

LUCAS JESUS DA SILVA TOLEDO

**CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICA E DE
DESEMPENHO NO LIXAMENTO DE CHAPAS PARTICULADAS**

(Dendrocalamus Giganteus)

**Bauru
2013**

LUCAS JESUS DA SILVA TOLEDO

**CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICA E DE
DESEMPENHO NO LIXAMENTO DE CHAPAS PARTICULADAS**

(Dendrocalamus Giganteus)

Dissertação apresenta à Faculdade de Engenharia do Campus de Bauru, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita, para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Processos de Fabricação (usinagem e soldagem).

Orientador: Prof. Ivaldo de Domenico Valarelli
Co-orientador: Prof. Eduardo Carlos Bianchi

Bauru
2013

Toledo, Lucas Jesus da Silva.

Caracterização das propriedades físico-mecânica e de desempenho no lixamento de chapas particuladas (*Dendrocalamus Giganteus*): / Lucas Jesus da Silva Toledo, 2013 115f.

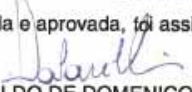
Orientador: Ivaldo de Domenico Valarelli

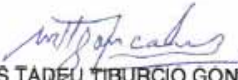
Dissertação (Mestrado)–Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2013

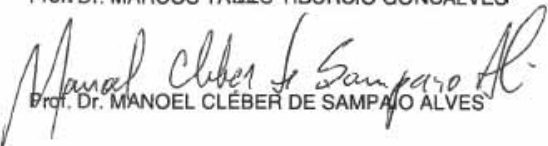
1. Chapa de partículas. 2. Bambu gigante. 3. Lixamento. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE LUCAS JESUS DA SILVA TOLEDO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA, DO(A) FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU.

Aos 14 dias do mês de agosto do ano de 2013, às 10:00 horas, no(a) ANFITEATRO DA SEÇÃO TÉCNICA DE PÓS-GRADUAÇÃO DA FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. IVALDO DE DOMENICO VALARELLI do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof. Dr. MARCOS TADEU TIBURCIO GONCALVES do(a) Câmpus Experimental da UNESP - Câmpus de Itapeva, Prof. Dr. MANOEL CLÉBER DE SAMPAIO ALVES do(a) Câmpus Experimental da UNESP - Câmpus de Itapeva, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de LUCAS JESUS DA SILVA TOLEDO, intitulado "ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS E DE DESEMPENHO NO LIXAMENTO DE CHAPAS PARTICULADAS (DENDROCALAMUS GIGANTEUS)". Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.


Prof. Dr. IVALDO DE DOMENICO VALARELLI


Prof. Dr. MARCOS TADEU TIBURCIO GONCALVES


Prof. Dr. MANOEL CLÉBER DE SAMPAIO ALVES

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, pela saúde, força espiritual e oportunidades concedidas em minha vida. Por ter me dado motivação e o entusiasmo para a busca do conhecimento e a vontade de compartilhá-lo;

- aos meus pais Joaquim e Gilsa, e toda minha família, pela motivação, carinho, incentivo e paciência;

- ao meu orientador Prof. Dr. Ivaldo de Domenico Valareili, pela oportunidade, presteza, paciência e conhecimentos técnico, profissional e acadêmico;

- aos professores Maximiliano Azambuja dos Anjos e Manoel Cleber de Sampaio Alves, que me forneceram incentivo e muita ajuda para que esse trabalho chegasse a sua conclusão;

- aos meus grandes amigos Pedro Borges, João Poggy Ernesto, Rafael Freitas de Araújo, Pedro Lugano Mendonça, Arthur México Costa, Diego Previatto, Vinicius Pirani, Raul Manoel, Lucas C.B. Alarcon e a Letícia Greco pelos vários momentos de felicidade e companheirismo;

- ao campus da UNESP de Bauru por ter facilitado o andamento e conclusão deste estudo. Particularmente agradeço ao Técnico Israel na ajuda dos ensaios desta dissertação;

- ao campus da UNESP de Itapeva por ter fornecido os equipamentos e auxílio. Particularmente agradeço ao mestre Demétrio Zacarias na ajuda dos ensaios desta dissertação;

- por fim, agradeço a todos as pessoas que fizeram ou que fazem parte da minha vida e que me ajudaram a avançar mais uma etapa da minha vida.

Este trabalho contou com o apoio da seguinte entidade:

- Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

TOLEDO, L. J. S. **Caracterização das propriedades físico-mecânica e de desempenho no lixamento de chapas particuladas (*Dendrocalamus Giganteus*)**, 2013. 118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Bauru, Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Bauru, 2013.

RESUMO

O lixamento é um dos métodos de preparação de superfície mais comum nas indústrias moveleiras, que precede o processo de acabamento. O objetivo do lixamento é produzir superfícies livres de defeitos visíveis como também deixar a superfície uniforme. Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar as propriedades físico-mecânicas e analisar a influência da granulometria das lixas no lixamento plano, sobre o acabamento superficial de chapas de partículas de bambu, quanto nos esforços no lixamento de força e potência de lixamento. As amostras foram confeccionadas especificamente para este estudo, teve na sua composição o adesivo uréia formaldeído em diferentes quantidades, sendo elas: 8, 10, 12 e 15%. No ensaio de lixamento, utilizou-se uma velocidade de avanço de 12 m/min e três granulometrias de lixas: 80, 100 e 120. Uma central de aquisição de dados foi usada para a captação das variáveis: potência de corte, emissão acústica e vibração, em tempo real. A rugosidade das amostras foi medida por um rugosímetro após o lixamento. De acordo com os resultados dos ensaios físico-mecânico, as partículas de bambu utilizados na fabricação de chapas de partículas aglomeradas, com adesivo convencional uréia-formaldeído, obtiveram comportamento aceitável em relação ao exigido pelas normas técnicas brasileiras, para maioria dos ensaios, isso indica o bambu como uma alternativa tecnicamente viável para o emprego em chapas aglomeradas, desde que respeitadas as suas características de resistência. Para o ensaio de lixamento, a lixa P80 apresentou significância para o sinal de emissão acústica, podendo ser aplicado na produção industrial. Já na variação da quantidade de adesivo, o traço de 12% foi o que apresentou melhores resultados, tanto no melhor acabamento superficial, quanto na força de corte. Em ambos, os resultados médios foram significativos. Podendo ser utilizados na produção de chapas aglomeradas que exijam bom acabamento superficial e menor força de corte.

Palavras chaves: Chapas de partículas, Bambu gigante, Lixamento.

TOLEDO, L. J. S. **Characterization of physico-mechanical properties and performance in sanding particleboard (*Dendrocalamus Giganteus*)**, 2013. 118f. Dissertação (Master Science in Mechanical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Bauru, Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Bauru, 2013.

ABSTRACT

The sanding is a surface preparation methods common in the furniture industry, preceding the finishing process. The purpose of sanding is to produce surfaces free of visible defects but also leave the surface uniform. This study was to evaluate the physical and mechanical properties and to analyze the influence of the particle size of the plane grinding sandpaper on the surface finish of sheet bamboo particleboard, as in sanding efforts on strength and power sanding. The samples were prepared specifically for this study, had constituted the urea formaldehyde adhesive in different amounts, as follows: 8, 10, 12 and 15%. In the grinding test, we used a feed rate of 12 m/min and three particle sizes sandpaper: 80,100 and 120. A central data acquisition was used to capture the variables: cutting power, acoustic emission and vibration in real time. The roughness of the samples was measured by a profilometer after sanding. According to the results of physico-mechanical particleboard used in the manufacturing of bamboo sheets of particleboard with conventional urea-formaldehyde adhesive, achieved acceptable performance in relation to that required by technical standards in Brazil, for most tests, it indicates bamboo as an alternative technically feasible for use in particleboard, in compliance with their strength characteristics. To test the sanding, the sandpaper P80 showed significance for the acoustic emission signal and can be applied in industrial production. Already on varying the amount of adhesive, the trace of 12% showed the best results in both better surface finish, as the cutting force. In both, the average results were significant. May be used in the production of particleboard that require good surface finish and lower cutting force.

