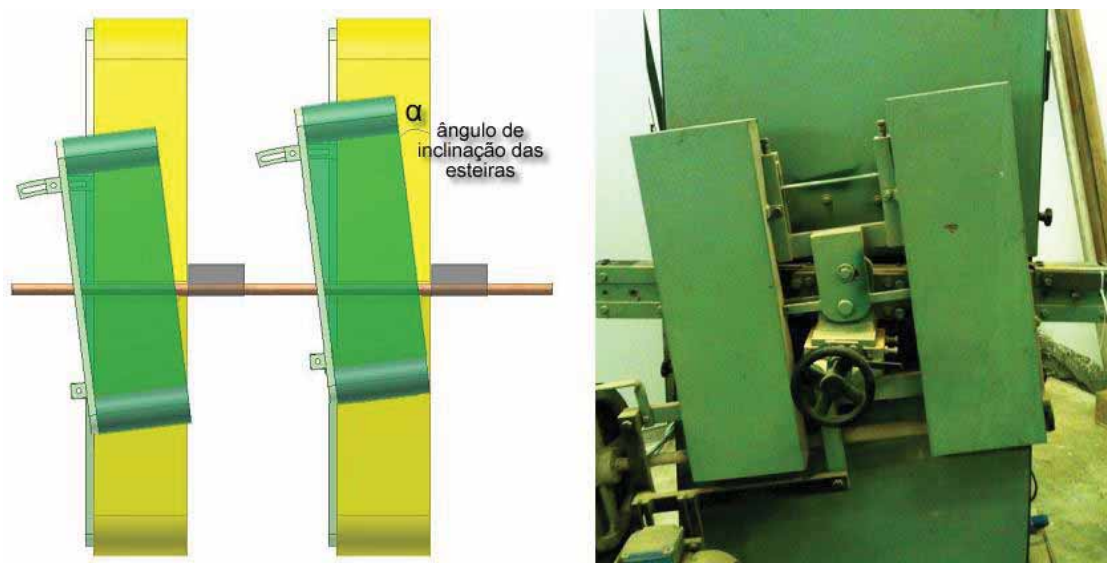


Figura 25 – Controle da velocidade de avanço, com a variação do ângulo  $\alpha$ .



Figura 26 - Tacômetro óptico marca Dynapar, modelo HT 100.

Quanto a granulometria das lixas, foram utilizadas três combinações (P80-P100; P80-P120 e P100-P120), onde, para cada uma destas combinações, tinha-se uma lixa de desbaste (de granulometria menor) seguida por uma lixa de acabamento (de granulometria maior).

## 2ª Etapa – Aquisição e tratamento dos dados

A aquisição de dados foi realizada através do programa LabView versão 7.1 (Figura 27) simultaneamente a execução dos ensaios. Foram captados 200 pontos por segundo, e cada ensaio teve seus dados gravados em arquivos para posterior tratamento.

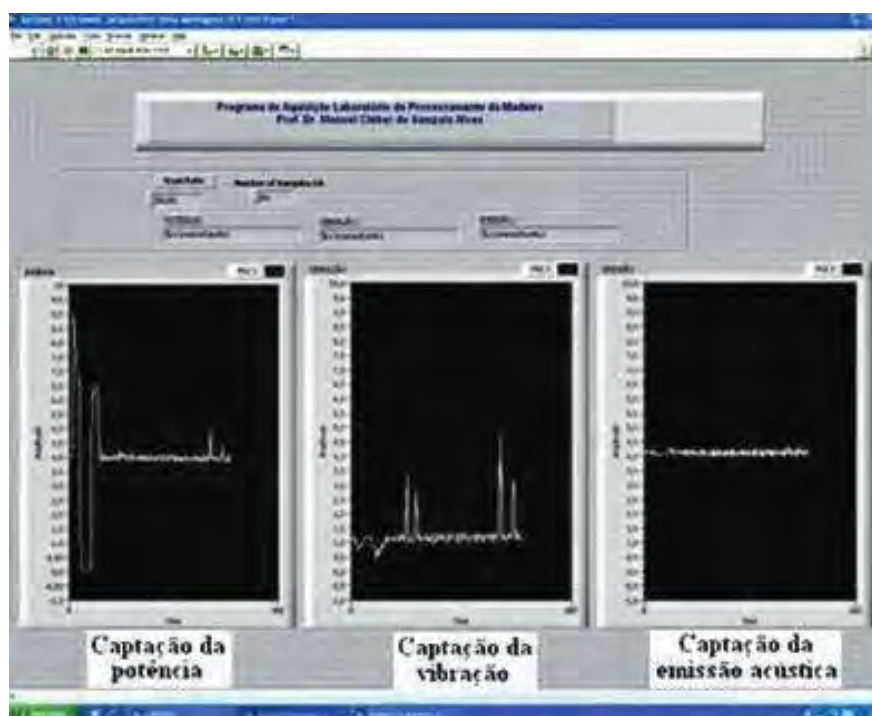


Figura 27 - Tela do programa de aquisição de dados desenvolvido.

O tratamento destes dados adquiridos foi realizado, com a elaboração de rotinas em linguagem C no programa Matlab, que coletou valores médios das 3 repetições para cada combinação e depois fez uma curva com os valores máximos.

No programa Microsoft Excel 2010 foi realizada a análise e construção de gráficos, com 5 valores máximos da curva fornecida pelo Matlab (para os parâmetros potência consumida, emissão acústica e vibração) e posteriormente fez-se a análise de variância. No programa estatístico R foi realizado o teste de Tukey com  $\alpha = 0,05$ . Todos os valores utilizados são apresentados no Apêndice B.



### 3.4 Análise das variáveis de saída

- Potência consumida no lixamento

A potência consumida foi obtida através do transdutor de corrente alternada, que em função da corrente elétrica alternada de uma das fases do motor gera uma saída proporcional de 0 a 10 VCC (voltagem de corrente contínua) que é armazenada, onde, através da Equação (2) o sinal adquirido (em VCC) a uma taxa de 200 pontos por segundo foi transformado na unidade de potência (Watts).

$$P_c = I \times U_f \times F_p \times \sqrt{3} \quad (2)$$

Onde:  $P_c$  = 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 é necessário converter o valor de Volts para Ampéres para que se possa aplicar esse valor na Equação (2). 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 (3), porém, como foi necessário utilizar um transformador de corrente de redução 25A/5A (descrito no item 3.2), a variável  $U_{cc}$  foi multiplicada por 5.

$$I = \frac{U_{cc} \times 5}{2} \quad (3)$$

Onde:  $I$  = corrente, em Ampéres;

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

Substituindo o valor da corrente (Equação (3)), o valor da tensão de fase do motor da lixadeira (220 V) e o fator de potência (0,92) do motor na Equação (2), têm-se a Equação (4), que foi utilizada para transformar o sinal adquirido em Volts para potência consumida em Watts.

$$P_c = \frac{U_{cc} \times 5}{2} \times 220 \times 0,92 \times \sqrt{3} \quad (4)$$

- 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 sai 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 como é o caso da potência consumida descrita no Item anterior.

- Vibração

Para a captação da vibração foi utilizado um sensor de vibração (Figura 22) da marca Vibro Control modelo TV-100, e foi colocado na estrutura da lixadeira tubular na entrada das peças cilíndricas. 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 desses dados.

Os valores obtidos em VCC foram convertidos depois para valores de velocidade em mm/s através da Equação 5.



$$V = \frac{25 \times V_{CC}}{8} \quad (5)$$

- Rugosidade Média (Ra)

As amostras seccionadas dos corpos de prova (com 35 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento), foram submetidas a análise da qualidade superficial, ou seja, foram submetidas a medição da rugosidade.

Foi utilizado um suporte feito em madeira para acomodação das amostras para minimizar algum tipo de vibração que viesse a ocorrer (Figura 28).

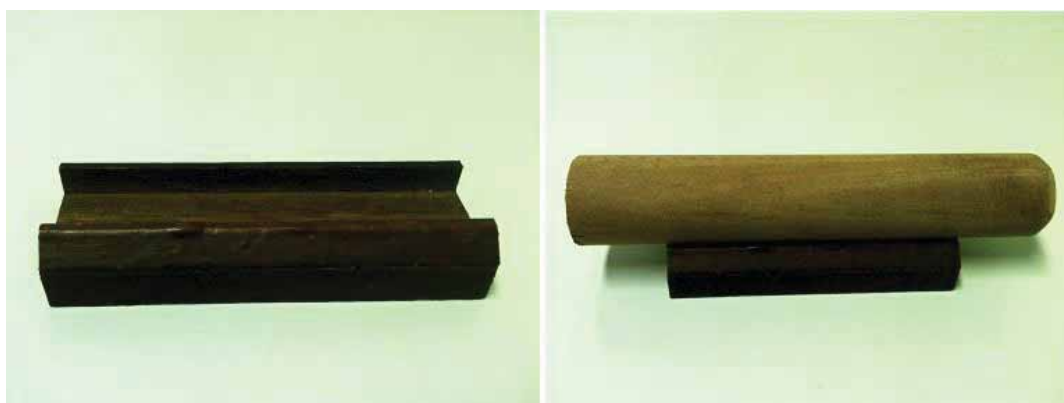


Figura 28 – Suporte para acomodação de amostras.

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 (lm) 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.

Segundo Gurau *et al.* (2006) o Filtro Gaussiano Robusto não distorce os dados do perfil de rugosidade quando aparecem pontos (picos e vales) muito distantes da linha média, ao longo do percurso avaliado, principalmente em superfície não

homogênea, que é o caso da madeira, não deixando que esses desvios influenciem no resultado final.

Para cada corpo de prova foram realizadas 6 medições de rugosidade, simetricamente ao longo do perímetro do corpo de prova, calculando-se o valor médio destas 6 medições. Não foi considerada a posição de entrada e saída da peça na lixadeira, pois em medições de preparação não houve diferença significativa. A medição é apresentada na Figura 29.



Figura 29 – Medição da rugosidade.

### 3.5 Densidade básica e aparente

Segundo a norma NBR 7190 a densidade básica da madeira é definida como a relação entre o peso da amostra seca em estufa e o seu volume saturado em água. Para a determinação dos valores seguiu-se o método da balança hidrostática. Foi utilizada a Equação 6 para o cálculo das densidades básicas das amostras:

$$D_b = \left( \frac{m_s}{m_v - m_i} \right) \times D_a \quad (6)$$

Onde:  $D_b$  = densidade básica,  $\text{kg.m}^{-3}$ ;

$m_s$  = massa de amostra seca, em kg;

$m_v$  = massa de amostra saturada em água, em kg;

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

$D_a$  = densidade da água a 25°C.

A densidade aparente seguiu o método recomendado da mesma norma. O procedimento consistiu em pesar a massa do corpo de prova em uma balança com precisão de 0,01 g e medir o seu volume. Para medição do volume foi usado um paquímetro com precisão de 0,05 mm. O teor de umidade utilizado foi o de 12% (UE), que foi conseguida através de uma estufa, sendo expresso pela Equação 7.

$$D_{ap(12\%)} = \frac{m_{12\%}}{V_{12\%}} \quad (7)$$

Onde:  $D_{ap(12\%)}$  = densidade da madeira a 12% de umidade, kg.m<sup>-3</sup>;

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

$V_{12\%}$  = volume da amostra a 12% de umidade, em m<sup>3</sup>.

Após a realização dos ensaios, os corpos de provas foram seccionados para análises físicas e de qualidade superficial (rugosidade). Os corpos de prova lixados estavam com dimensões médias de 35 e 600 mm no diâmetro e comprimento respectivamente.

De forma aleatória, de 30 corpos de prova foram retiradas 3 amostras centrais, onde destas, duas foram para análises de densidade e umidade e uma para medição da rugosidade.

Duas das amostras seccionadas possuíam dimensões de 35 mm de diâmetro (diâmetro do corpo de prova lixado) e 30 mm de comprimento. Uma amostra foi destinada a medição do volume e, em seguida, a determinação do teor de umidade, para obtenção da densidade aparente como pode ser visto na Figura 30. A outra amostra foi destinada a determinação da densidade básica.

Por sua vez, a terceira amostra seccionada dos corpos de prova, com dimensões com 35 mm de diâmetro (diâmetro do corpo de prova lixado) e 100 mm de comprimento, foi destinada a medição da rugosidade, como descrito no item anterior. Estas amostras destinadas a medição da rugosidade foram cuidadosamente manuseadas durante o seccionamento, para evitar batidas e afetar os resultados da rugosidade após o lixamento.



Figura 30 - Amostras utilizadas para a determinação da densidade aparente e umidade dos corpos de prova.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Densidade básica e aparente

A densidade aparente média dos 30 corpos de prova foi  $959 \text{ kg.m}^{-3}$ , com teor de umidade de equilíbrio (UE) de 12,49 %. Depois da saturação dos corpos de prova, foram coletados por amostragem, 30 corpos de prova, e calculado a média das densidades básicas, que foi de  $731 \text{ kg.m}^{-3}$ . A Tabela 7 apresenta os valores médios de densidade básica ( $D_{\text{bm}}$ ) e aparente ( $D_{\text{apm},12\%}$ ), com coeficiente de variação (CV) e o número de amostras (N). Todos os valores podem ser encontrados no Apêndice A.

Tabela 7 – Densidade média básica e aparente para o *Corymbia citriodora*.

	D ( $\text{kg.m}^{-3}$ )	CV (%)	N
$D_{\text{apm}, 12\%}$	959,07	14,26	30
$D_{\text{bm}}$	731,67	8,94	30

De acordo com Pereira *et al.* (2000), a densidade média básica da madeira de eucalipto citriodora se encontra aproximadamente em  $730 \text{ kg.m}^{-3}$ .

### 4.2 Resultados do processo de lixamento

Os resultados foram divididos em 2 partes. A primeira foi feita de acordo com as variáveis de saída analisadas: potência consumida, rugosidade, emissão acústica e vibração, separados em tabelas e gráficos de acordo com os conjuntos de lixas usados de granulometrias: P80-P100, P80-P120 e P100-P120. E na segunda parte, foi feita a análise dos resultados utilizando 4 fatores isolados: conjunto de lixas, velocidade de corte ( $V_c$ ), velocidade de avanço ( $V_f$ ) e a interação entre os dois, fazendo-se uma análise geral através das médias, com ferramenta estatística de Análise de Variância (ANOVA) do programa Microsoft Excel 2010, e também o teste de Tukey utilizando-

se o programa Estatístico R, para mostrar quais médias foram estatisticamente diferentes. Foi usado o nível de significância de 5%. Essa análise final testou a hipótese de que as médias não foram iguais e que influenciavam significativamente o processo de lixamento tubular para os 4 fatores analisados.