KEYWORDS: Plates Particles, giant bamboo, Sandpaper

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Colmo do bambu.....	21
Figura 2 - Esquema da composição básica de uma lixa	30
Figura 3 - Dureza Knoop para diferentes abrasivos	31
Figura 4 - Comprimento para avaliação da rugosidade.....	37
Figura 5 - Percurso de medição de rugosidade média.....	38
Figura 6 - Balança para pesagem (a), preparação do adesivo (b) mistura manual (c).....	45
Figura 7 - Misturador horizontal (a) e partículas com adesivo dentro do misturador (b).	46
Figura 8 - Sequência da preparação do colchão de partículas para prensagem.....	46
Figura 9 - Colchão pronto para prensagem.	47
Figura 10 - Sequência para prensagem da chapa de partículas.	47
Figura 11 – Prensa hidráulica a quente, marca PHS e modelo PHH 80T.	48
Figura 12 - Vista das chapas após o processo de esquadrejamento.....	48
Figura 13 – Dimensões dos corpos de prova.....	49
Figura 14 - Determinação da densidade (a) e medição para ensaio de densidade (b).....	51
Figura 15 - Medição da espessura por meio do micrômetro (a) e corpos de prova submersos em recipiente com água.	53
Figura 16 - Corpos de prova retirados da estufa.....	54
Figura 17 - Lixadeira plana com o suporte adaptado.	58
Figura 18 - Célula de carga.....	60
Figura 19 - Módulo de emissão acústica, sensor (1) (2) e amplificador (3).....	61
Figura 20 - Transdutor de corrente	62
Figura 21 - Amplificador da célula de carga	62
Figura 22 - Rugosímetro da marca	63
Figura 23 - Programa de aquisição feito no software LabView 7.1.....	64
Figura 24 – Módulo de elasticidade (MOE).....	70
Figura 25 – Módulo de Ruptura (MOR).....	70
Figura 26 – Resultados das lixas P80, P100 e P120.....	73
Figura 27 - Granulometria das lixas: P80, P100 e P120.....	74

Figura 28 - Resultados das lixas P80, P100 e P120.....	76
Figura 29 – Rugosidade obtida no conjunto de lixas: P80, P100 e P120.	77
Figura 30 – Resultados de emissão acústica das lixas P80, P100 e P120.	80
Figura 31 – Emissão acústica das lixas P80, P100 e P120.	81
Figura 32 – Médias de todas as lixas na aquisição do sinal de vibração	84
Figura 33 – Vibração para o fator granulometria das lixas	85
Figura 34 – Médias de todas as lixas na aquisição do sinal de força de lixamento.....	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Característica mecânica e física geral do Bambu	23
Tabela 2 – Aplicações dos abrasivos em função da granulometria	32
Tabela 3 – Codificação utilizada para costado e papel	34
Tabela 4 – Classificação e características para o costado de tecido	35
Tabela 5 – Composição das chapas aglomeradas em função do adesivo	43
Tabela 6 - Valores dos componentes das chapas	44
Tabela 7 - Denominação dos corpos de provas	50
Tabela 8 - Características técnicas da lixadeira plana	58
Tabela 9 - Características técnicas da célula de carga	59
Tabela 10 - Características técnicas do módulo de emissão acústica	60
Tabela 11 - Características técnicas do transdutor de corrente	61
Tabela 12 - Características técnicas do amplificador TCA500	62
Tabela 13 - Dimensões dos corpos-de-prova, densidade.	65
Tabela 14 - Dimensões dos corpos-de-prova, umidade	65
Tabela 15 - Dimensões dos corpos-de-prova, inchamento em espessura	66
Tabela 16 - Dimensões dos corpos-de-prova, absorção de água	66
Tabela 17 - Resumo das médias dos Ensaio Físicos	67
Tabela 18 - Resultados do ensaio de tração paralela às faces	67
Tabela 19 - Resultados de MOR e MOE	71
Tabela 20 – Valores das médias de potência consumida para o conjunto de lixa P80	72
Tabela 21 - Valores das médias de potência consumida para o conjunto de lixa P100	72
Tabela 22 - Valores das médias de potência consumida para o conjunto de lixa P120	73
Tabela 23 - Valores médios de rugosidade para o fator granulometria das lixas	73
Tabela 24 - Análise de Variância para as médias de Potência	74
Tabela 25 - Análise de Variância da potência consumida: Fator granulometria da lixa	75
Tabela 26 - Valores das médias de rugosidade Ra da lixa P80	75
Tabela 27 – Valores das médias de rugosidade Ra da lixa P100	76
Tabela 28 – Valores de rugosidade obtida no lixamento utilizando a lixa P120	76
Tabela 29 – Valores médios de rugosidade para o fator granulometria das lixas	77

Tabela 30 - Análise de Variância para as médias de rugosidade superficial.....	78
Tabela 31 - Análise de variância da rugosidade: Fator granulometria da lixa	78
Tabela 32 - Valores de Emissão Acústica utilizando a lixa P80	78
Tabela 33 - Emissão Acústica obtida no lixamento plano utilizando a lixa P100.....	79
Tabela 34 - Médias de emissão acústica obtidas no lixamento utilizando a lixa P120	79
Tabela 35 – Valores médios de emissão acústica para o fator granulometria das lixas	80
Tabela 36 – Valores médios de emissão acústica para o fator: Traços de Adesivos.....	81
Tabela 37 - Análise de Variância para as médias de emissão acústica: Fator Adesivo	81
Tabela 38 - Análise de variância da emissão acústica: Fator granulometria da lixa	82
Tabela 39 – Valores de Vibração para a lixa P80.....	82
Tabela 40 – Valores de Vibração no lixamento plano utilizando a lixa P100.....	83
Tabela 41 – Valores de Vibração no lixamento plano utilizando a lixa P120.....	83
Tabela 42 – Valores médios de vibração para o fator granulometria das lixas	84
Tabela 43 - Análise de Variância para as médias de Vibração	85
Tabela 44 - Análise de variância da vibração: Fator granulometria da lixa	85
Tabela 45 – Valores de força de lixamento para a lixa P80	86
Tabela 46 – Valores de força de lixamento para a lixa P100	86
Tabela 47 – Valores de força de lixamento para a lixa P120	86
Tabela 48 – Fator: Granulometria das lixas.....	87
Tabela 49 – Análise de Variância para as médias de Força	88
Tabela 50 - Análise de variância da força: Fator granulometria da lixa.....	88

LISTA DE ABREVIATURAS

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	-	Coeficiente de Variação
DP	-	Desvio Padrão
EA	-	Emissão Acústica
FEFA	-	Fédération Européenne des Fabricants de Produits Abrasifs
GL	-	Graus de Liberdade
ISO	-	International Organization for Standardization
IPT	-	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
M	-	Sistem 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 ⁻³]
Db	- Densidade básica	[kg.m ⁻³]
Le-	Comprimento de amostragem (cut-off)	[mm]
Lm	- Comprimento de medição	[mm]
Mesh-	Corresponde a quantidade de fios por polegada linear	-
Mi-	Massa inicial da amostra	[g]
Ms	- Massa seca da amostra	[g]
Mf	- Massa final da amostra	[g]
Mim	- Massa da amostra imersa em água	[g]
Mv	- Massa da amostra saturada em água	[g]
Ra-	Rugosidade média	[μm]
Rq-	Rugosidade média quadrática	[μm]
Rt	- Máxima distância pico a vale	[μm]
U _(%)	- Porcentagem de umidade	-
Vn	- Velocidade	[m.s ⁻¹]

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
1.1 OBJETIVO	19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1 Bambu	20
2.2 Bambu e sua caracterização física e mecânica	22
2.3 Chapa de partículas.....	23
2.4 Resina uréia-formaldeído.....	26
2.5 Caracterizador de sulfato de amônia.....	27
2.6 Lixamento	27
2.7 Ferramenta abrasiva.....	30
2.8 Materiais abrasivos	30
2.9 Adesivo de ligação dos abrasivos	33
2.10 Material de apoio das lixas	34
2.11 Acabamento Superficial.....	35
2.12 Rugosidade Média	37
2.13 Potência de corte.....	38
2.14 Força de lixamento	39
2.15 Emissão acústica	39
2.16 Vibração.....	40
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	42
3.1 Produção das chapas de partículas aglomeradas de bambu.....	42
3.2 Aplicação do adesivo	44
3.3 Pesagem das Partículas	44
3.4 Aplicação do adesivo	45
3.5 Mistura dos componentes	45
3.6 Formação do colchão	46
3.7 Prensagem.....	47
3.8 Ensaios das chapas aglomeradas	49
3.9 Caracterização física e mecânica	50

3.10 Ensaio físico.....	50
3.11 Ensaio mecânico	55
3.11.1 Ensaio de resistência à tração paralela às faces.....	55
3.11.2 Ensaio de flexão estática.....	55
3.12 Preparação dos corpos de prova para o ensaio de lixamento.....	57
3.13 Banco de ensaios.....	57
3.14 Sistema de monitoramento e aquisição de dados	58
3.15 Rugosidade superficial.....	63
3.16 Aquisição dos dados do processo de lixamento	63
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	65
4.1 Ensaio físico	65
4.1.1 Massa específica.....	65
4.1.2 Umidade específica.....	65
4.1.3 Inchamento e absorção de água.....	66
4.1.4 Resumo das médias dos ensaios físicos	67
4.2 Ensaio mecânico	67
4.2.1 Ensaio de Resistência à tração paralela às faces.....	67
4.2.2 Ensaio de resistência à tração perpendicular às faces.....	68
4.2.3 Ensaio de flexão estática.....	69
4.3 Resultados do processo de lixamento	71
4.3.1 Potência consumida.....	71
4.3.2 Rugosidade.....	75
4.3.3 Emissão acústica	78
4.3.4 Vibração	82
4.3.5 Força de lixamento	86
5. CONCLUSÕES	89
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	91
APÊNDICE A.....	103
APÊNDICE B.....	116

CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICA E DE DESEMPENHO NO LIXAMENTO DE CHAPAS PARTICULADAS (*Dendrocalamus Giganteus*)

1. INTRODUÇÃO

A operação de lixamento tem grande importância na fabricação e acabamento superficial de peças a partir de inúmeros materiais. Devido a isso, ela é a ferramenta abrasiva mais utilizada nas indústrias, sendo que sua aplicabilidade ainda tem grande potencial de crescimento. O processo de desgaste por lixamento é uma operação complexa e se torna necessário devido às diferenças nos processos de confecção das peças que nem sempre têm o seu acabamento superficial realizado de maneira adequada.

Operações de lixamento tornam-se cada vez mais complexos uma vez que os métodos produtivos já existentes melhoram a cada dia. Exigências de mercado, como a racionalização dos processos, as necessidades de efeitos visuais, a otimização de processos e produtos e a automação, resultaram em demanda por abrasivos mais confiáveis.

Tem como objetivo tornar uma superfície plana e lisa, eventualmente com vista a um posterior tratamento (pintura, envernizamento, etc.). O lixamento manual é geralmente reservado aos acabamentos, após trabalho grosseiro ter sido efetuado, geralmente, com a máquina.

O processo de lixamento normalmente é utilizados para o lixamento de madeiras, aço, materiais sintéticos, entre outros.

A madeira é um material utilizado há muito tempo. Sua importância já foi vista no próprio descobrimento do Brasil, que os portugueses extraíram a madeira para vender no mercado europeu. É um material conhecido e tradicionalmente utilizado em construção civil, tais como: Portas, estruturas e pontes. Sua reposição não é imediata, pois demanda de 15 a 200 anos, dependendo da espécie, para a formação de uma nova árvore para abate. Já outros materiais, como o bambu que foi utilizado neste trabalho, demoram inicialmente 3 anos para o primeiro abate, após este período a moita fornece a cada ano novos colmos com resistência suficiente para sua utilização como material estrutural. A madeira vem sendo muito utilizada no processo de construção de chapas aglomeradas.

Chapas aglomeradas são estruturas fabricadas com madeiras em laminas ou em diferentes estágios de desagregação que, aglutinadas pela ação de pressão, de temperatura e da utilização de resinas, são novamente agregadas. A principal vantagem desse tipo de produto é a aplicação como substituto da escassa e encarecida madeira maciça. Na fabricação de chapas aglomeradas o Brasil está entre os 10 países mais modernos do mundo.

A chapa aglomerada pode ser composta por diversos tipos de madeira. Há casos em que a chapa aglomerada é composta por 1 só tipo ou por uma mistura de 2 ou 3 tipos de madeira, resultando em chapas aglomeradas com propriedades físico-mecânica distintas. No momento há um grande interesse em se produzir chapa aglomerada com partículas de bambu. Há uma grande evolução de trabalhos voltados ao emprego de diferentes madeiras de reflorestamento e espécies de bambu em novas linhas de pesquisa sustentáveis, vinculadas à meta de minimizar o prazo de extinção das madeiras nobres brasileiras.

De acordo com Azzini et al (1997), o bambu pertence à família das *Graminae* e subfamília *Bamnusaceae*, com aproximadamente 45 gêneros e mais de 1000 espécies espalhadas pelo mundo. A maior concentração de espécies está localizada no Continente Asiático, onde vegetam nas mais variadas condições climáticas, relativamente à precipitação pluvial, temperatura e tipo de solo da região. Em todos os continentes, com exceção da Europa, existem espécies nativas de bambu.

O bambu é muito resistente, podendo se recuperar rapidamente em um ano, após um período ruim. É também de fácil cultivo e reprodução, sendo proeminente em regiões tropicais, semitropicais e temperadas, desde o nível do mar até em altitudes superiores a 3900 m, crescendo facilmente em condições ecológicas favoráveis. Esta planta pode ser bem aproveitada, sendo que a polpa é destinada à indústria para produção de papel e celulose, móveis e construções, e as sementes e os brotos são utilizados na culinária.

A quantidade de resíduos produzidos pelas indústrias madeireira no Brasil é muito elevada. Apesar do volume que apresenta esses resíduos têm sido pouco utilizados e, quando isso ocorre, grande parte é destinada para produção de energia. Dentre esses resíduos, as maravalhas de madeira representam um valor significativo, porém as mesmas apresentam boas características para a produção de chapas de partículas.

Pode-se dizer que, a partir dos anos 80, ocorreu uma intensificação no uso do bambu, tanto de maneira extrativa, retirado de reservas naturais, como também de cultivo sustentado, empregado nas indústrias de papel e celulose, artesanato e mobiliário.

Essa espécie, bambu, tem se revelado das pesquisas desenvolvidas a seu respeito um material com grande versatilidade, devido às suas propriedades físicas e mecânicas contrapondo seu peso específico. Tem servido de estímulo para a construção de painéis pré-fabricados com inúmeras misturas. É um material leve e com excelentes qualidades termo-acústicas. Com isso, seus painéis, além de serem fáceis de transportar e não sobrecarregar qualquer estrutura é eficiente para vedação.

1.1 OBJETIVO

Este trabalho teve por objetivo produzir chapas particuladas de bambu e analisar as propriedades físico-mecânicas e a interação dos fatores de entrada (granulometria de lixa) sobre as variáveis de saída (força de lixamento, potência consumida, emissão acústica e acabamento superficial) no processo de lixamento plano da chapa particulada de bambu de alta densidade com adesivo uréia-formaldeído em diferentes quantidades.