#### 4.2.1 Potência consumida

Era de se esperar que a potência consumida tivesse um comportamento linear de acordo com o aumento da velocidade de corte e a velocidade de avanço, de acordo com alguns estudos (Saloni *et al.*(2005), Ratnasingam *et al.* (2002) e Javorek *et al.* (2006)). Porém em alguns casos não se obteve estes resultados. Uma possível explicação para isso, é que a densidade das amostras podem ter influenciado no processo abrasivo, onde um material mais denso tende a apresentar um maior consumo de potência, que outro menos denso. E em se tratando de madeira que é um material heterogêneo, isso pode ser ainda mais difícil de se analisar. Os valores de potência consumida encontram-se no Apêndice B.

A Tabela 8 apresenta os valores médios de potência consumida, de 5 valores máximos para cada combinação, provenientes do tratamento dos dados no programa Matlab, em Watts (W), juntamente com o desvio padrão, para o conjunto de lixas de granulometria P80-P100, variando com as quatro velocidades de corte e as quatro velocidades de avanço. Os valores são apresentados, na íntegra, no Apêndice B.

Tabela 8 – Valores médios de potência consumida para o conjunto de lixas P80-P100.

Velocidade de Avanço (m/min)	Velocidade de Corte (m/s)				
	19,5	22,7	26,0	28,1	
9	Média (W)	2930,65	4223,75	5495,73	4454,21
	DP (W)	86,96	162,00	147,53	57,85
13	Média (W)	3408,15	5133,77	4993,67	4564,56
	DP(W)	90,13	435,34	289,05	187,39
16	Média (W)	3710,58	4919,91	5965,07	4944,97
	DP (W)	153,57	530,26	830,83	235,65
18	Média (W)	3486,60	6288,99	6037,03	7668,42
	DP (W)	139,79	220,45	1041,80	137,10

A Figura 31 mostra os valores em um gráfico de colunas com seus respectivos desvios padrões. Para as 3 últimas velocidades de corte, percebeu-se que a potência consumida foi maior para a maior velocidade de avanço de 18 m/min.

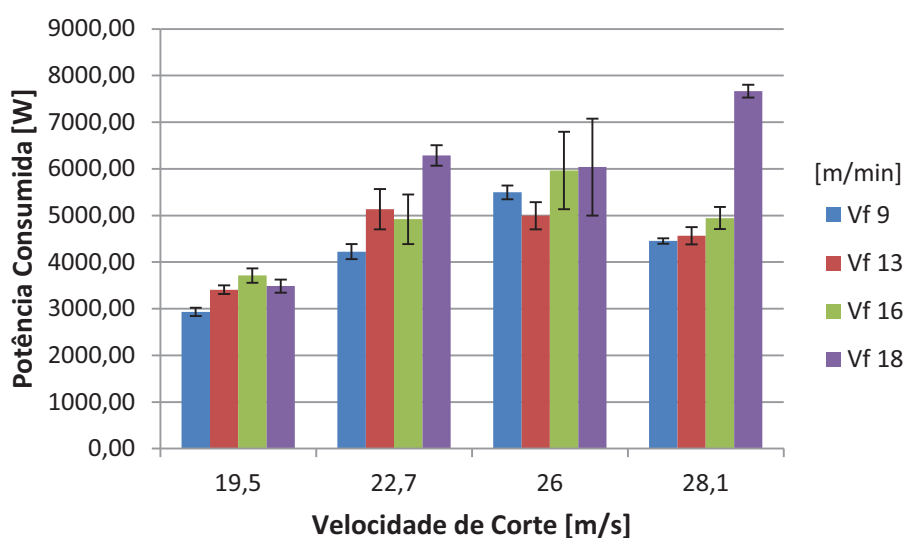


Figura 31 – Potência consumida para o conjunto de lixas P80-P100.

Para a última velocidade de corte de 28,1 m/s o consumo caiu em relação a velocidade de corte anterior de 26 m/s, exceto para a velocidade de avanço de 18 m/min, que apresentou um valor muito desigual com os demais, podendo estar

relacionado a densidade da madeira. Este comportamento não era esperado, e sim que tanto com o aumento da velocidade de corte quanto a de avanço aumentassem o consumo de potência de forma proporcional. O valor maior se deu para as velocidades de corte e de avanço mais altas, o que era de se esperar. Saloni *et al.* (2005) em seu trabalho sobre variáveis que afetam no consumo de potência no processo de lixamento com lixas de cinta, teve como resultado que o aumento da velocidade de corte aumentou o consumo de potência.

Na Tabela 9 são apresentados os valores obtidos para consumo de potência para os conjuntos de lixas P80-P120.

Tabela 9 – Valores das médias de potência consumida para o conjunto de lixas P80-P120.

Velocidade de Avanço (m/min)	Velocidade de Corte (m/s)				
	19,5	22,7	26,0	28,1	
9	Média (W)	3347,32	3056,91	4237,30	4321,68
	DP (W)	118,62	107,18	119,27	127,58
13	Média (W)	2267,59	2151,39	4820,66	4105,91
	DP (W)	153,63	50,50	409,78	185,14
16	Média (W)	4783,54	5920,88	4601,91	7197,91
	DP (W)	290,59	568,58	539,73	227,66
18	Média (W)	3752,12	5205,30	5542,38	6450,35
	DP (W)	473,27	554,56	349,89	181,69

A Figura 32 mostra o resultado para o conjunto de lixas P80-P120. Diferentemente do conjunto de lixas anterior, os maiores valores foram para a velocidade de avanço de 16 m/min, exceto para a velocidade de corte de 26 m/s. Para a velocidade de avanço de 18 m/min, obteve-se o aumento do consumo de potência de acordo com o aumento da velocidade de corte.

Ocorreu o mesmo comportamento do conjunto de lixas P80-P100 na velocidade de corte de 28,1 m/s, para as velocidades de corte 19,5; 22,7 e 28,1 m/s neste conjunto P80-P120. Uma possível explicação, seria valores de densidade básica para estas



amostras mais altas, que proporcionaram valores demasiadamente altos de consumo de potência.

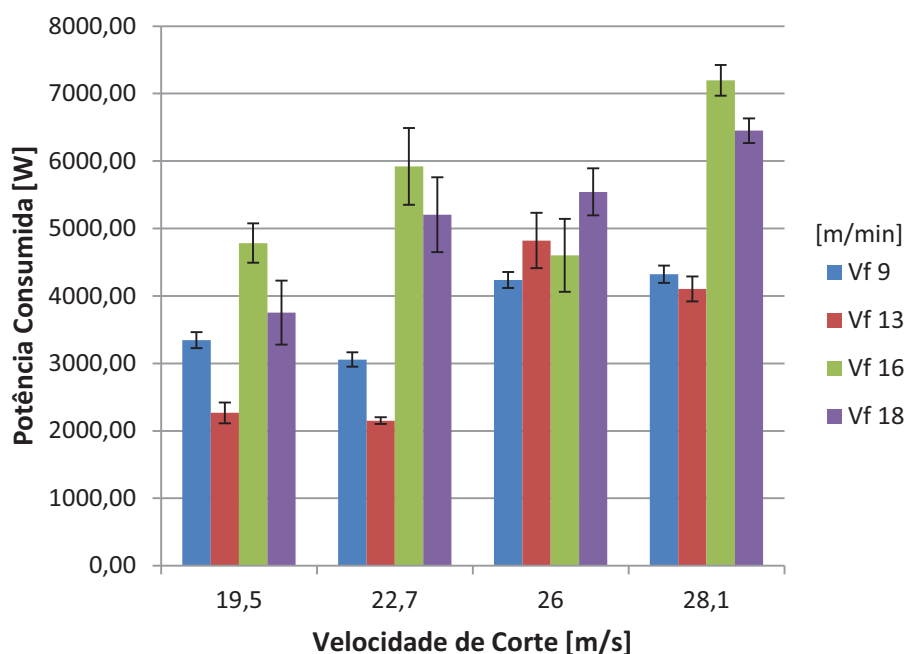


Figura 32 – Potência consumida para o conjunto de lixas P80-P120.

A Tabela 10 mostra os valores obtidos para consumo de potência para o conjunto de lixas P100-P120, considerados grãos de tamanho menor.

Tabela 10 – Valores das médias de potência consumida para o conjunto de lixas P100-P120.

Velocidade de Avanço (m/min)	Velocidade de Corte (m/s)				
	19,5	22,7	26,0	28,1	
9	Média (W)	3470,40	2998,95	6431,46	7196,30
	DP (W)	112,79	91,17	182,66	128,81
13	Média (W)	2347,23	4605,58	4507,21	5286,71
	DP (W)	143,54	513,68	527,90	673,69
16	Média (W)	4203,22	7422,87	7087,22	5109,95
	DP (W)	65,06	813,34	534,23	163,12
18	Média (W)	4273,81	8411,26	8032,10	7417,79
	DP (W)	74,15	1918,26	468,60	530,84

Semelhantemente ao conjunto de lixas P80-P100, a Figura 33 mostra os valores de consumo de potência maiores para as velocidades de avanço de 18 m/min. Uma das explicações para esse fato é que com o aumento da velocidade de avanço, os grãos abrasivos encontram mais material para retirar, proporcionando uma usinagem mais “brusca”, com maior potência. Fotin *et al.* (2008) em seu estudo sobre lixamento paralelo e perpendicular as fibras da madeira de *Betula pendula* em uma lixadeira banda larga, constatou que com o aumento da velocidade de avanço, tem-se o aumento do consumo de potência. O comportamento esperado para todas as velocidades de corte seria o que ocorreu com a velocidade de corte de 22,7 m/s.

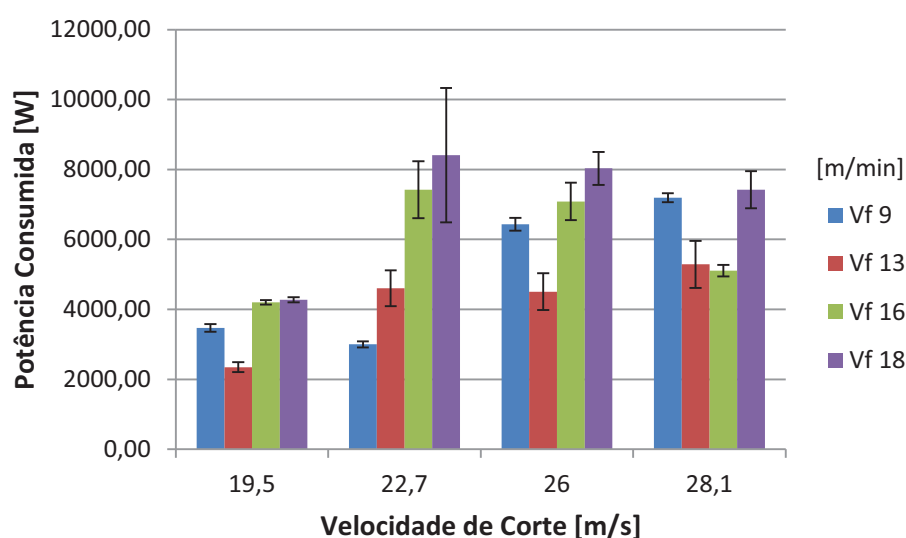


Figura 33 – Potência consumida para o conjunto de lixas P100-P120.

Para uma visão melhor do processo, foi feita uma análise de dados isolando-se cada variável de entrada: conjunto de lixas, velocidade de corte e velocidade de avanço e a interação entre os dois últimos. A Tabela 11 mostra os resultados de potência consumida para o fator conjunto de lixas, juntamente com o teste de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ), onde as médias com letras diferentes significam que são diferentes estatisticamente.

Tabela 11 – Valores médios de potência consumida para o fator conjunto de lixas.

Fator: Conjunto de Lixas			
	P80-P100	P80-P120	P100-P120
Média (W)	4889,12b	4485,19b	5550,12a
DP (W)	1252,91	1400,26	1931,93
CV (%)	25,62	31,21	34,80

A Figura 34 mostra as médias do fator conjunto de lixas.

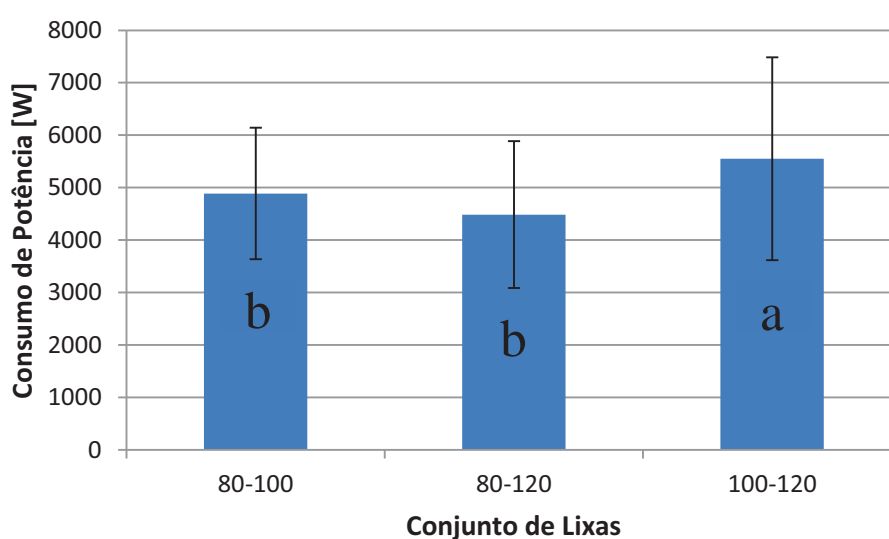


Figura 34 – Potência consumida para o fator conjunto de lixas.