1.2 JUSTIFICATIVA

O bambu é uma planta que apresenta diversas qualidades, vem sendo pouco valorizada no Brasil, sendo que em outros países é utilizado na fabricação de utensílios domésticos, abrigo, ferramentas agrícolas, papel e entre outros. Por possuir boas propriedades estruturais, tomadas pelas relações de resistência, massa específica e rigidez, tem apresentado bons resultados em pesquisas recentes na composição de chapas de partículas. Há também a falta de estudos científicos voltados para o processo de lixamento.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Bambu

O bambu tem participado da história do ser humano desde seu princípio. É uma planta ancestral de grande importância para humanidade, encontrada a milhares de anos ela fornece utensílios domésticos, abrigo, ferramentas agrícolas, papel, tecido, cordas, jangadas e entre outras coisas. É uma planta de crescente importância para a humanidade. “Sua origem vem do Período Cretáceo, um pouco antes do início da era Terciária, quando surgiu o homem. Na China, o homem e o bambu estão unidos desde os tempos pré-históricos.”(PEREIRA & BERALDO, 2007).

O bambu é ecologicamente correto. Produz anualmente sem precisar de replantio, sendo esta uma das características que o torna sustentável. Como a espécie vegetal cresce de forma rápida, tem alto poder de sequestro de carbono (CO²). É ainda conhecido por suas propriedades de conservação, pois "costuram" os solos, tornando-os compactos e coesos.

Os colmos de bambu estão sujeitos a ataques de insetos e fungos, sua seiva é um grande atrativo, tornando-se necessário o tratamento dos colmos para aumentar sua vida útil. O tratamento químico é o método mais eficiente. O produto químico utilizado é o fungicida, inseticida e hidrossolúvel Borox (PEREIRA, 1997).

As propriedades mecânicas do bambu estão diretamente relacionadas com a quantidade de umidade dos colmos, com a idade, densidade do bambu, mas principalmente pela quantidade de fibras que garantem sua resistência (PEREIRA, 2008). O bambu com apenas 3 anos de idade já pode ser usado como elemento estrutural.

Os bambus pertencem à família *Graminae* e subfamília *Bambusoideae*, algumas vezes tratados separadamente como pertencentes à família *Bambusacea*, com aproximadamente 50 gêneros e 1.300 espécies, que se distribuem naturalmente dos trópicos às regiões temperadas, tendo, no entanto, maior ocorrência nas zonas quentes e com chuvas abundantes das regiões tropicais e subtropicais da Ásia, África e América do Sul. Os bambus nativos crescem naturalmente em todos os continentes, exceto na Europa, sendo 62% das espécies são nativas da Ásia, 34% das Américas e 4% da África e da Oceania. (HIDALGO LOPEZ, 2003).

Entre as latitudes 45° 30' Norte e 47° Sul, o bambu se desenvolve na maioria dos tipos de solo, inclusive, é tolerante a solos com baixa fertilidade, os melhores são os soltos, férteis e bem

drenados, com pH entre 5,0 e 6,5 e temperatura entre 8°C e 36°C. Alguns bambus do gênero *Phyllostachys* se desenvolvem bem em climas frios, suportando temperaturas de até -15°C.

Na verdade, o bambu possui "*mil e uma utilidades*". Há milênios, os asiáticos o usam para fazer lanças, flechas, cestas, utensílios culinários, esculturas, máscaras, entre outros objetos. No Brasil, os índios utilizavam a planta para fazer hastes de flechas, facas, esteiras, cercas, estruturas rudimentares para suas construções, etc.

Segundo Júnior (2008), o bambu é considerado como uma planta lenhosa ou herbácea, dependendo da espécie, é monocotiledônea, pertencente a angiospermas. A sua parte aérea é denominada colmo, pelo fato de normalmente ser oca. As partes subterrâneas são constituídas de rizomas e raízes. O colmo do bambu possui forma tubular cônico segmentada, em que normalmente é oco, com nós e que diminui o diâmetro da base até o topo, assim como a parede da base é mais grossa que a parede do topo. Os espaços dentro do colmo são denominados cavidades, as quais são separadas por diafragmas, que aparece externamente como nós de onde saem às folhas e ramos. O colmo separado por dois nós é denominado internó e a espessura denominada parede, como mostrado na Figura 1.

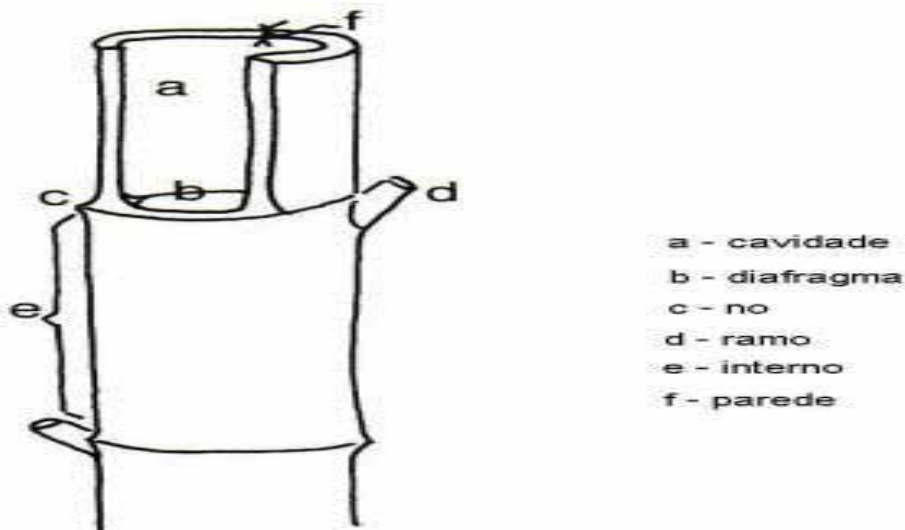


Figura 1 - Colmo do bambu.
Fonte: JANSSEN (1988)

Segundo Marquez (2006), a resistência à tração do bambu é maior do que a madeira e do concreto, sendo superada apenas pelos aços. Ao analisar a relação entre peso específico e resistência à tração pode chegar a conclusão de que o bambu possui uma alta eficiência estrutural,

melhor até que os materiais estruturais mais usuais. Portanto, um material de grande leveza e alta resistência mecânica.

Neste estudo foi utilizado o bambu (*Dendrocalamus giganteus*). Por ele apresentar vantagem de utilização. Deve-se ao fato deste ser umas fontes importantes de matéria-prima, que não encontrou sua devida valorização (BERALDO et al., 2003). As espécies de bambu têm se constituído em um significativo recurso natural renovável, principalmente nos países asiáticos e africanos, sendo fonte de matéria-prima para usos industriais, rurais e domésticos (BRITO et al., 1987). Algumas espécies de bambu apresentam as maiores taxas de crescimento dentre os vegetais de porte arbóreo, além de elevada capacidade de ocupação de solos marginais e erodidos.

O ponto de vista agrônômico, o interesse pelo bambu está intimamente relacionado com a perenidade das touceiras e seu rápido desenvolvimento vegetativo que viabiliza colheitas com ciclos curtos, de dois a quatro anos, e elevados níveis de produção (BERALDO & AZZINI, 2004). Além disso, por não ser uma planta muito exigente quanto à fertilidade do solo, o bambu pode ser plantado em áreas marginais em uma propriedade agrícola.

2.2 Bambu e sua caracterização física e mecânica

Classificado como *Bambusae*, subfamília das *Graminae*, o bambu, como é conhecido vulgarmente, apresenta alta velocidade de renovação com curto prazo de colheita de 2 a 4 anos conforme sua aplicação. Matéria prima fibrosa de natureza lignocelulósica é uma planta robusta, consegue se adaptar em solo menos fértil, topografia e clima em condição adverso e pode ser considerado como substituto de madeira (GNANAHARAM, 1988; GANAPATHY, 1992; HIZIROGLU et al., 2005).