Observou-se que o conjunto de lixas que mais consumiu potência foi o P100-P120. O mesmo aconteceu no estudo de Samolej (2006) com lixamento plano perpendicular às fibras, usando uma lixadeira de disco, onde comparou-se 3 granulometrias de lixas diferentes (40-80-120), e que explica que isso ocorreu devido a lixa de maior granulometria apresentar maior número de grãos em contato com a peça, exigindo maior potência de corte. E pelo teste de Tukey pode-se perceber que as médias dos conjuntos P80-P100 e P80-P120 não diferem estatisticamente, portanto o conjunto de lixas P100-P120 apresentou a maior média do consumo de potência entre os analisados.

A Tabela 12 mostra os dados dos valores médios para o fator velocidade de corte.

Tabela 12 – Valores médios de potência consumida para o fator velocidade de corte.

	Fator: Velocidade de Corte (m/s)			
	19,5	22,7	26,0	28,1
Média (W)	3498,43c	5028,30b	5645,98ab	5726,56a
DP (W)	737,13	1872,39	1192,80	1335,80
CV (%)	21,07	37,24	21,13	23,33

Na Figura 35 a velocidade de corte que apresentou menor consumo de potência foi a de 19,5 m/s. Pelo teste de Tukey, percebeu-se que houve influência significativa do parâmetro velocidade de corte sobre o consumo de potência, somente entre as velocidades de corte 19,5; 22,7 e 28,1 m/s. Saloni *et al.* (2003) fez um estudo para caracterizar o processo de lixamento da madeira de “*maple*” (*Acer saccharum*) para o consumo de potência, onde variou a pressão, velocidade de corte e tipo de material abrasivo, e constatou que a maior velocidade de corte usada provocou um maior consumo de potência, semelhantemente aos resultados apresentados. Isso se deve, a variável velocidade de corte estar ligada diretamente ao consumo de potência do motor, devido ao aumento de rotação do mesmo. Santiago (2011) encontrou um modelo linear, para o lixamento plano de Pinus, que com o aumento da velocidade de corte, obteve-se um aumento de consumo de potência. Aguilera e Martin (2001) também mostram em seu trabalho, com lixamento paralelo às fibras da madeira de *Fagus silvatica* e *Picea excelsa* esta correlação.

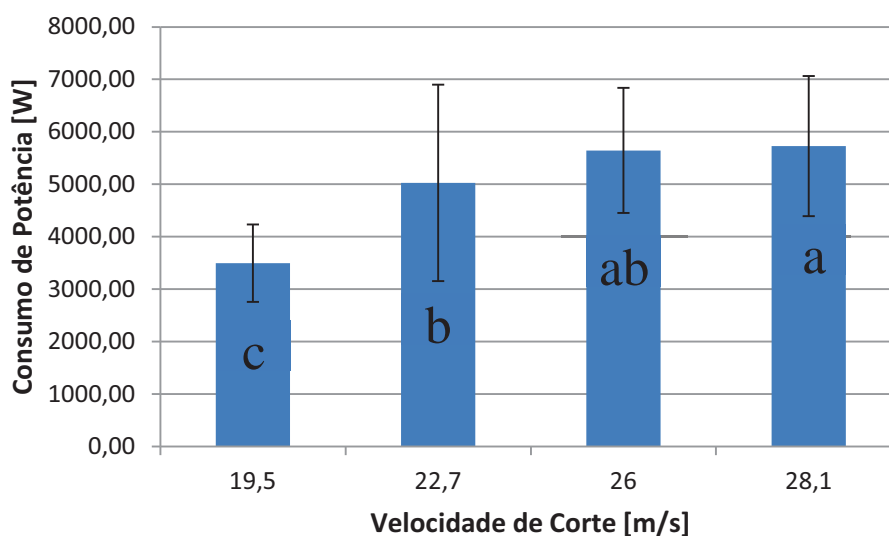


Figura 35 – Potência consumida para o fator velocidade de corte.

A Tabela 13 mostra os dados para o fator velocidade de avanço.

Tabela 13 – Valores médios de potência consumida para o fator velocidade de avanço.

	Fator: Velocidade de Avanço (m/min)			
	9	13	16	18
Média (W)	4347,05b	4016,04b	5489,00a	6047,18a
DP (W)	1341,22	1175,40	1259,38	1722,87
CV (%)	30,85	29,27	22,94	28,49

De acordo com a Figura 36, as velocidades de avanço que provocaram os maiores valores médios de potência consumida, foram a de 16 e de 18 m/min. Devido ao maior avanço, os grãos abrasivos tendem a ter que retirar mais material, que se estivessem em condições mais lentas. Fotin *et al.* (2008) em seu estudo, constatou que com o aumento da velocidade de avanço, tem-se o aumento do consumo de potência. Pelo teste de Tukey, houve diferença somente entre as 2 maiores e as 2 menores velocidades de avanço.

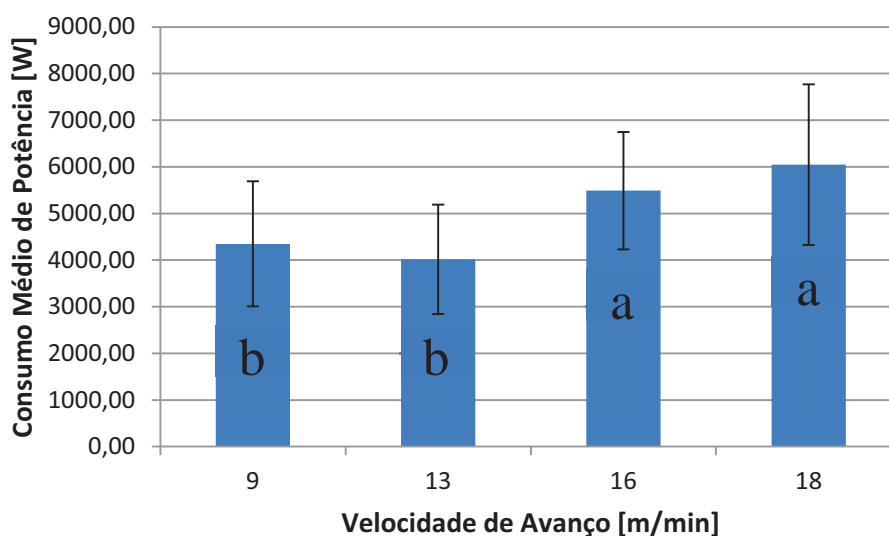


Figura 36 – Potência consumida para o fator conjunto de lixas.

A Tabela 14 mostra a Análise de Variância (ANOVA) para os 4 fatores: conjunto de lixas, velocidade de corte, velocidade de avanço, e a interação entre os dois últimos. Houve influência significativa para os quatro fatores analisados, no processo de lixamento tubular do *Corymbia citriodora* em relação à potência consumida.

Tabela 14 – Análise de Variância para as médias de potência consumida.

Fatores	gl	SQ	SQM	Valor F	valor -P	F crítico
Conjunto de Lixas	2	46244452	23122226	9,55	1,03E-04	3,03
Velocidade de Corte	3	1,92E+08	63963016	35,25	7,26E-19	2,64
Velocidade de Avanço	3	1,64E+08	54553753	28,21	1,26E-15	2,64
Vc x Va	9	44881360	4986817	5,08	2,9E-06	1,92

\*Valor significativo a um nível de 5% de significância.

#### 4.2.2 Rugosidade

Para os resultados de medição de rugosidade “Ra”, foram coletados 6 valores das amostras para cada repetição (ao todo 3 repetições), das 48 combinações possíveis de lixamento, totalizando 864 medições e feito uma média. Todos os valores são encontrados no Apêndice B.

Para rugosidade, todos os fatores: conjunto de lixas, velocidade de corte e de avanço foram significativos na análise de variância, porém não houve interação entre velocidade de corte e de avanço.

Na Tabela 15 são mostrados os valores de rugosidade média “Ra”, em micrometros ( $\mu\text{m}$ ), dos ensaios para o conjunto de lixas P80-P100.

Tabela 15 – Valores das médias de rugosidade “Ra” para o conjunto de lixas P80-P100.

Velocidade de Avanço (m/min)	Velocidade de Corte (m/s)				
	19,5	22,7	26,0	28,1	
9	Média ( $\mu\text{m}$ )	7,42	7,34	7,09	7,02
	DP ( $\mu\text{m}$ )	0,61	0,74	0,84	0,71
13	Média ( $\mu\text{m}$ )	7,87	7,51	7,99	8,31
	DP ( $\mu\text{m}$ )	1,45	0,80	0,96	0,96
16	Média ( $\mu\text{m}$ )	8,88	9,34	9,36	7,10
	DP ( $\mu\text{m}$ )	1,05	0,96	1,29	0,74
18	Média ( $\mu\text{m}$ )	8,78	8,07	8,51	8,27
	DP ( $\mu\text{m}$ )	0,85	0,79	0,81	0,84

Na Figura 37 pode-se ver que para as velocidades de corte de 19,5; 22,7 e 26 m/s houve um aumento da rugosidade com o aumento da velocidade de avanço, exceto para a  $V_f = 18$  m/min. Para essas 3 velocidades de corte, a variação foi mais perceptível entre a  $V_f = 9$  m/min e  $V_f = 16$  m/min. E para a variação da velocidade de corte, houve uma diminuição dos valores de rugosidade mas não foi expressiva. Taylor *et al.* (1999) e Saloni *et al.* (2005) que também variaram a velocidade de corte no lixamento plano em seus estudos, de 10 a 13 m/s, ocorreu o mesmo, a rugosidade diminuiu com o aumento da velocidade de corte, porém não foi significativo. Santiago (2011) em seu trabalho sobre lixamento plano, não obteve influência significativa variando-se a velocidade de corte nos resultados de rugosidade “Ra”, para a espécie de *Pinus elliottii*.

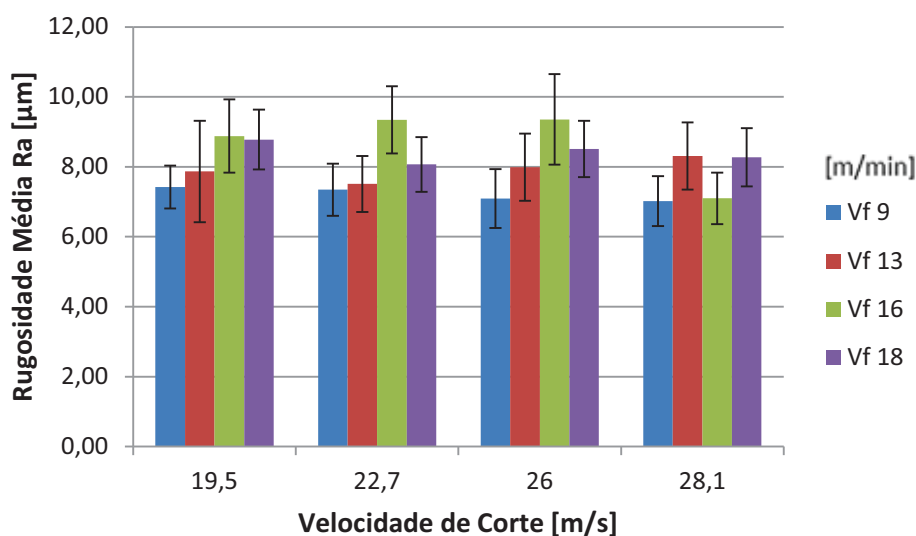


Figura 37 – Rugosidade “Ra” para o conjunto de lixas P80-P100.

A Tabela 16 mostra os valores para o conjunto de lixas P80-P120.

Tabela 16 – Valores das médias de rugosidade “Ra” para o conjunto de lixas P80-P120.

Velocidade de Avanço (m/min)	Velocidade de Corte (m/s)				
	19,5	22,7	26,0	28,1	
9	Média (μm)	6,74	6,36	6,91	7,04
	DP (μm)	0,90	0,62	0,89	0,72
13	Média (μm)	6,41	6,43	6,11	6,66
	DP (μm)	0,58	0,60	0,42	0,68
16	Média (μm)	7,18	6,79	6,42	6,84
	DP (μm)	0,81	0,50	0,58	0,69
18	Média (μm)	7,62	7,12	6,99	7,17
	DP (μm)	1,23	0,80	0,92	0,81

Na Figura 38 observa-se que a Vf = 9 m/min apresentou rugosidade maior que a Vf = 13 m/min, exceto para a Vc = 22,7 m/s, fato que não ocorreu para o conjunto de lixas P80-P100. Excluindo-se a Vf = 9 m/min em todas as velocidades de corte, observou-se que com o aumento da velocidade de avanço, obteve-se um aumento do



valor da rugosidade. Moura e Hernández (2006) em seu estudo com uma lixadeira de banda larga, variaram a velocidade de avanço de 8 à 14 m/min e afirmaram que com o aumento da velocidade de avanço obteve-se peças da madeira de “*sugar maple*” com qualidade superficial pior devido a uma maior “fibrilação”. Tibúrcio (2009) no lixamento tubular de eucalipto citriodora obteve a mesma relação. Uma das explicações para este fato é que os grãos abrasivos tendem a retirar menos material com o aumento da velocidade de avanço, deixando “riscos” na madeira.

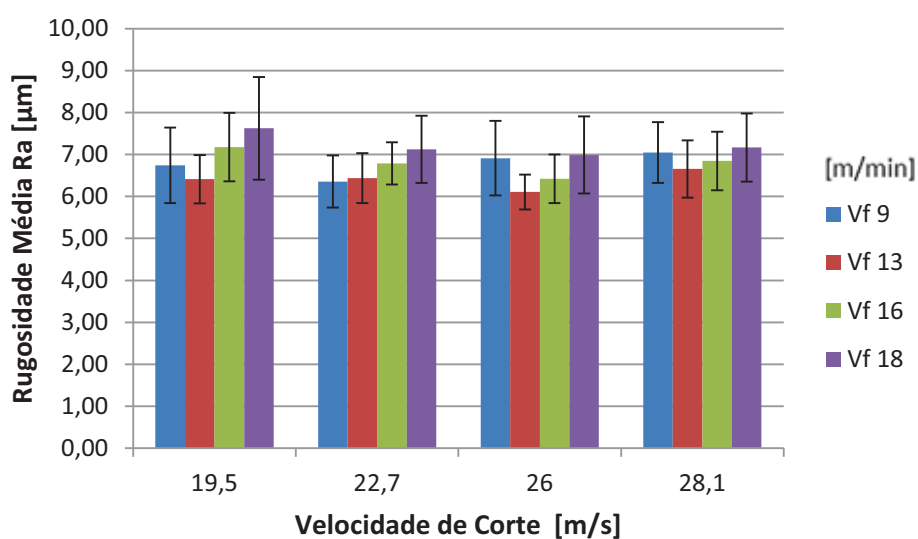


Figura 38 – Rugosidade “Ra” para o conjunto de lixas 80-120.

Para o ultimo conjunto de lixas, os valores são mostrados na Tabela 17.

Tabela 17 – Valores das médias de rugosidade “Ra” para o conjunto de lixas P100-P120.

Velocidade de Avanço (m/min)	Velocidade de Corte (m/s)				
	19,5	22,7	26,0	28,1	
9	Média ( $\mu\text{m}$ )	7,08	6,57	6,50	6,31
	DP ( $\mu\text{m}$ )	0,92	0,96	0,60	0,74
13	Média ( $\mu\text{m}$ )	6,31	6,21	6,18	6,04
	DP ( $\mu\text{m}$ )	0,61	0,55	0,77	0,67
16	Média ( $\mu\text{m}$ )	6,49	6,23	6,60	7,17
	DP ( $\mu\text{m}$ )	0,68	0,66	0,45	1,16
18	Média ( $\mu\text{m}$ )	7,24	6,64	6,34	6,13
	DP ( $\mu\text{m}$ )	0,95	0,73	0,95	0,76

A Figura 39 mostra os menores valores, e conseqüentemente, melhor acabamento para a velocidade de corte 28,1 m/s (exceto para a velocidade de avanço 16 m/min que pode ter sido influência da densidade alta da madeira).

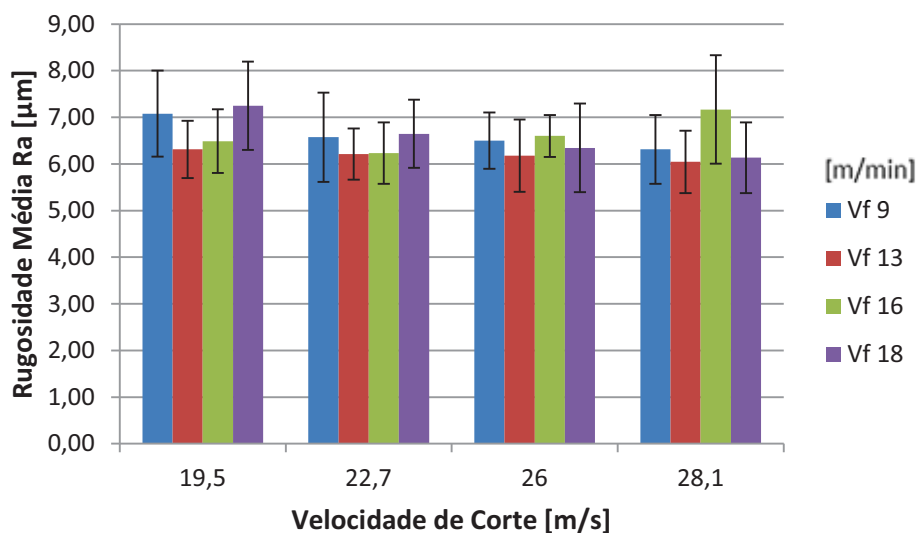


Figura 39 – Rugosidade “Ra” para o conjunto de lixas P100-P120.

Pode-se ter uma visão geral com a Figura 40, onde com o aumento da velocidade de corte e também com o aumento da granulometria, observou-se uma menor

rugosidade. Em relação a velocidade de avanço percebeu-se o contrário. E para o conjunto de lixas P100-P120 obteve-se os menores valores de rugosidade, exceto para a velocidade de avanço de 16 m/min neste caso. Com esta análise percebe-se valores muito próximos de rugosidade entre os conjuntos de lixa P80-P120 e P100-P120, ficando de fora o conjunto P80-P100, que mostrou provocar acabamento pior na madeira de *Corymbia citriodora*.

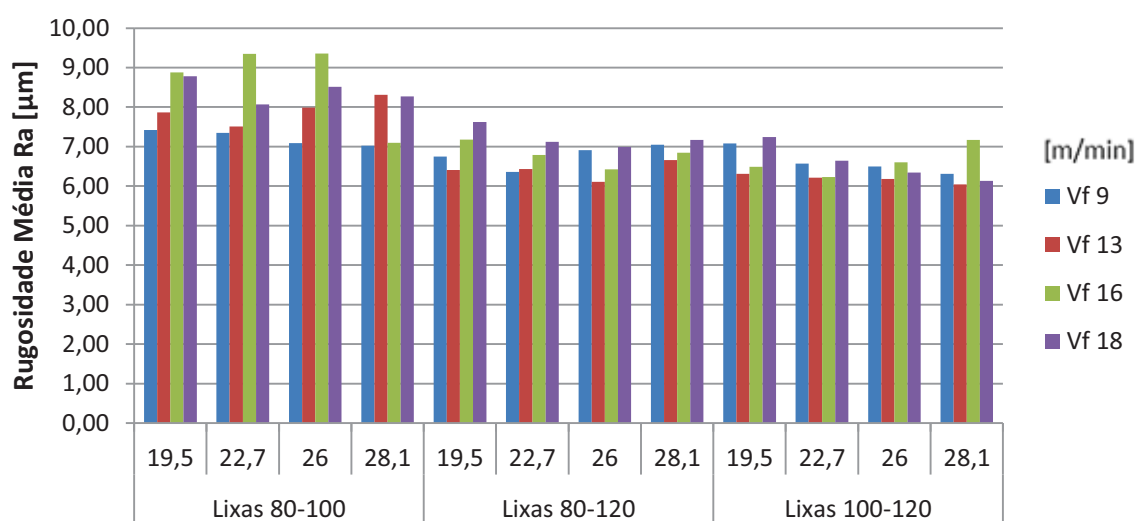


Figura 40 – Rugosidade “Ra” para os 3 conjuntos de lixas.

Na análise separada por fatores, pode-se perceber na Tabela 18 e Figura 41 que houve um valor menor de rugosidade para o conjunto de lixas P100-P120 e um valor maior para o conjunto P80-P100. Ratnasingam e Scholz (2005) no lixamento da madeira de *Hevea brasiliensis*, utilizando 4 granulometrias de lixa (P150, P180, P240 e P280), com uma lixadeira de banda larga, foram obtidos valores de rugosidade “Ra” menores para a lixa de maior granulometria P280. E Tibúrcio (2009) com o mesmo processo de lixamento tubular, utilizando 4 conjunto de lixas (P80-P100, P80-P120, P100-120 e P100-120 desgastadas) obteve os mesmos resultados onde o conjunto de lixas com granulometria maior (P100-P120), apresentou os menores valores de rugosidade média. Pelo teste de Tukey, todas as médias se mostraram diferentes estatisticamente.

Tabela 18 – Valores médios de rugosidade “Ra” para o fator conjunto de lixas.

Fator: Conjunto de Lixas			
	P80-P100	P80-P120	P100-P120
Média ( $\mu\text{m}$ )	8,05a	6,79b	6,50c
DP ( $\mu\text{m}$ )	1,17	0,83	0,84
CV (%)	14,55	12,21	12,93

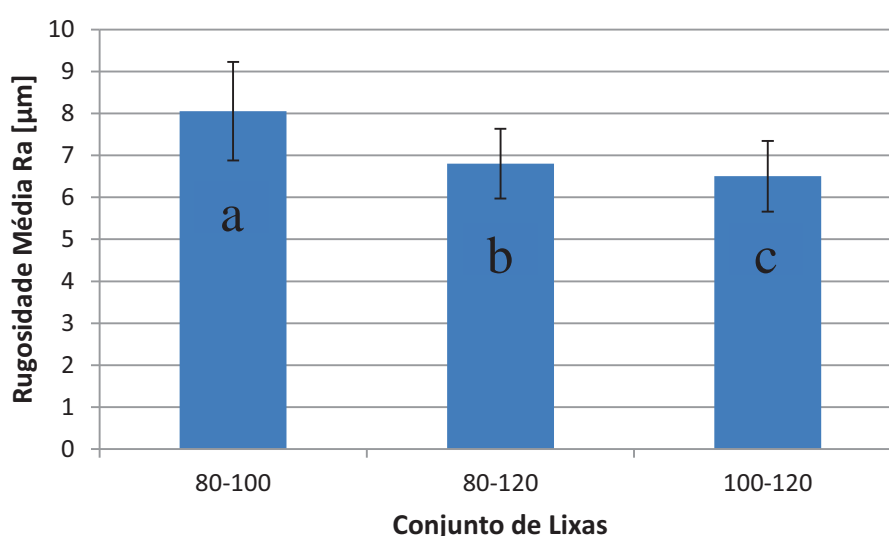


Figura 41 – Rugosidade “Ra” para o fator conjunto de lixas.

O fato das lixas com tamanhos de grãos maiores provocar uma rugosidade média “Ra” maior, é que os grãos provocam uma usinagem mais profunda na madeira devido ao seu maior tamanho. Sendo que os grãos menores fazem o “polimento”. Na indústria do mobiliário, a qualidade superficial se define pela aspereza de uma superfície, logo usar lixas com granulometria maiores seria viável, porém há outros fatores como desgaste de lixa que entram na composição de custos de produção, e esse desgaste pode ser previsto com o monitoramento de variáveis como emissão acústica e vibração que serão vistos nos próximos itens.

Os dados do fator velocidade de corte podem ser visto na Tabela 19. O teste de Tukey mostrou influência significativa somente entre  $V_c = 19,5$  m/s com a  $V_c = 28,1$  m/s. E mesmo assim essa diferença é pouco expressiva ( $0,33 \mu\text{m}$ ).

Tabela 19 – Valores médios de rugosidade “Ra” para o fator velocidade de corte.

Fator: Velocidade de Corte (m/s)				
	19,5	22,7	26,0	28,1
Média ( $\mu\text{m}$ )	7,33a	7,05ab	7,08ab	7,00b
DP ( $\mu\text{m}$ )	1,21	1,13	1,26	1,04
CV (%)	16,51	16,14	17,85	14,88

A Figura 42 mostra que com o aumento da velocidade de corte foi obtido um menor valor de rugosidade “Ra”. Isso se deve aos grãos abrasivos retirarem menos material em velocidades de corte mais altas. Considerando a pouca diferença entre valores de rugosidade média neste caso, não seria viável aumentar a velocidade de corte para proporcionar um melhor acabamento, pois isso aumentaria o consumo de potência e geraria maiores custos, como foi visto na análise da variável potência consumida.

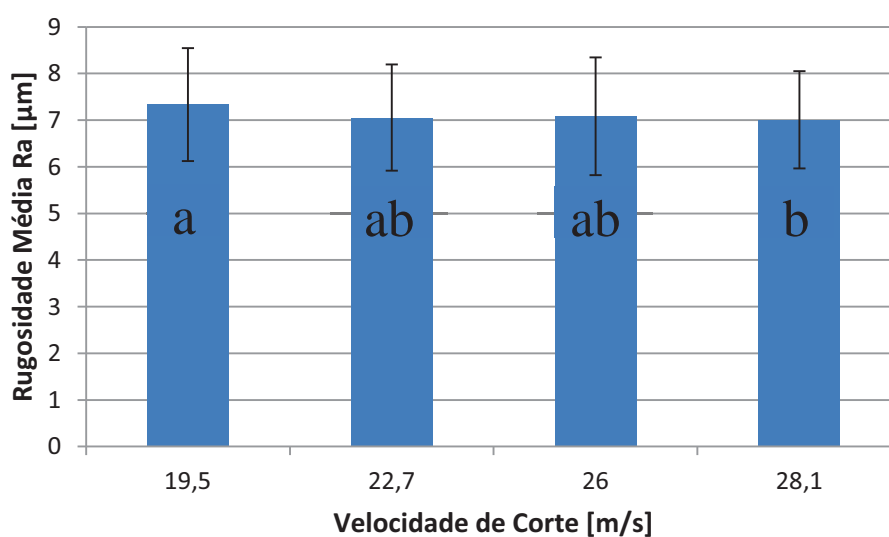


Figura 42 – Rugosidade “Ra” para o fator velocidade de corte.

A Tabela 20 mostra os dados para o fator velocidade de avanço.

Tabela 20 – Valores médios de rugosidade “Ra” para o fator velocidade de avanço.

	Fator: Velocidade de Avanço (m/min)			
	9	13	16	18
Média ( $\mu\text{m}$ )	6,86b	6,83b	7,36a	7,40a
DP ( $\mu\text{m}$ )	0,83	1,11	1,36	1,18
CV (%)	12,22	16,32	18,58	15,98

O fator velocidade de avanço teve efeito contrário ao da velocidade de corte (Figura 43), quanto maior foi a velocidade de avanço, maior foi o valor da rugosidade. Isso é de se esperar devido aos abrasivos “riscarem” menos as amostras. Pode-se perceber também, que houve pouca diferença nos valores de rugosidade, chegando a ser menos de 1  $\mu\text{m}$ . Tibúrcio (2009) mostrou essa mesma diferença para a variação da velocidade de avanço de 10 a 18 m/min. O teste de Tukey mostrou que há diferença significativa somente entre as 2 velocidades maiores com as 2 velocidades menores.

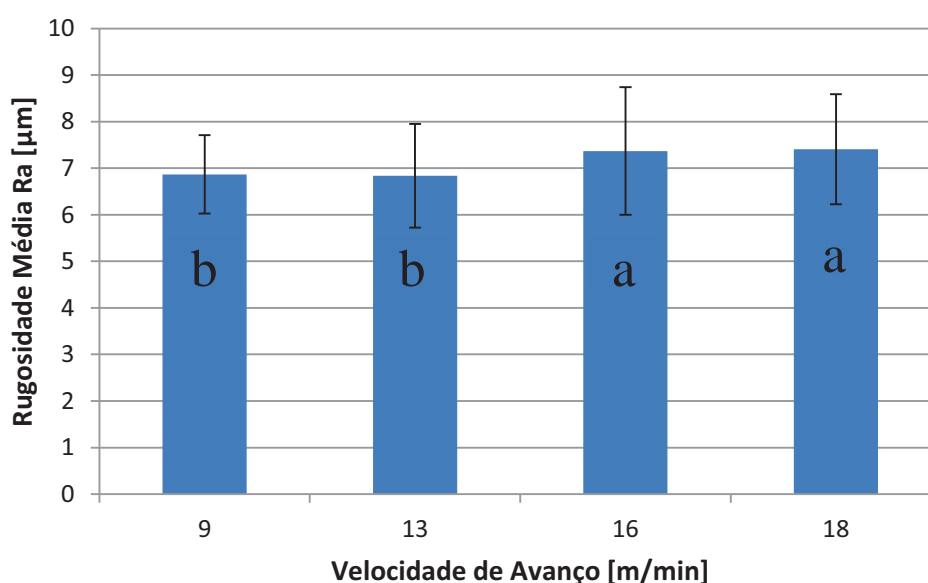


Figura 43 – Rugosidade “Ra” para o fator velocidade de avanço.