Ao contrário dos países asiáticos que usam o bambu tradicionalmente em diversas áreas como construção, fabricação de moveis, papel, carvão e alimentação. No Brasil, utilizar-se apenas no meio rural, como cercas, estrados, comedouros, esteiras, cestos, forros, proteção de terrenos, quebra-vento, controle de erosão, carvão, drenagem, condução de água, lazer, abrigo para a vida silvestre. Já na área urbana, é utilizado na indústria de fabricação de móveis (FREIRE e BERALDO, 2003).

No entanto, com a crise e escassez da madeira, e consequentemente seu encarecimento, o bambu torna-se uma matéria alternativa com potencialidade para a substituição da madeira, visando obter benefício econômico e ambiental. Além disso, após 2 anos e meio de idade o bambu obtém resistência mecânica para uso estrutural (FREIRE e BERALDO, 2003).

As propriedades físicas e mecânicas entre as espécies de bambu podem variar conforme a Tabela 1 a seguir (FREIRE e BERALDO, 2003).

Tabela 1 - Característica mecânica e física geral do colmo de bambu	
Propriedades	Faixa de Valores
Resistência á compressão paralela às fibras (MPa)	20 a 120
Resistência à tração paralela às fibras (MPa)	40 a 215
Resistência à flexão (MPa)	57 a 133
Massa específica (g/cm ³)	600 a 1000

Fonte: (FREIRE e BERALDO, 2003).

No estudo de Bambu, os pesquisadores encontram dificuldades para padronização dos resultados de pesquisa em função de não existir uma norma técnica nacional sobre o assunto. Isso é um desafio, pois os resultados obtidos dependem fortemente de vários parâmetros inerentes a cada espécie (FREIRE e BERALDO, 2003).

2.3 Chapa de partículas

O primeiro painel de bambu foi desenvolvido na China, usado como alternativa de madeira compensada no interior de uma aeronave, a partir de então 28 produtos de painéis com bambu foram desenvolvidos segundo Ganapathy et al. (1996). Atendendo a demanda do mercado, os produtos desenvolvidos são fabricados em escala industrial. Durante o processo de fabricação, os resíduos são inevitavelmente gerados, como subproduto de laminado colado de bambu, menos da metade dos colmos são utilizados para a obtenção de lâminas, ainda durante o processo de preparação do painel colado, são obtidos mais que 30% de resíduos na plaina para os bambus *calcooa* e *vulgaris* (BISWAS et al., 2011).

Surgiu então o interesse de usar este material na fabricação de painel aglomerado ou misturado com os resíduos de matérias primas de fibras lignocelulósicas. As pesquisas afirmam

que os painéis reconstruídos feitos de bambu apresentam propriedade física e mecânica conforme exigido pela norma ASTM, ou em alguns casos, apresenta maior resistência do que os painéis de madeira disponíveis no mercado (BISWAS et al., 2011).

Atualmente os produtos desenvolvidos a partir do bambu como matéria prima consistem na fabricação de andaime, móveis para residência, painéis compensados e assoalho (QIN, 1991; YE, 1991; LAEMSAK, 2002). O estudo do uso deste material é recente, entretanto, seu potencial na fabricação de painéis ainda precisa ser explorado (CHUNG, 1982; FUYUAN e JIANMIN, 1988; CHEW et al., 1994; HIZIROGLU et al., 2005).

Ganapathy et al. (1996), fizeram um levantamento de pesquisas em torno dos grandes variedades de painéis que têm o bambu como sua principal matéria prima desenvolvido até então, e concluíram que apesar de intensas pesquisas nos últimas décadas, ainda existe falta de normalização e métodos de testes padronizados. Ainda, outra dificuldade é o reconhecimento dos produtos desenvolvidos e o incentivo para a fabricação em escala industrial.

Maloney (1977), e Tonissi (1985), definiram madeira aglomerada como sendo formada por partículas de madeira de várias dimensões, impregnadas de resinas sintéticas (adesivos industrializados) e naturais (tanino), prensadas sob a ação do calor. A madeira a ser utilizada na produção das chapas pode ser de baixa e média densidade. Na formação das chapas considera-se a umidade, a temperatura, a pressão e a resistência mecânica e a aplicabilidade (interna e externa).

A fabricação das chapas de partículas aglomeradas envolve estruturas fabricadas com madeiras em laminas ou em diferentes estágios de desagregação que, aglutinadas pela ação de pressão, de temperatura e da utilização de resinas, são novamente agregadas.

Na composição de painéis particulados, pode-se empregar como matéria prima: material florestal proveniente de desbaste e poda; resíduos industriais grosseiros, tais como costaneiras, sobras de destopo, miolos de toras laminadas, etc, resíduos industrias finos, tais como pó-de-serra e cavacos de plaina, cavacos de madeira do beneficiamento de indústria de móveis e carpintaria, materiais ligno-celulósicos como bagaço de cana, palha de arroz, bambu, etc. (NASCIMENTO, 2003).

As partículas de bambu são mais compridas e finas do que as partículas de madeira, como resultado e a razão entre o comprimento para a espessura é maior que do que as partículas de madeira (PAPADOPOULOS et al., 2004). A densidade aparente das partículas de bambu determinada em sua pesquisa foi próxima ao da madeira o que mostra a semelhança de características entre estes dois materiais e justifica a sua combinação ou substituição de uma por outra. Os autores encontraram resultados satisfatórios com aplicação de 10% de resina Uréia Formaldeído para as chapas fabricadas com bambu.

A sensibilidade dos materiais lignocelulósicos em serem atacados por microorganismo é o principal fator que confere a qualidade dos painéis. Os painéis que apresentam elevada durabilidade natural ao ataque dos fungos podem ser destacados por um alto grau de nobreza, conferindo-lhes uma ampla área de utilização (STANGERLIN et al., 2011).

Observou-se que a os painéis fabricados com 100% de bambu apresentam resistência biológica satisfatório, semelhante dos painéis fabricados de madeira. A resistência dos painéis confeccionados com os dois materiais mostrou resistência moderada. No entanto, a pesquisa também revela que todos os painéis fabricados têm resistência superior em comparação a madeira de referência que passou pelos mesmos testes (STANGERLIN et al., 2011). Os autores também informam que a classificação como moderadamente resistente pode ser utilizado em ambiente não adverso, como uso interno que os painéis geralmente são aplicados.

Segundo Malanit et al. (2011), os painéis feitos de bambu apresentaram valores elevados de MOR e MOE, entretanto, o mesmo resultado não foi observado para o ensaio de ligação interna. Os autores indicaram que é possível obter o melhoramento deste resultado através da alteração nos parâmetros de fabricação, por exemplo, com o desenvolvimento de uma resina específica para o bambu poderá minimizar esta problema.

Hiziroglu et al. (2005), estudaram a fabricação de chapas de aglomerados com bambu e com adição de outras matérias primas, por exemplo, palha de arroz e a madeira de eucalipto. Observou-se que o traço que alcançou a maior resistência mecânica, flexão e tração, foi de 50%: 50% (bambu: eucalipto), entre os outros traços, o que revela a boa interatividade entre partículas de bambu e eucalipto. Os autores exploraram o potencial destes recursos subutilizados misturadas para a fabricação de painéis experimentais, com a intenção de agregar valor ao produto final.

Os painéis feitos usando 100% de casca de arroz são o menos resistente que não atendem as exigências da norma de indústria do Japão. No entanto, quando se reduz a adição de casca de arroz para 15%, as propriedades físicas e mecânicas atendem esta norma. Os painéis feitos com 100% de bambu apresentam o menor índice de inchamento aproximadamente de 12,89% (HIZIROGLU et al., 2005). A pesquisa informa que os traços podem ser utilizados para fabricação de chapas de aglomerado, entretanto, a adição de maior quantidade de adesivo pode melhorar as propriedades físicas e mecânicas, no caso, utilizou-se 8% de Uréia Formaldeído. Uma extensão da pesquisa recomendada é a fabricação de chapas com densidades diferentes e novos traços entre os componentes.