Com o aumento da velocidade de avanço, se tem o processo de lixamento mais rápido, porém o acabamento piora. Dentro da composição de custos dentro de uma indústria, tem que se levar em conta esses fatores. Se essa variação de 1  $\mu\text{m}$  for relevante na qualidade, seria viável usar velocidades de avanço de 9 e 13 m/min. E

também foi visto que com o aumento da velocidade de avanço houve aumento no consumo de potência, então também seria viável uma menor velocidade de avanço.

A Tabela 21 mostra a Análise de Variância (ANOVA) para os 4 fatores: conjunto de lixas, velocidade de corte, velocidade de avanço, e a interação entre os dois últimos em relação a Rugosidade Média “Ra”.

Tabela 21 – Análise de Variância para as médias de rugosidade “Ra”.

Fatores	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>SQM</i>	<i>Valor F</i>	<i>valor -P</i>	<i>F crítico</i>
Conjunto de Lixas	2	390,04	195,02	210,95	2,76E-75	3,00
Velocidade de Corte	3	14,09	4,69	3,44	0,0162	2,61
Velocidade de Avanço	3	62,41	20,80	15,92	4,39E-10	2,61
Vc x Va	9	16,95	1,88	1,45	0,1607	1,89

\*Valor significativo a um nível de 5% de significância.

Para os três primeiros fatores houve influência significativa nos valores de rugosidade “Ra”, ficando de fora somente a interação velocidade de corte e de avanço.

#### 4.2.3 Emissão acústica (EA)

Diferente das análises anteriores, para os parâmetros emissão acústica e vibração serão apresentados somente as análises de variância com as médias dos 5 valores máximos obtidos nos ensaios para cada combinação, que são apresentados no Apêndice B. Isso foi realizado devido a dificuldade de se obter sinais constantes ao longo dos ensaios, que são atribuídas a heterogeneidade da madeira.

Os dados coletados de emissão acústica foram em Volts com RMS (raiz média quadrática).

A análise do fator conjunto de lixas pode ser vista na Tabela 22.

Tabela 22 – Valores médios de emissão acústica para o fator conjunto de lixas.

Fator: Conjunto de Lixas			
	P80-P100	P80-P120	P100-P120
Média (RMS)	9,48c	8,70b	8,15a
DP (RMS)	1,33	1,35	1,46
CV (%)	14,04	15,48	17,96

A Figura 44 mostra em um gráfico os valores médios. Percebeu-se que o conjunto de lixas que mostrou menores valores de emissão acústica foi o P100-P120. E o maior valor foi para o conjunto P80-P100. Isso era de se esperar, pois quanto maior o grão de lixa, mais material o abrasivo tente a tirar, e essas tensões são mais fáceis de serem captadas pelo sensor. Com isso, nota-se que quando os grãos da lixa forem diminuindo de tamanho pode se relacionar ao desgaste da mesma. Pelo teste de Tukey, todas as médias se mostraram diferentes estatisticamente. Santiago (2011) obteve resultados semelhantes com o lixamento plano, usando sensor de EA próximo a área de contato entre a lixa e amostras de madeira de *Pinus elliottii*. Logo, o monitoramento pode ser viável para prever-se o desgaste do abrasivo.

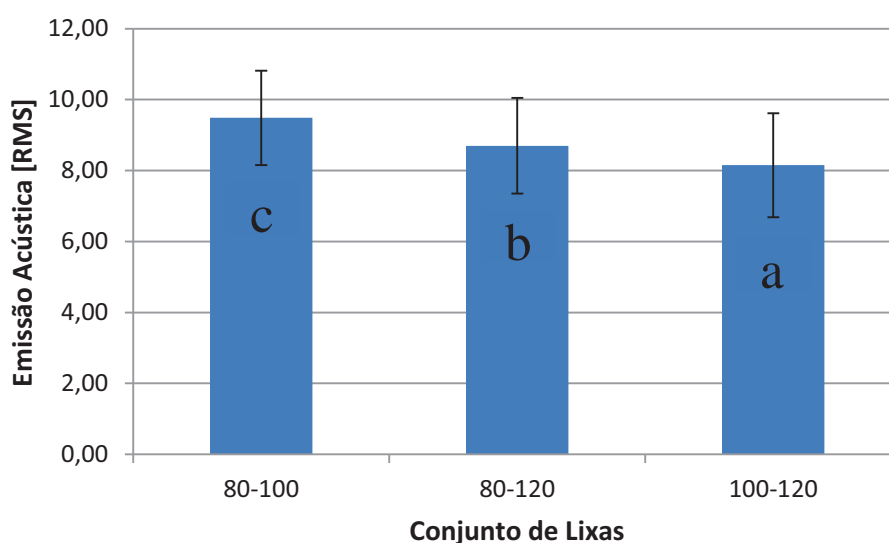


Figura 44 – Emissão acústica para o fator conjunto de lixas.



Na Tabela 23 pode-se ver os valores para o fator velocidade de corte.

Tabela 23 – Valores médios de emissão acústica para o fator velocidade de corte.

	Fator: Velocidade de Corte (m/s)			
	19,5	22,7	26,0	28,1
Média (RMS)	8,79abc	8,50bc	8,40c	9,42a
DP (RMS)	1,16	1,39	1,24	1,85
CV (%)	13,21	16,34	14,72	19,66

Na Figura 45 é mostrada a análise variando-se a velocidade de corte. Houve influência significativa somente entre as velocidades de corte 26 e 28,1 m/s. Mesmo com este resultado percebe-se que essa variação de valores é mínima (1,02 RMS). Varanda (2010) obteve resultados maiores de EA para a velocidade de corte de 28,1 m/s. Santiago (2011) não obteve resultados significativos variando-se a velocidade de corte.

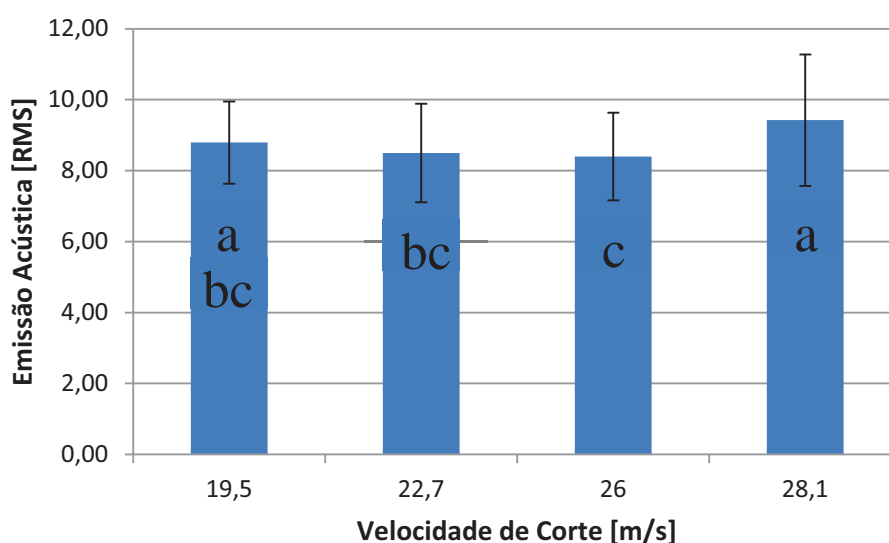


Figura 45 – Emissão acústica para o fator velocidade de corte.

A Tabela 24 mostra os dados para o fator velocidade de avanço.

Tabela 24 – Valores médios de emissão acústica para o fator velocidade de avanço.

Fator: Velocidade de Avanço (m/min)				
	9	13	16	18
Média (RMS)	8,32b	8,09b	9,13a	9,57a
DP (RMS)	1,89	0,92	1,23	1,22
CV (%)	22,73	11,40	13,52	12,72

A Figura 46 mostra que quanto maior a velocidade de avanço, maior é a emissão acústica. Isso pode acontecer devido a uma usinagem mais agressiva para o aumento da velocidade de avanço.

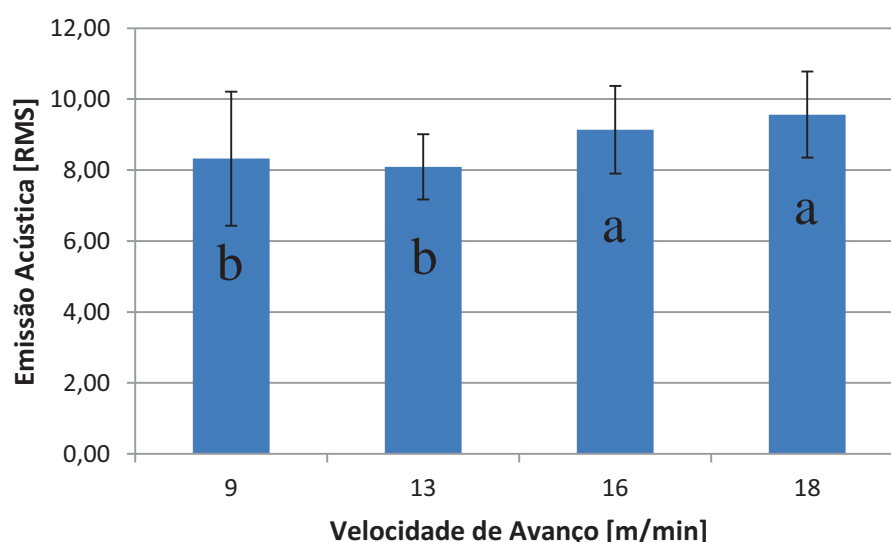


Figura 46 – Emissão acústica para o fator velocidade de avanço.

O monitoramento da emissão acústica na lixadeira tubular seria adequado para se prever o desgaste da lixa somente para o fator conjunto de lixas. Para a análise de variância na Tabela 25, temos que todos os fatores tiveram influência significativa para a emissão acústica, exceto a interação entre velocidade de corte e de avanço.

Tabela 25 – Análise de Variância para as médias de emissão acústica.

Fatores	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>SQM</i>	<i>Valor F</i>	<i>valor -P</i>	<i>F crítico</i>
Conjunto de Lixas	2	71,76	35,88	18,79	2,66E-08	3,03
Velocidade de Corte	3	38,27	12,75	6,19	0,000455	2,64
Velocidade de Avanço	3	85,67	28,55	15,36	3,65E-09	2,64
Vc x Va	9	28,68	3,18	1,92	0,0501	1,92

\*Valor significativo a um nível de 5% de significância.

#### 4.2.4 Vibração

A análise do parâmetro vibração, em mm/s, foi feita coletando-se os 5 maiores valores do tratamento de dados dos ensaios, e feito a análise de variância. Os valores podem ser encontrados no Apêndice B. Como visto na revisão bibliográfica, a vibração pode estar relacionada aos componentes de máquinas e também ao comportamento da usinagem que está sendo realizada. O desgaste da ferramenta abrasiva pode influenciar na vibração. Nos ensaios todos os fatores tiveram influência significativa sobre a vibração.

Na Tabela 26 são apresentados os valores para o fator conjunto de lixas.

Tabela 26 – Valores médios de vibração para o fator conjunto de lixas.

Fator: Conjunto de Lixas			
	P80-P100	P80-P120	P100-P120
Média (mm/s)	11,72b	11,30b	13,96a
DP (mm/s)	5,96	4,34	5,47
CV (%)	50,80	38,39	39,21

Pode-se analisar na Figura 47 que os conjuntos que provocaram um menor valor de vibração, foram o P80-P100 e P80-P120. Uma das explicações para isso é que o abrasivo com grãos menores (P100-P120) tem maior área de contato, provocando maior vibração. Pelo teste de Tukey, o conjunto de lixas P100-P120 teve média diferente estatisticamente dos outros conjuntos de lixas, e também foi o maior. Logo o desgaste de um abrasivo pode acarretar em uma maior vibração.

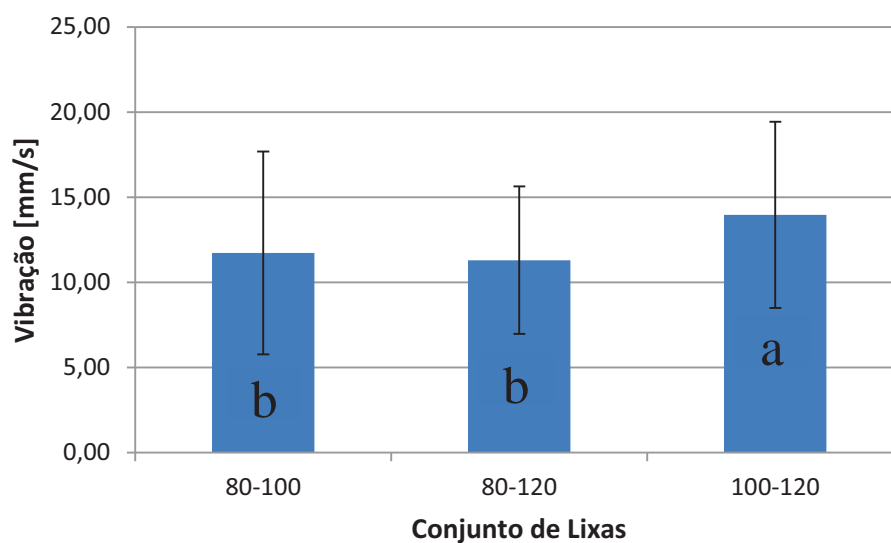


Figura 47 – Vibração para o fator conjunto de lixas.

A Tabela 27 mostra os valores para o fator velocidade de corte.

Tabela 27 – Valores médios de vibração para o fator velocidade de corte.

Fator: Velocidade de Corte (m/s)				
	19,5	22,7	26,0	28,1
Média (mm/s)	14,60a	11,80b	11,68b	11,24b
DP (mm/s)	5,65	5,59	4,59	5,20
CV (%)	38,71	47,37	39,28	46,21

A Figura 48 mostra os valores para o fator velocidade de corte. Percebeu-se com o aumento da velocidade de corte, houve um menor valor para vibração. O maior valor se deu para a menor velocidade de corte de 19,5 m/s, o que também ocorreu para o trabalho realizado por Varanda (2010). Pelo teste de Tukey, a única diferença estatística de médias, se deu entre a velocidade de corte 19,5 m/s e as demais.

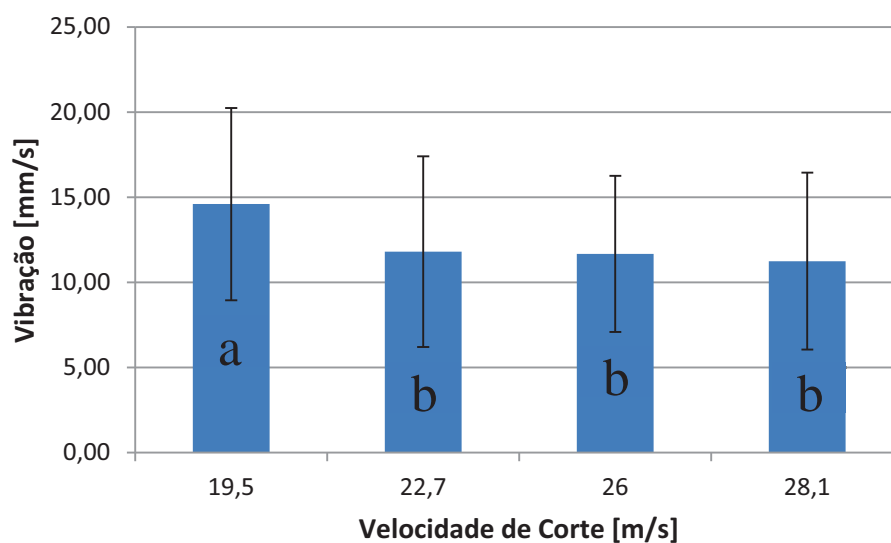


Figura 48 – Vibração para o fator velocidade de corte.

A Tabela 28 mostra os valores para o fator velocidade de avanço.

Tabela 28 – Valores médios de vibração para o fator velocidade de avanço.

	Fator: Velocidade de Avanço (m/min)			
	9	13	16	18
Média (RMS)	15,29a	11,84bc	12,70b	9,49c
DP (RMS)	5,03	4,49	5,62	4,88
CV (%)	32,91	37,92	44,22	51,45

A Figura 49 mostra que com o aumento da velocidade de avanço, também se obteve menores valores de vibração. Pelo teste de Tukey, as únicas médias dos valores de vibração para o fator velocidade de avanço, que não diferem entre si estatisticamente são 13 e 16 m/min. Esse resultado não era de se esperar, pois com o aumento da velocidade de avanço os grãos abrasivos tendem a ter que usar mais material provocando maiores tensões na madeira. Uma das possíveis explicações para isso é que com velocidade de avanço mais lenta, e os sinais captados que não são constantes, pelos sensores, tiveram picos maiores que nas outras velocidades de avanço em que as amostras passaram mais rápidas.

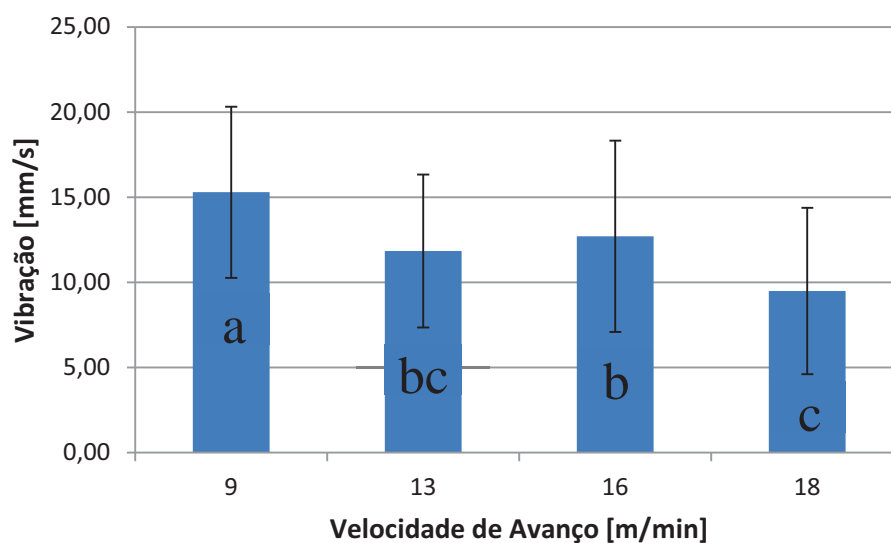


Figura 49 – Vibração para o fator velocidade de avanço.

Os resultados da análise de variância são mostrados na Tabela 29.

Tabela 29 – Análise de variância para as médias de vibração.

Fatores	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>SQM</i>	<i>Valor F</i>	<i>valor -P</i>	<i>F crítico</i>
Conjunto de Lixas	2	326,56	163,28	5,81	0,0034	3,03
Velocidade de Corte	3	421,48	140,49	5,05	0,0020	2,64
Velocidade de Avanço	3	1032,98	344,32	13,65	3,03E-08	2,64
Vc x Va	9	692,55	76,95	3,56	0,0003	1,92

\*Valor significativo a um nível de 5% de significância.

Houve influência significativa para todos os fatores.

## 5 CONCLUSÕES

O sistema de monitoramento foi adequado para as análises propostas, principalmente para a variável de potência consumida, onde um menor consumo gera menores custos. Para a análise de emissão acústica e vibração, com o uso dos sensores, o monitoramento foi adequado e contribuirá na análise de desgaste da lixa.

Todos os fatores: conjunto de lixas, velocidade de corte e de avanço, tiveram influência significativa sobre os parâmetros: potência consumida, rugosidade média “Ra”, emissão acústica e vibração. Alguns apresentaram resultados mais expressivos que outros.

O monitoramento do consumo de potência mostrou que para todos os fatores: conjunto de lixas, velocidade de corte e de avanço, houve influência significativa variando-se os seus valores. O conjunto de lixas, velocidade de corte e de avanço, que consumiram maior potência foi o P100-P120, 28,1 m/s e 18 m/min respectivamente.

Para a análise de rugosidade, todos os fatores também tiveram influência significativa. O conjunto de lixas que proporcionou melhor acabamento foi o P100-P120. Em relação as velocidades de corte e de avanço, a variação mostrou influência significativa porém pouco expressiva. A configuração que poderia dar menores custos e boa qualidade no acabamento na indústria do mobiliário seria usar o conjunto de lixas de granulometrias P100-P120, e as velocidades menores de corte e de avanço (19,5 m/s e 9 m/min, respectivamente) por consumirem menos potência e ainda sim apresentar bons resultados em relação ao acabamento de peças torneadas.

O desgaste da lixa pode ser monitorado através dos parâmetros emissão acústica, que teve seu menor valor com a maior granulometria de lixa, e que o valor de vibração maior se teve com a granulometria de lixa maior (P100-P120). Todos os fatores tiveram influência significativa sobre a emissão acústica e vibração.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASME B46.1. **Surface Texture** (Surface Roughness, Waviness & Lay), 2003.

AGUILERA, A.; MARTIN, P. Machining qualification of solid wood of *Fagus sylvatica* L. and *Picea excelsa* L.: cutting forces, power requirements and surface roughness. **Holz als Roh – und Werkstoff**, v.59, n.6, p.483-488, 2001.

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 6405**: Rugosidades de superfícies. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 4287**: Especificações geométricas do produto (GPS)- Rugosidade: Método do perfil-Regras e procedimentos para avaliação de rugosidade. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14960**: Abrasivos revestidos - Lixas - Requisitos de segurança para seu uso. Rio de Janeiro, 2003.

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

BOLTON, W. **Instrumentação e Controle**. São Paulo: Hemus, 2002.

BOSCH. **Sanding & Polishing**. Disponível em: <[http://www.bosch-do-it.co.uk/download/ACC-DIY-GRINDING\\_POLISHING-GB-en.pdf](http://www.bosch-do-it.co.uk/download/ACC-DIY-GRINDING_POLISHING-GB-en.pdf)> Acessado em: 11 jul. 2011.

BOZO, L. F. Abrasivos revestidos. Disponível em: <<http://www.slideshare.net/luizfbozo/abrasivos-revestidos>>. Acesso em: 03 jul. 2011.

BUDAKCI, M.; GURLEYEN, L.; CINAR, H.; KORKUT, S. Effect of wood finishing and planing on surface smoothness of finished wood. **Journal of Applied Sciences**, v.7, n.16, p.2300-2306, 2007.

CATAI, R. E. **Lixa, lixadeiras e formas de lixamento da madeira**. 2002. 72p. Trabalho apresentado como parte da disciplina “Usinagem da Madeira” no Curso de Pós Graduação em Engenharia Industrial – Faculdade de Engenharia de Bauru – Universidade Estadual Paulista, 2002.

CARRANO, A. L.; TAYLOR, J. B. Geometric Modeling of Engineered Abrasive Processes. **Journal of Manufacturing Processes**, v.7, n.1, p.17-27. 2005.



FOTIN, A.; CISMARU, I.; SALCĂ, E. A. Experimental research concerning the power consumption during the sanding process of birch wood. **ProLigno**, v.4, n.3, p.37-45, sep. 2008.

GERALDO, J. Z. IPT (Org.). **Madeira: uso sustentável na construção civil**. 2. ed. São Paulo, 2009. 99 p.

GIRIRAJ, B.; RAJA, V. P.; GANDHINADHAN, R.; GANESHKUMAR, R. Prediction of tool wear in high speed machining using acoustic emission technique and neural network. **Indian Journal of Engineering & Materials Sciences**, PSG College of Technology. v.13, p.275-280, 2010.

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

GURAU, L. An objective method to measure and evaluate the quality of sanded wood surfaces. In: **The Final Conference Of Cost Action**, 53, Edinburgh, 2010.

GURAU, L.; MANSFIELD-WILLIAMS, H.; IRLE, M. Processing roughness of sanded wood surface. **Holz als Roh - und Werkstoff**, v.63, n. 1, p. 43-52, Nov.2004.

GURAU, L.; MANSFIELD-WILLIAMS, H.; IRLE, M. Filtering the roughness of a sanded wood surface. **Holz als Roh - und Werkstoff**, v.64, n. 5, p. 363-371, Jan.2006.

HAWKS, L. K. **Wood Finishing and Refinishing: Sanding**. Disponível em: [http://extensions.usu.edu/files/publications/publication/HI\\_26.pdf](http://extensions.usu.edu/files/publications/publication/HI_26.pdf). Acesso em: 16 ago. 2011.

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.

HENDARTO, B.; SHAYAN, E.; OZARSKA, B. **Characterisation of Surface Finishing Processes in Wood Furniture Manufacturing**. Disponível em: <<http://www.swinburne.edu.au/engineering/iris/pdf/profiles/BennyHendarto.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2011.

ISO 11562: 1996 – Características metrológicas de filtros de correção de fase”.

JAVOREK, L.; HRIC, J.; VACEK, V. The Study of Chosen Parameters During Sanding of Spruce and Beech Wood. **ProLigno**, v.2, n.4, p.15-24, 2006.

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

MAGOSS, E. General Regularities of Wood Surface Roughness. **Acta Silvatica & Lingaria Hungarica**. v.4, p.81-93, 2008.

MALDONADO, M. R. Trabajabilidad de Tableros. **Maderas Cs. & Tec.**, v.1, n.1, p.61-70, 1998.

MOREIRA, F. C. **Aplicações de sistemas de monitoramento e supervisão de processos**. 2007. 45 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP, São Carlos, 2007.

MOURA, L. F.; HERNÁNDEZ, R. E. Effects of abrasive mineral, grit size and feed speed on the quality of sanded surfaces of sugar maple wood. **Wood Science And Technology**, Springer-Verlag, v. 40, n. 6, p.517-530, 3 mar. 2006.

NAGYSZALANCY, S. **The wood sanding book**: A guide to abrasives, machines, and methods. Tauton Press, New York, 1997. 213p.

PEREIRA, J. C. D.; STURION, J. A.; HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 38).

PONCE, R.H. Madeira serrada de eucalipto: desafios e perspectivas. **In: Seminário Internacional De Utilização Da Madeira De Eucalipto Para Serraria**, São Paulo: 1995. Anais. Piracicaba: IPEF/IPT, 1995. p. 50 - 58.

PORANKIEWICZ,; WIELOCH, G. Sanding of *Fagus sylvatica* L. Wood Perpendicularly to the Grains. **BioResources**. v. 3, n.3, p. 684-700, 2008.

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.

PRASAD, B. S.; SARCAR, M. M. M. Measurement of Cutting Tool Condition by Surface Texture Analysis Based on Image Amplitude Parameters of Machined Surfaces-an Experimental Approach. **Journal of Metrology Society of India**, Metrology Society of India. v.23, n.1, p.39-54, 2008.

RATNASINGAM, J.; F. SCHOLZ. Optimizing the abrasive sanding process of rubberwood (*Hevea brasiliensis*). **Holz als Roh - und Werkstoff**. v.62, n. 4, p. 411-418, oct. 2004.

RATNASINGAM, J.; F. SCHOLZ. Optimal Surface Roughness for High-Quality Finish on Rubberwood (*Hevea brasiliensis*). **Holz als Roh - und Werkstoff**. v.64, n. 5, p. 343-345, dec. 2005.

SALONI, D. E.; LEMASTER, R. L.; JACKSON, S. D. Abrasive machining process characterization on material removal rate, final surface texture, and power consumption for wood. **Forest Products Journal**, v.55, n. 12, p.35-52, dec.2005.

SALONI, D. **Abrasive Machining Process Characterization on Material Removal Rate, Final Surface and Power Consumption When Wood Is Used**. MS Thesis. Integrated Manufacturing System Engineering, North Carolina State University. 2003.

SAMOLEJ, A.; BARCIK, S. Influence of Specific Pressure on Cutting Power and Wood Removal by Disc Sander. **Drvna Industrija**. v.57, n.1, p.5-11, 2006.