2.4 Resina uréia-formaldeído

Baseando-se no Desenvolvimento sustentável, definido pelo Centro Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD) como “um processo de transformação, no qual a exploração de recursos, a direção de investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizem e reforcem o potencial presente e futuro, a fim de atender as necessidades humanas”, não poderia deixar de lado um importante fator no projeto, as resinas.

Olmos (1992), classificou as resinas em dois grupos básicos, os adesivos de origem natural ou orgânico, nos quais destacam-se aqueles de origem animal, amido, caseínas, albumina de proteína vegetal, mamona e o tanino. No segundo grupo são os adesivos de origem sintética ou inorgânico, onde se destacam a uréia, resorcinol, fenol, melanina e polivinil.

Formaldeído é um composto orgânico reativo (CH_2O), utilizado na fabricação de resinas para a confecção de chapas de madeira aglomerada, Segundo Nascimento (2003), essa resina é à base de uréia-formaldeído que tem solução aquosa, e é própria para a fabricação de chapas de partículas de madeira aglomeradas. Produto líquido, de aparência branca leitosa, com pH variando entre 7,8 a 8,2 e densidade entre 1,275 – 1,298 (g/cm^3), este produto apresenta emissão de formol quando utilizado na prensagem das chapas, conforme informações fornecidas pelo fabricante do produto – Alba Química Ltda. Sua cura é processada através de redução do pH (ácido) com a adição de catalisador. Na cura à quente utiliza-se como catalisador o cloreto ou sulfato de amônia e é processada com temperatura entre 90 e 130°C. Sua vida útil no estado

líquido é limitada (no máximo 90 dias em temperatura ambiente). Quando armazenada em temperatura entre 4°C e 6°C, a vida útil passa de 6 meses a 12 meses. Essa resina apresenta boa resistência à umidade e baixo custo em relação a outros adesivos.

2.5 Caracterizador de sulfato de amônia

Segundo Nascimento (2003), o sulfato de amônia $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ é normalmente disponível em forma de pó branco. É um sólido cristalino de estrutura rômica, inodoro e de sabor salgado. Solúvel em água e insolúvel em álcool e acetona absorve umidade do ar e produz o gás amônia na reação com álcalis. Possui inúmeras aplicações entre elas como fertilizante nitrogenado, nutriente de microrganismos para produção de enzimas, aditivo em alimentos para melhorar aspecto, no beneficiamento de couros, em papéis resistentes à chama, na produção de pós para extintores, como agente de cura de resinas para chapas de madeira, como aditivo em banhos de tinturas para tecidos, em alimentos para gado e na produção de fermentos.

2.6 Lixamento

Tem-se então no processo de lixamento variáveis controladas e não controladas. As variáveis não controladas são aquelas relacionadas ao material usinado e ao processo, onde devido sua variabilidade característica são difíceis de serem dimensionadas e irão influenciar no resultado final, sendo necessário executar o experimento com a máxima aleatoriedade para a distribuição dessas influências. Exemplos dessas variáveis são: material anisotrópico (madeira), variação da densidade e etc. As variáveis controladas também irão influenciar no processo de lixamento, sendo possível estipular seus valores e mantê-los fixos em determinadas faixas e verificar sua influência sobre o resultado final. Exemplos de variáveis controladas são: umidade da madeira, pressão aplicada, velocidade de corte, velocidade de alimentação, tipo de abrasivo, granulometria entre outros.

Franz et al. (1954), apud Salón (2007), realizaram um trabalho intitulado “Machining wood with coated abrasive” no qual estudaram os efeitos da pressão, velocidade de corte, área de contato, teor de umidade da madeira e o empastamento da lixa sobre a taxa de remoção de

material, vida da lixa e o consumo de potência. Segundo Saloni (2007), o trabalho realizado por Franz (1954), é um dos trabalhos mais completos realizados nesta área apesar de ser muito antigo e apresentar algumas limitações como: não consideraram interações entre os fatores, não empregaram madeira de coníferas no estudo, não utilizaram a qualidade superficial como parâmetro de avaliação e os abrasivos minerais bem como a granulometria naquela época eram muito limitados se comparados aos atuais.

O trabalho realizado por Mckenzie (1962), estabeleceu uma relação teórica entre a geometria da ferramenta e forças de corte, características da superfície e propriedades mecânicas. De acordo com Saloni (2007), a qualidade superficial não foi considerada neste trabalho bem como a utilização de uma faixa limitada de granulometrias e lixa, além de não incluir madeiras coníferas.

Koch (1964), publicou um livro com o título “Wood Machining Process” onde aborda aspectos fundamentais da usinagem por abrasivo em um dos seus capítulos. O Autor reúne trabalhos publicados na área de lixamento, características técnicas dos abrasivos bem como diversos tipos de equipamentos na área de lixamento da madeira.

Story (1982), apud Saloni (2007) criou um modelo que descrevia o comportamento da magnitude e variação da força em duas categorias básicas de lixamento. Para primeira força que era aplicada diretamente sobre a peça que estava sendo lixada, e a segunda fixava a taxa de corte para aplicações onde a taxa de alimentação era controlada.

Carrano (1997), não encontrou interações significativas nas operações de lixamento em seu trabalho, onde o tipo de abrasivo foi um parâmetro que afetou a rugosidade, mas não para a remoção de material para grãos finos. Taylor et al. (1999), estudaram as interações de alguns parâmetros da usinagem por abrasivo para diferentes espécies de madeira, orientações de lixamento, tipos de abrasivos, pressões e granulometrias sobre a taxa de remoção de material e a rugosidade. Os autores concluíram que não houve interações significativas entre os dois e três fatores para todos os níveis estudados. Com relação à taxa de remoção de material, a pressão foi um fator mais significativo. Para o acabamento superficial, o abrasivo carbeto de silício apresentou os melhores resultados em relação ao óxido de alumínio, especialmente para tamanho de grãos médios. Com relação às espécies de madeiras estudadas foi observada uma maior taxa de remoção de material para a conífera independente das granulometrias estudadas, enquanto que o acabamento superficial para a folhosa foi melhor do que para a conífera.

Ratnasingam et al. (2002), estudaram o lixamento da espécie Rubberwood (*Havea brasiliensis*), utilizando uma lixadeira de banda larga, onde esses autores propuseram a variação de alguns parâmetros do equipamento com intuito de obter um melhor acabamento superficial, menor consumo de potência e observar o tempo de vida de dois tipos de abrasivos no lixamento paralelo as fibras. Foi observado que a redução no tamanho dos grãos melhora o acabamento superficial; com o aumento da profundidade de corte foi observado uma piora no acabamento superficial; a taxa de remoção de material apresentou um crescimento conforme se aumentou a velocidade da lixa para mesma profundidade de corte. Com relação à eficiência dos abrasivos testados os autores observaram que a taxa de remoção de material ao longo do tempo se manteve mais eficiente para o carbetto de silício em relação ao óxido de alumínio. Esse melhor desempenho está atribuído a maior dureza do carbetto de silício segundo os autores. Para o consumo de potência foi observado que o aumento da velocidade de alimentação e a velocidade da lixa têm-se um maior consumo de potência.

Saloni et al. (2005), estudaram as variáveis que influenciam significativamente na taxa de remoção de material, rugosidade e o consumo de potência para o lixamento de diferentes espécies de madeira. Foram combinadas diferentes pressões, espécies de madeira, tipos abrasivos, granulometrias e velocidades de lixa. Os resultados indicaram que a taxa de remoção de material pode mudar com a variação de pressão, tipo de abrasivo, granulometria e a velocidade e lixa. O consumo de potência permaneceu estável para a mesma pressão e velocidade independentemente da espécie da madeira e abrasivos utilizados. O valor da rugosidade para ambas as espécies estudadas *Acer saccharum* e *Pinus Strobus* foi maior para o abrasivo óxido de alumínio comparado com carbetto de silício. Na maioria dos casos uma maior velocidade da lixa produziu um melhor acabamento superficial. As análises estatísticas mostraram significância para os níveis das variáveis estudadas mas poucas interações significativas entre elas.

Segundo Saloni (2007), a usinagem por abrasivo é o processo de remoção de material através da ação do corte de materiais abrasivos onde se obtém uma superfície final acabada ou um determinado corpo com dimensões desejadas. O processo de usinagem por abrasivo é importante não somente devido sua complexidade, mas também porque é a última etapa antes da aplicação do acabamento final e defeitos ocasionados no lixamento geram altos custos em material, trabalho realizado, equipamento e retrabalho para corrigir esses defeitos. O lixamento é difícil de ser caracterizado através de equações matemáticas devido a uma série de variáveis

aleatórias que cercam esse processo que envolve tanto os materiais abrasivos como equipamentos e a madeira.

2.7 Ferramenta abrasiva

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 ter a forma sólida.

Na Figura 2 é apresentada a composição da lixa.

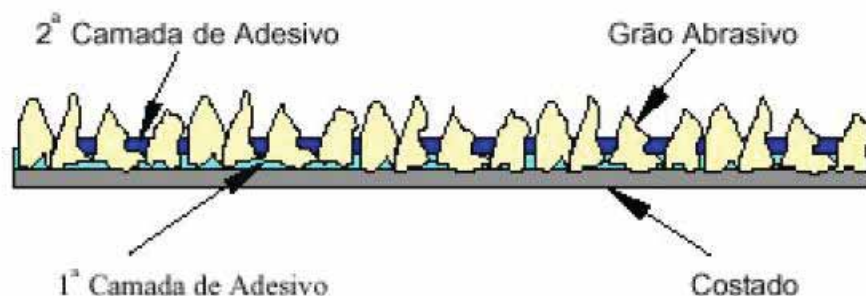


Figura 2 - Esquema da composição básica de uma lixa (NBR14960/2003)

2.8 Materiais abrasivos

Segundo Stemmer (1992) uma das qualidades importantes dos abrasivos do ponto de vista de sua utilização como ferramenta de corte é a sua dureza. Dentre os diversos métodos de medição de dureza para o abrasivo o mais empregado corresponde à micro dureza Knoop. O método consiste em penetrar uma ponta de diamante lapidada na forma piramidal em um material, sob cargas que podem variar entre 10 até mais de 300 gramas. A dureza Knoop é especificada pela mediação do perfil produzido pelo diamante no material e relacionado com a carga aplicada. Sendo sua unidade em $[\text{kgf} \cdot \text{mm}^{-2}]$. A Figura 3 ilustra a dureza Knoop para diferentes materiais abrasivos. Além da dureza, é importante que os abrasivos tenham como características uma boa tenacidade (resistir a impactos sob ação dos esforços de choque), resistência química (devido à geração de calor entre a lixa e a peça obra podem ocorrer

modificações químicas) e friabilidade (capacidade do grão abrasivo gerar novas arestas cortantes).

Os abrasivos podem ser divididos em duas classes: naturais e sintéticos. Os abrasivos sintéticos são utilizados para composição das lixas.

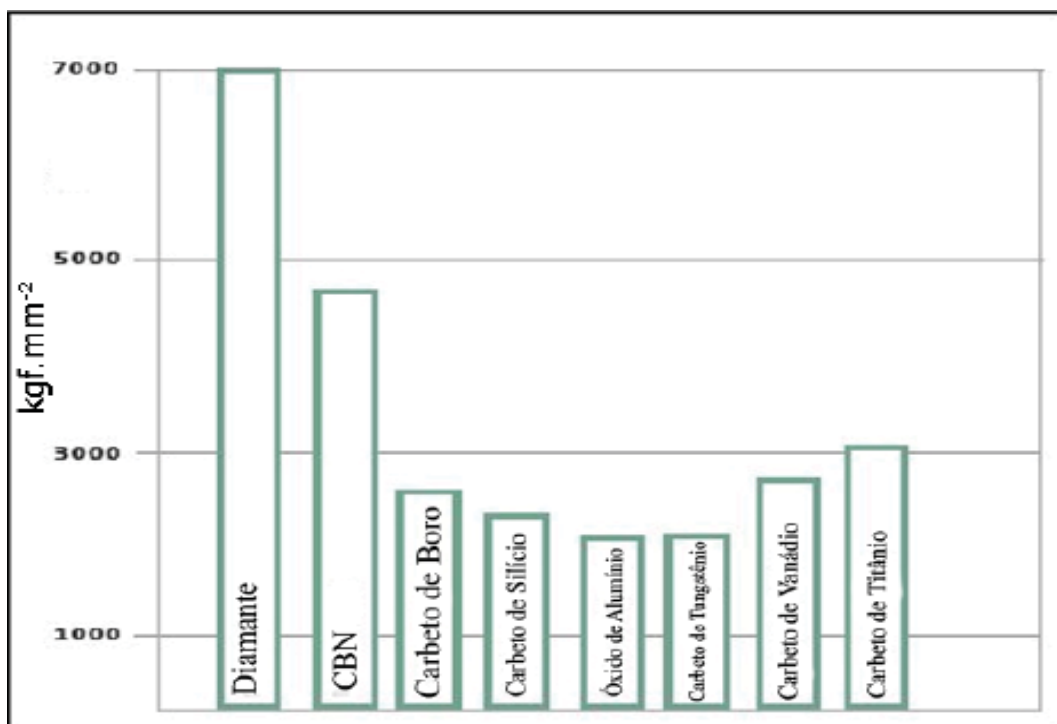


Figura 3 - Dureza Knoop para diferentes abrasivos
Fonte: (WINTER, 2009)

Os principais abrasivos sintéticos empregados na composição das lixas são: óxido de alumínio e o carbeto de silício. O óxido de alumínio possui uma dureza Knoop em torno de 2100 kgf. mm⁻², baixa condutividade térmica, o que é uma desvantagem para dissipar o calor no lixamento, elevada resistência à ruptura e, por isso tem grande aceitação na aplicação de lixamento requer altas pressões. O carbeto de silício tem elevada dureza situada entre o óxido de alumínio e o diamante na escala Knoop. Sua dureza situa-se em torno de 2450 e 3000 kgf.mm⁻². Têm alta condutividade térmica, boas características de fratura. Embora o carbeto de silício seja o mais frágil e áspero dos minerais utilizados na fabricação de abrasivos, ele é o que mais rapidamente se desgasta devido a sua fragilidade. Tem excelente aplicação em operações de lixamento leve, tais como a remoção de fibras da madeira expostas após um lixamento anterior. É

também um eficiente abrasivo para lixar chapas de madeira e painel de partículas, que contém revestimentos de resina.

Segundo Stemmer (1992), as dimensões dos grãos e sua uniformidade são uma característica importante no processo de usinagem com abrasivos. A classificação mais usual que padroniza os tamanhos dos grãos é da norma ANSI standart B 74.12, que especifica o tamanho dos grãos em mesh. A medida mesh é representada por um número que corresponde à quantidade de fios por polegada linear da peneira na qual os grãos ficam retidos no processo de seleção. Quanto maior o número, menor serão os grãos e quanto menor o número, maior serão os grãos.

A Tabela 2 apresenta uma proposta de classificação para diferentes granulometrias e suas aplicações no lixamento da madeira. Deve-se ficar atento para a sequência de uso de cada número de lixa. A granulometria seguinte não pode exceder mais que 50% do grão usado anteriormente. Caso para o lixamento utilizou-se uma granulometria número 80 mesh, a próxima lixa deverá ter 50% a mais que 80 mesh, isto é, 120 mesh. Esta é a condição adequada para o grão mais fino remover o risco deixado pelo grão mais grosso.