SANDAK, J.; TANAKA, C. Evaluation of Surface Smoothness by Laser Displacement sensor 1: effect of wood species. **Journal of Wood Science**, v.49, n.4, p.305-311, 2003.

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.

SILVA, J. R. M.; ALVES, J. A.; NOGUEIRA, M. O. G.; BRAGA, P. P. C. Qualificação da Superfície Acabada em Madeiras de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Toona ciliata* M. Roemer e *Coffea arabica* L. **Cerne**, v. 16, Suplemento, p. 15-22, 2010.

TAYLOR, J. B.; CARRANO, A. L.; LEMASTER, R. L. Quantification of process parameters in a wood sanding operation. **Forest Products Journal**. v.49, n. 5, p.41-46, 1999.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. **Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações**. 5. ed. São Paulo: Érica, 2008. 221 p.

TIBURCIO, U. F. O. **Medição e análise do acabamento superficial da madeira de eucalipto na usinagem de torneamento cilíndrico e lixamento**. 2009. 101p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do *Campus* de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2009.

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.

VARANDA, L. D.; ALVES, M. C. S.; GONÇALVES, M. T. T.; SANTIAGO, L. F. F. Influência das variáveis no lixamento tubular na qualidade das peças de *Eucalyptus grandis*. **Cerne**. v.16, Suplemento, p. 23-32, 2010.

VARASQUIM, F. M. F. A. **Análise da Influência da Velocidade de Corte, da Granulometria da Lixa e da Pressão Específica de Corte no Processo de Lixamento do *Eucalyptus grandis***. 2009. 53p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Estadual Paulista do Campus de Itapeva, 2009.

VITTI, A. M. S. ; BRITO, J. O. Óleo Essencial de Eucalipto. **Documentos Florestais**. Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. n.17, ago, 2003.

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.

## APÊNDICE A - ANÁLISE FÍSICA DA MADEIRA

Resultados das análises físicas da espécie *Corymbia citriodora*.

Tabela A.1 - Valores das dimensões, massas e densidades aparentes a 12% umidade das mostras de madeira de *Corymbia citriodora*.

*Nº	Massa (g)	Diâmetro (mm)	Raio (mm)	Altura (mm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Umidade (%)	D <sub>ap</sub> (g.cm <sup>-3</sup> )
17	30,39	34,84	17,42	30,10	28,70	11,94	1,059
10	28,29	34,63	17,32	30,12	28,37	12,72	0,997
28	26,85	34,94	17,47	30,21	28,87	12,35	0,927
64	31,21	34,94	17,47	30,27	29,02	12,70	1,075
3	24,78	34,31	17,16	30,49	28,19	12,47	0,879
76	28,12	34,80	17,40	30,04	28,57	12,93	0,984
35	19,28	34,87	17,44	30,28	28,92	11,56	0,667
67	28,19	35,13	17,57	30,01	29,09	12,67	0,969
136	26,59	34,77	17,39	30,23	28,70	12,77	0,926
92	30,04	34,81	17,41	30,26	28,80	12,79	1,043
53	29,86	34,58	17,29	30,35	28,50	12,51	1,048
138	20,35	34,70	17,35	30,31	28,66	12,47	0,710
77	28,01	34,85	17,43	30,47	29,06	12,67	0,964
13	28,36	34,84	17,42	30,51	29,09	12,11	0,975
19	29,28	35,05	17,53	30,37	29,30	12,34	0,999
36	30,59	35,08	17,54	30,09	29,08	12,84	1,052
21	28,02	34,86	17,43	30,60	29,21	12,24	0,959
41	30,18	34,53	17,27	30,30	28,37	12,72	1,064
27	28,00	35,19	17,60	30,16	29,33	12,50	0,955
78	27,93	34,70	17,35	30,70	29,03	12,13	0,962
37	29,21	34,84	17,42	30,69	29,26	12,39	0,998
68	22,16	34,99	17,50	30,43	29,26	12,20	0,757
20	27,12	34,85	17,43	30,69	29,27	12,93	0,926
14	23,55	34,25	17,13	30,27	27,89	12,25	0,844
40	30,12	34,81	17,41	30,45	28,98	11,36	1,039
26	31,03	35,21	17,61	30,43	29,63	12,19	1,047
42	17,99	34,78	17,39	30,11	28,61	12,15	0,629
137	29,83	30,74	15,37	30,07	22,32	12,55	1,337
126	27,97	34,44	17,22	30,29	28,22	12,44	0,991
116	28,54	34,80	17,40	30,38	28,90	12,18	0,988

\*N – corresponde ao número da amostra retirada aleatoriamente

Tabela A.2 - Valores das densidades básicas das mostras de madeira de *Corymbia citriodora*.

*N <sup>o</sup>	* $m_v$ (g)	* $m_i$ (g)	* $m_s$ (g)	$D_b$ (kg.m <sup>-3</sup> )
100	38,25	8,25	23,28	0,776
81	40,67	8,53	24,32	0,757
120	39,65	8,59	24,15	0,778
108	43,13	7,82	22,42	0,635
106	38,94	8,48	24,23	0,795
44	42,00	8,61	24,46	0,733
48	38,50	6,71	19,30	0,607
86	43,01	9,42	26,76	0,797
130	35,77	7,59	21,54	0,764
43	39,84	6,89	20,14	0,611
46	40,49	8,98	25,20	0,800
134	38,44	6,80	19,74	0,624
141	40,65	7,72	22,56	0,685
71	41,94	8,58	24,40	0,731
50	42,63	9,47	26,98	0,814
103	42,27	9,11	25,84	0,779
112	39,21	8,69	24,55	0,804
57	40,13	8,09	22,88	0,714
58	42,62	8,89	25,52	0,757
61	42,88	8,39	24,37	0,707
15	40,20	8,25	23,50	0,736
6	38,32	7,56	21,49	0,699
4	39,04	8,39	23,84	0,778
9	40,29	8,59	24,43	0,771
29	41,58	8,50	24,39	0,737
32	41,79	9,10	25,90	0,792
23	41,62	8,12	23,75	0,709
25	41,34	6,83	20,18	0,585
22	40,47	8,85	25,06	0,793
12	42,35	8,18	23,38	0,684

\*N - corresponde ao número da amostra retirada aleatoriamente,  $m_s$  - massa de amostra seca,  $m_v$  - massa de amostra saturada em água,  $m_i$  - massa de amostra saturada imersa em água.

## APÊNDICE B - RESULTADO DO LIXAMENTO

Resultados do lixamento da madeira de *Corymbia citriodora*.

Tabela B.1 - Valores de Potência Consumida (W) para conjunto de lixas P80-P100.

Velocidade de Avanço (m/min)	Velocidade de Corte (m/s)				
	Nº	19,5	22,7	26,0	28,1
9	1	3052,678	4447,341	5646,507	4528,149
	2	2963,810	4293,091	5646,332	4479,946
	3	2939,095	4232,093	5438,796	4471,357
	4	2868,806	4121,664	5438,796	4404,224
	5	2828,841	4024,557	5308,210	4387,396
13	1	3490,572	5584,038	5319,436	4849,936
	2	3472,342	5450,822	5242,750	4653,294
	3	3457,268	5292,366	4993,847	4485,758
	4	3313,185	4693,247	4725,006	4442,691
	5	3307,401	4648,374	4687,320	4391,105
16	1	3892,696	5411,829	6760,029	5190,863
	2	3784,195	5257,789	6704,612	5109,706
	3	3774,730	5240,471	6098,607	4992,617
	4	3565,967	4390,066	5425,294	4832,583
	5	3535,293	4299,374	4836,790	4599,105
18	1	3714,115	6535,505	6828,26	7767,526
	2	3509,559	6498,205	6576,728	7758,937
	3	3458,201	6234,017	6511,435	7703,722
	4	3389,840	6145,674	6020,203	7679,709
	5	3361,269	6031,530	4248,524	7432,208

\*Nº - número de pontos tratados para cálculo das médias

Tabela B.2 - Valores de Potência Consumida (W) para conjunto de lixas P80-P120.

Velocidade de Avanço (m/min)	Velocidade de Corte (m/s)				
	Nº	19,5	22,7	26,0	28,1
9	1	3532,520	3186,651	4439,643	4513,053
	2	3374,940	3116,011	4223,343	4350,741
	3	3333,398	3078,325	4210,022	4314,457
	4	3272,750	2990,859	4188,637	4264,326
	5	3222,970	2912,682	4124,834	4165,816
13	1	2418,829	2196,231	5387,645	4406,768
	2	2391,274	2183,961	5000,952	4141,038
	3	2282,949	2167,134	4841,444	4040,425
	4	2205,754	2140,491	4542,252	4017,989
	5	2039,165	2069,151	4331,018	3923,336
16	1	5111,702	6441,019	5172,982	7496,838
	2	4955,349	6367,400	4998,662	7292,457
	3	4805,832	6177,953	4681,311	7239,522
	4	4700,837	5373,542	4330,306	7059,856
	5	4343,96	5244,463	3826,278	6900,874
18	1	4284,924	5953,468	5900,901	6695,922
	2	4067,012	5626,599	5898,798	6593,732
	3	3819,231	4966,481	5507,389	6339,045
	4	3506,806	4777,525	5231,668	6322,568
	5	3082,620	4702,434	5173,124	6300,482

\*Nº - número de pontos tratados para cálculo das médias



Tabela B.3 - Valores de Potência Consumida (W) para conjunto de lixas P100-P120.

Velocidade de Avanço (m/min)	Velocidade de Corte (m/s)				
	Nº	19,5	22,7	26,0	28,1
9	1	3609,817	3113,200	6697,509	7362,888
	2	3510,607	3048,170	6484,014	7293,125
	3	3495,708	2987,872	6453,164	7165,168
	4	3431,905	2977,706	6289,098	7105,572
	5	3303,948	2867,803	6233,534	7054,740
13	1	2490,126	5106,649	5431,010	6107,773
	2	2418,610	4906,475	4443,900	5706,374
	3	2390,740	4810,069	4290,527	5324,256
	4	2322,730	4390,090	4224,883	4918,474
	5	2113,967	3814,634	4145,743	4376,673
16	1	4313,960	7932,526	7687,280	5303,357
	2	4209,667	7880,466	7550,699	5244,462
	3	4167,073	7837,872	7042,237	5099,678
	4	4166,722	7456,105	6729,531	4964,885
	5	4158,659	6007,386	6426,360	4937,365
18	1	4351,283	9954,000	8580,295	8136,352
	2	4323,237	9693,178	8432,005	7777,722
	3	4276,437	9200,456	7931,921	7265,193
	4	4259,785	7935,260	7763,649	7076,062
	5	4158,295	5273,404	7452,609	6833,645

\*Nº - número de pontos tratados para cálculo das médias

Tabela B.4 - Valores de Rugosidade Média “Ra” ( $\mu\text{m}$ ) para conjunto de lixas P80-P100.

Velocidade de Avanço 9 m/min					Velocidade de Avanço 13 m/min			
Vc* [m/s]	19,5	22,7	26	28,1	19,5	22,7	26	28,1
1	7,2	7,8	8,6	7,4	7,8	7,2	7,8	7,8
2	9,0	6,6	6,4	8,2	8,2	6,0	9,4	9,0
3	7,2	7,0	8,6	6,4	6,4	7,6	8,8	8,6
4	7,0	7,4	6,6	7,4	9,2	6,6	7,0	9,0
5	7,8	6,2	7,2	6,6	8,4	7,4	7,4	9,2
6	7,8	6,2	6,8	8,4	7,0	7,2	8,4	10,2
7	7,4	6,8	6,6	7,2	7,8	8,4	7,4	7,2
8	7,8	9,0	7,2	7,2	8,2	7,8	6,4	8,4
9	8,4	8,0	6,4	6,4	12,6	8,2	10,6	9,8
10	7,0	7,6	6,0	6,4	7,0	6,0	7,6	9,0
11	6,8	6,8	7,8	6,0	8,6	7,4	7,4	8,0
12	6,4	7,8	6,8	6,8	7,2	7,2	8,0	8,4
13	7,8	7,4	8,4	7,0	8,2	8,4	7,8	8,0
14	7,4	8,0	8,0	8,0	7,8	8,2	7,8	8,0
15	7,0	7,6	6,6	7,2	7,6	7,2	7,2	7,4
16	7,2	7,6	6,8	7,4	7,0	7,2	8,6	7,2
17	7,0	6,4	6,8	6,4	5,8	8,6	7,8	8,0
18	7,4	8,0	6,0	6,0	6,8	8,6	8,4	6,4
Velocidade de Avanço 16 m/min					Velocidade de Avanço 18 m/min			
Vc* [m/s]	19,5	22,7	26	28,1	19,5	22,7	26	28,1
1	10,4	9,6	8,2	7,6	9,0	7,6	7,6	8,2
2	9,0	8,8	10,0	6,8	8,4	9,4	9,8	9,4
3	8,4	8,4	9,8	7,0	7,6	7,2	8,2	7,8
4	11,2	9,4	13,0	6,2	8,0	7,6	7,8	8,0
5	9,4	9,4	9,0	6,8	7,4	8,4	7,6	9,2
6	10,4	9,4	9,8	6,4	9,0	9,0	8,0	8,8
7	9,0	10,8	9,4	7,2	8,0	6,8	7,8	7,6
8	8,0	10,0	7,2	7,0	9,2	8,4	8,2	7,2
9	8,6	9,6	10,4	6,8	8,8	8,4	9,8	6,2
10	6,8	9,8	9,4	7,6	8,2	7,8	9,2	8,2
11	8,2	11,6	9,6	6,2	8,4	7,4	8,4	8,8
12	9,0	9,6	9,4	6,2	10,0	7,4	7,8	8,1
13	7,8	9,4	8,0	9,0	9,2	8,0	8,2	8,8
14	8,8	8,2	10,2	7,2	8,4	7,4	9,4	8,6
15	9,2	7,2	8,8	7,2	9,0	7,6	9,6	9,6
16	9,0	8,8	7,4	6,8	10,8	8,2	8,2	7,6
17	7,8	8,8	9,8	8,4	8,8	9,4	9,6	8,8
18	8,8	9,4	9,0	7,4	9,8	9,2	8,0	8,0

\*Vc – velocidade de corte

Tabela B.5 - Valores de Rugosidade Média “Ra” ( $\mu\text{m}$ ) para conjunto de lixas P80-P120.

Velocidade de Avanço 9 m/min					Velocidade de Avanço 13 m/min			
Vc* [m/s]	19,5	22,7	26	28,1	19,5	22,7	26	28,1
1	7,2	5,8	7,2	8,6	6,6	6,4	6,8	6,8
2	7,8	6,2	8,2	6,6	7,4	6,0	5,6	7,4
3	7,4	6,8	7,0	6,8	6,6	6,2	6,0	6,8
4	6,2	6,0	7,4	7,8	7,0	6,8	6,2	5,8
5	6,8	6,2	8,2	7,0	5,6	6,0	6,0	6,6
6	7,2	7,0	6,6	8,0	6,0	6,0	6,1	6,8
7	6,4	6,4	7,2	6,4	6,0	6,0	6,8	6,0
8	6,6	7,0	6,4	7,0	6,4	7,0	6,2	6,0
9	5,0	5,6	7,4	6,8	5,8	6,8	7,0	7,2
10	5,6	5,8	8,2	7,4	6,4	6,4	5,8	5,6
11	7,0	6,2	7,8	6,8	5,8	6,6	6,0	6,2
12	6,4	6,8	7,0	6,8	5,8	6,8	5,8	7,0
13	6,6	6,4	6,4	8,2	6,0	7,0	5,8	6,2
14	8,4	7,2	5,8	6,0	7,6	5,4	6,2	6,6
15	5,6	6,4	6,2	7,4	6,4	6,2	5,8	8,0
16	7,8	5,8	6,6	6,2	6,8	5,4	6,2	8,0
17	7,6	7,6	5,4	6,2	7,0	7,6	6,2	6,4
18	5,8	5,2	5,4	6,8	6,2	7,2	5,4	6,4
Velocidade de Avanço 16 m/min					Velocidade de Avanço 18 m/min			
Vc* [m/s]	19,5	22,7	26	28,1	19,5	22,7	26	28,1
1	8,4	6,8	5,8	8,0	8,0	6,6	7,8	8,0
2	5,8	6,6	6,2	7,0	7,8	6,6	7,2	8,6
3	6,4	6,2	7,2	6,8	9,4	7,4	6,6	8,2
4	7,4	7,0	5,4	5,6	11,6	7,0	6,4	8,2
5	6,4	7,8	7,6	7,6	7,8	8,6	9,8	7,4
6	7,8	7,4	6,0	7,8	8,0	7,4	7,2	7,4
7	5,6	7,8	6,6	6,4	6,4	7,6	5,8	6,2
8	7,2	6,8	6,8	6,4	7,2	7,0	6,6	7,0
9	8,2	6,4	6,6	6,4	6,8	8,0	5,8	8,2
10	7,0	7,2	6,6	6,2	6,8	8,6	6,6	6,6
11	8,0	7,0	5,4	6,8	6,4	7,6	7,4	7,6
12	6,8	6,6	6,4	6,2	7,2	6,4	7,2	6,2
13	6,8	6,6	6,2	8,0	7,0	6,4	6,4	6,0
14	7,6	6,2	6,2	6,8	6,8	7,0	6,4	6,8
15	7,0	6,4	7,0	7,4	7,4	5,6	8,0	6,6
16	7,2	6,8	6,4	6,8	7,2	6,4	7,0	6,4
17	7,2	6,4	6,2	7,0	8,0	7,6	7,0	7,0
18	8,4	6,2	7,0	6,0	7,4	6,4	6,6	6,6

\*Vc – velocidade de corte

Tabela B.6 - Valores de Rugosidade Média “Ra” ( $\mu\text{m}$ ) para conjunto de lixas P100-P120.

Velocidade de Avanço 9 m/min					Velocidade de Avanço 13 m/min			
Vc* [m/s]	19,5	22,7	26	28,1	19,5	22,7	26	28,1
1	7,4	8,8	6,2	5,8	6,2	5,6	5,6	6,0
2	8,6	7,8	6,8	6,2	6,4	6,0	6,0	5,6
3	7,4	7,0	6,6	5,4	5,4	5,8	5,2	5,8
4	7,4	7,0	7,0	5,0	6,0	5,8	7,2	6,0
5	8,8	8,2	5,6	5,6	5,4	6,0	5,2	5,6
6	8,0	7,0	6,4	6,0	5,6	6,0	6,0	5,6
7	7,2	5,2	6,0	6,0	7,0	6,8	5,2	6,0
8	5,6	6,2	8,0	6,2	6,2	7,4	5,4	6,0
9	6,6	6,6	6,4	6,6	6,6	6,0	6,8	6,0
10	6,6	6,0	7,0	7,6	7,6	6,4	6,0	6,4
11	6,2	5,6	7,0	7,2	6,4	6,2	5,8	7,0
12	7,0	5,4	6,2	7,2	5,4	7,2	5,6	5,6
13	6,6	6,4	5,6	6,4	6,2	6,2	6,2	6,4
14	6,6	6,2	6,4	6,8	7,0	7,0	6,2	8,2
15	8,2	6,6	7,2	7,2	6,4	6,0	7,4	6,0
16	7,0	6,2	6,4	7,0	6,2	6,2	7,0	5,6
17	5,4	5,6	6,4	5,4	7,0	5,6	7,4	5,8
18	6,8	6,5	5,8	6,0	6,6	5,6	7,0	5,2
Velocidade de Avanço 16 m/min					Velocidade de Avanço 18 m/min			
Vc* [m/s]	19,5	22,7	26	28,1	19,5	22,7	26	28,1
1	6,4	5,8	6,8	6,2	6,6	6,4	5,2	6,4
2	6,8	5,8	7,4	6,2	7,8	5,6	7,4	7,0
3	7,6	7,2	7,0	9,2	7,4	6,4	7,2	5,6
4	6,6	6,6	6,8	7,4	7,8	7,4	5,2	6,8
5	6,0	6,6	6,4	6,0	6,4	7,6	5,4	7,4
6	5,8	5,8	6,4	8,0	8,6	5,6	6,0	6,0
7	5,8	7,2	6,4	10,0	6,2	6,6	6,6	6,8
8	6,4	6,0	7,0	7,0	9,8	8,0	6,8	7,4
9	7,2	6,2	6,8	7,2	7,0	6,6	8,8	6,0
10	7,8	6,4	6,8	7,0	6,8	6,6	5,8	5,4
11	6,2	6,0	7,4	7,2	7,0	7,2	5,8	5,8
12	5,4	6,6	6,6	8,4	7,6	6,2	6,8	6,8
13	6,4	6,4	5,8	7,8	5,6	7,2	5,0	4,8
14	7,0	5,2	6,6	6,4	7,2	6,2	6,2	5,4
15	6,2	5,2	6,0	6,4	6,6	7,6	6,8	5,2
16	7,4	5,8	6,2	7,0	7,6	5,6	7,0	6,0
17	6,0	7,6	6,4	5,8	7,6	6,0	5,8	5,8
18	5,8	5,8	6,0	5,8	6,8	6,8	6,4	5,8

\*Vc – velocidade de corte

Tabela B.7 - Valores de Emissão Acústica (RMS) para conjunto de lixas P80-P100.

Velocidade de Avanço (m/min)	Velocidade de Corte (m/s)				
	Nº	19,5	22,7	26,0	28,1
9	1	12,31	12,07	10,47	14,60
	2	10,86	11,88	8,80	10,40
	3	10,68	9,28	8,40	9,16
	4	9,74	8,62	8,16	8,90
	5	9,67	8,19	8,15	8,89
13	1	11,00	9,20	7,67	9,30
	2	9,12	8,40	7,42	9,16
	3	8,95	8,11	7,32	8,71
	4	8,92	7,74	7,31	8,69
	5	8,48	7,47	7,30	7,79
16	1	10,21	12,27	11,49	10,55
	2	10,16	11,48	9,70	10,07
	3	9,66	10,08	9,25	10,05
	4	9,15	9,60	9,13	10,03
	5	9,11	8,41	8,67	8,88
18	1	9,51	10,12	11,05	12,79
	2	9,42	10,04	9,95	10,08
	3	9,41	9,56	9,56	9,87
	4	8,87	8,87	9,06	9,58
	5	8,49	8,82	9,04	9,04

\*Nº - número de pontos tratados para cálculo das médias

Tabela B.8 - Valores de Emissão Acústica (RMS) para conjunto de lixas P80-P120.

Velocidade de Avanço (m/min)	Velocidade de Corte (m/s)				
	Nº	19,5	22,7	26,0	28,1
9	1	7,52	8,01	9,92	13,08
	2	7,18	7,08	7,91	9,57
	3	7,16	7,00	7,58	9,53
	4	7,09	6,03	7,53	8,68
	5	7,05	5,95	7,47	8,56
13	1	9,10	8,48	9,59	9,16
	2	8,99	8,20	8,45	8,72
	3	8,71	7,80	8,27	8,27
	4	8,44	7,41	7,56	7,70
	5	8,06	7,40	7,50	7,44
16	1	9,15	9,46	10,19	11,25
	2	8,48	8,66	10,00	10,71
	3	7,75	8,16	9,24	9,94
	4	7,64	8,14	9,08	8,78
	5	7,45	8,09	8,71	8,53
18	1	10,56	9,47	8,90	12,10
	2	9,83	9,17	8,59	11,58
	3	9,46	9,03	8,50	11,52
	4	8,98	8,60	7,95	11,41
	5	7,87	8,29	7,79	11,28

\*Nº - número de pontos tratados para cálculo das médias

Tabela B.9 - Valores de Emissão Acústica (RMS) para conjunto de lixas P100-P120.

Velocidade de Avanço (m/min)	Velocidade de Corte (m/s)				
	Nº	19,5	22,7	26,0	28,1
9	1	8,97	6,92	8,22	8,49
	2	8,06	6,78	6,48	7,60
	3	7,14	6,75	6,02	6,96
	4	7,09	6,66	5,91	6,83
	5	7,00	6,12	5,58	6,29
13	1	8,57	9,10	9,66	8,03
	2	8,12	8,46	8,16	6,65
	3	7,88	7,79	7,33	6,44
	4	7,72	7,25	7,04	6,19
	5	7,62	7,03	7,00	5,80
16	1	9,48	8,55	7,92	13,10
	2	8,30	8,37	7,74	9,73
	3	8,24	8,34	7,57	9,53
	4	7,83	7,99	7,55	9,24
	5	7,78	7,96	7,30	7,90
18	1	10,95	10,15	11,02	13,33
	2	9,79	9,88	8,96	10,42
	3	9,53	9,66	8,65	9,85
	4	8,61	7,88	8,60	9,59
	5	8,29	7,40	8,30	8,76

\*Nº - número de pontos tratados para cálculo das médias

Tabela B.10 - Valores de Vibração (mm/s) para conjunto de lixas P80-P100.

Velocidade de Avanço (m/min)	Velocidade de Corte (m/s)				
	Nº	19,5	22,7	26,0	28,1
9	1	22,64	21,74	14,11	20,70
	2	22,40	21,58	12,90	20,70
	3	22,25	11,30	8,75	15,15
	4	19,41	11,16	7,80	13,30
	5	17,58	7,80	7,61	11,45
13	1	17,16	11,21	14,16	5,77
	2	14,17	11,19	13,22	4,87
	3	12,49	9,68	10,24	4,30
	4	8,20	8,18	9,36	4,19
	5	7,67	8,11	8,22	4,16
16	1	22,89	22,35	18,83	10,75
	2	20,45	20,66	16,74	8,67
	3	15,76	14,53	12,63	3,95
	4	11,90	14,10	11,43	3,49
	5	9,45	11,87	10,70	3,43
18	1	22,56	6,00	6,30	19,99
	2	21,89	5,16	5,86	14,17
	3	9,61	4,17	5,40	7,39
	4	8,71	4,09	5,21	6,68
	5	8,21	4,09	4,73	6,31

\*Nº - número de pontos tratados para cálculo das médias



Tabela B.11 - Valores de Vibração (mm/s) para conjunto de lixas P80-P120.

Velocidade de Avanço (m/min)	Velocidade de Corte (m/s)				
	Nº	19,5	22,7	26,0	28,1
9	1	15,86	12,18	14,57	10,40
	2	13,94	10,86	13,89	9,66
	3	13,18	10,81	11,76	8,99
	4	13,02	10,67	10,17	8,74
	5	12,95	10,47	8,37	8,27
13	1	19,13	18,49	9,55	20,27
	2	16,82	18,11	8,78	17,86
	3	14,73	17,27	8,02	10,99
	4	14,66	15,14	7,58	9,01
	5	14,62	14,75	7,50	8,61
16	1	17,05	4,07	21,34	11,23
	2	15,99	4,03	20,02	10,18
	3	14,20	3,94	16,69	10,07
	4	13,11	3,37	15,65	8,89
	5	12,62	3,30	14,57	8,83
18	1	14,06	7,75	11,82	14,26
	2	10,74	5,95	8,71	12,41
	3	9,51	5,80	7,94	11,68
	4	5,23	5,47	6,28	11,58
	5	5,15	5,02	5,64	9,36

\*Nº - número de pontos tratados para cálculo das médias

Tabela B.12 - Valores de Vibração (mm/s) para conjunto de lixas P100-P120.

Velocidade de Avanço (m/min)	Velocidade de Corte (m/s)				
	Nº	19,5	22,7	26,0	28,1
9	1	23,23	22,76	22,11	21,32
	2	23,02	22,42	21,99	21,17
	3	14,40	20,72	15,40	21,06
	4	14,25	18,73	13,84	20,31
	5	13,10	15,79	13,55	19,03
13	1	22,49	14,94	13,37	17,07
	2	21,22	13,93	10,03	15,96
	3	11,72	13,05	8,07	14,65
	4	10,37	11,58	7,37	12,03
	5	5,86	9,84	6,89	11,39
16	1	23,42	16,07	14,65	10,09
	2	23,04	15,11	11,68	9,35
	3	22,57	15,02	10,70	8,12
	4	19,98	13,89	9,87	6,43
	5	12,41	10,68	9,72	5,74
18	1	8,64	15,50	22,10	14,94
	2	8,31	14,32	19,23	14,77
	3	7,29	12,98	15,76	7,23
	4	4,33	7,41	12,49	7,02
	5	4,18	6,91	8,63	6,25

\*Nº - número de pontos tratados para cálculo das médias