Tabela 2 – Aplicações dos abrasivos em função da granulometria

Granulometria	Classificação	Aplicações
600-500	Super fina	Polimento
400-360-320	Extrafina	Lixamento que antecede aplicação de revestimento
280-224-220	Muito fina	Lixamento entre os cantos e últimos lixamento para madeiras
180-150	Fina	Último lixamento de madeira macia e primeiro para madeira dura
120-100-80	Média	Lixamento preliminar
60-50-40	Grossa	Remoção de tinta ou folhas grosseiras

Fonte: (HAWKS, 1995)

Além da importância do conhecimento do tipo de abrasivo e suas características para cada aplicação é importante saber que existem duas formas em que esses abrasivos são distribuídos sobre a lixa, podendo ser do tipo camada aberta ou fechada. Na camada aberta existe uma menor quantidade de grãos por unidade de área, onde os grãos abrasivos recobrem a superfície da lixa

em torno de 50 a 70% aproximadamente, e tem como característica uma maior quantidade de arestas cortante por unidade de área, maior flexibilidade, maior remoção de material e maior resistência ao empastamento (adesão do material ao grão abrasivo). É indicada para evitar a incrustação (empastamento) em operações com madeiras com certos tipos de extrativos (resinas). Para camada fechada existe uma maior quantidade de grãos por unidade de área, ou seja, os grãos abrasivos recobrem totalmente a superfície da lixa e seus benefícios são atribuídos a uma maior quantidade de arestas cortantes por unidade de área. É indicada para operações de acabamento e para lixas de grãos finos, oferecendo uniformidade no acabamento final.

De acordo com Juan (1992), Taylor et al. (1999), o efeito de diferentes mineiras 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 mais profundos e estreitos, logo o óxido de alumínio produz superfícies com melhores propriedades de absorção.

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.

2.9 Adesivo de ligação dos abrasivos

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.

Segundo Nussbaum (1988), os adesivos ou colas utilizados para a fixação dos abrasivos no costado podem ser de cola de origem animal, origem animal mais carbonato de cálcio, resina fenólica e resinas especiais para papel (resistente a água). Onde para cada tipo de adesivo existem

suas aplicações como alta resistência e flexibilidade, resistência ao calor, operações com presença de umidade, entre outras aplicações.

2.10 Material de apoio das lixas (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.

Segundo Nussbaum (1988), materiais para os suportes ou bases sobre as quais são aplicados os abrasivos podem ser classificados em: papel de alta resistência, tecido de algodão, combinação de papel de alto peso e tecido, combinação de fibra e fibra vulcanizada. Existe uma classificação para os costados de papel que relaciona uma letra com suas características como flexibilidade, resistência entre outros., sendo essas características em função da gramatura do papel. Na Tabela 3 é exemplificada essa codificação. Da mesma forma existem letras designadas para os diferentes tipos de costados de tecido. Na Tabela 4 é exemplificada essas condições para os principais tecidos utilizados.

Tabela 3 – Codificação utilizada para costado e papel (NORTON, 2003)

Cód.	Gramatura (g.cm ⁻²)	Características	Aplicações
A	70	Flexível e leve	Operações manuais e em lixadeiras portáteis, a seco ou refrigerados
B	90	Flexível e leve	
C	110	Flexível e resistente	
D	150	Flexível e resistente	Operações mecanizadas em geral (desbaste e acabamento).
E	220	Pesado	
F	280	Pesado	

Tabela 4 – Classificação e características para o costado de tecido (NORTON, 2003)
CLASSIFICAÇÃO DOS TECIDOS

Cód. tecido	Tipo de	Características
L	Lonita	É o mais leve de todos, possui média resistência e flexibilidade. É utilizado em folhas ou combinação de papel.
J	Jeans	Leve e flexível, é mais resistente que a lonita. É empregado em lixas que não sofrem grandes esforços mecânicos e que necessitam de grande flexibilidade.
X	Drill	Encorpado (mais pesado) e resistente, ideal para operações mecânicas em geral.
S	Cetim	É o mais resistente que o drills, sendo indicado para operações severas (debaste pesado).
Y	Poliéster	É rebusto e mais resistente à ruptura longitudinal que o cetim algodão. Utilizado em operações severas, a seco ou refrigeradas.

2.11 Acabamento Superficial

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 atualmente por diferentes parâmetros como o R_a , R_z , R_{max} . Essas variáveis são padronizadas pela Norma ISSO 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 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 superficial. Em muitos estudos foram constatadas as influências de alguns fatores como a velocidade de corte, afinação da ferramenta de corte, direção de corte, vibração da máquina, entre outros.

Segundo Lemaster (2004), a textura de uma superfície de forma tridimensional, é descrita como a topografia, rugosidade, ou irregularidades de uma interface entre uma substância e seu entorno. A rugosidade de uma superfície inclui pequenas irregularidades (pequenos comprimentos de onda) onde são resultados do processo em que foi gerado ou condições do material.

Para Carpinetti et al. (1996), a textura ou rugosidade superficial caracteriza-se pelas micros-irregularidades geométricas deixadas na superfície do material trabalhado decorrentes do processo de fabricação.

Segundo Tiburcio (2009), para a avaliação desses níveis de irregularidades, existem inúmeras técnicas de medição, tais como: apalpamento mecânico, técnicas ópticas paramétricas (perfilometria e interferometria) e não paramétricas (dispersão de luz), microscopia, emissão acústica, ultra-som, técnica pneumática e de capacitância.

Os principais parâmetros e critérios para avaliação da rugosidade voltada para o apalpamento mecânico são padronizados pelas normas NBR ISO 4287 /2002, NBR ISO 4288/2008 e NBR 6405/1988. O primeiro parâmetro a ser definido para o apalpamento mecânico corresponde ao comprimento de amostragem, indicado na Figura 5 por L_e (“cut-off”), que corresponde a segmentos dentro do comprimento de medição, indicado na Figura 5 por L_m , sobre os quais se calculam os parâmetros estatísticos quantitativos dos erros de rugosidade. A rugosidade da superfície é avaliada pela média aritmética de uma série de segmentos consecutivos (comprimento de amostragem), que definem o comprimento de medição (CARPINETTI et al., 1996). A norma NBR 6405/1988 e a ISO padronizaram que o comprimento de medição realizado pelos rugosímetros seja no mínimo, cinco comprimentos amostrais.

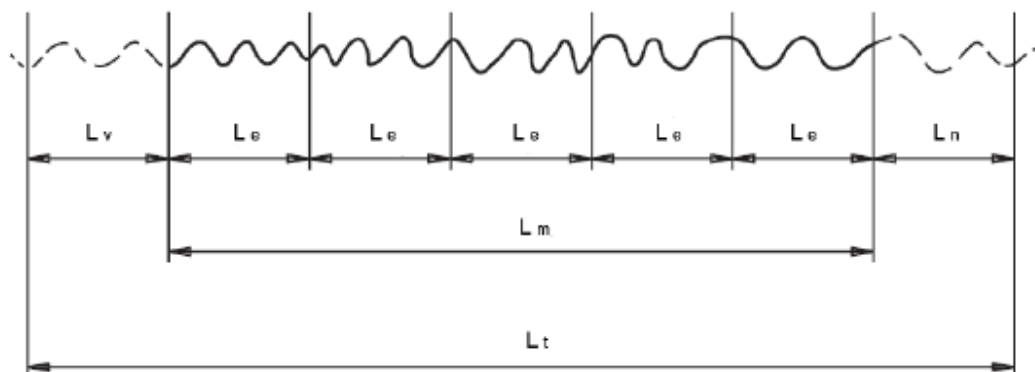


Figura 4 - Comprimento para avaliação da rugosidade (NBR 6405/1988)

L_e : comprimento da amostragem (“cut-off”);

L_m : comprimento da 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 no valor de (L_v) como o de (L_n) não são considerados na avaliação da rugosidade.

2.12 Rugosidade Média (R_a)

Um dos principais parâmetros de avaliação da medida de profundidade na rugosidade, no processo de lixamento, é a rugosidade média (R_a) e também um dos mais usados em todo mundo. Possui a vantagem 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 R_a é a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas de afastamento $Z(X)$ (Figura 5), 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).

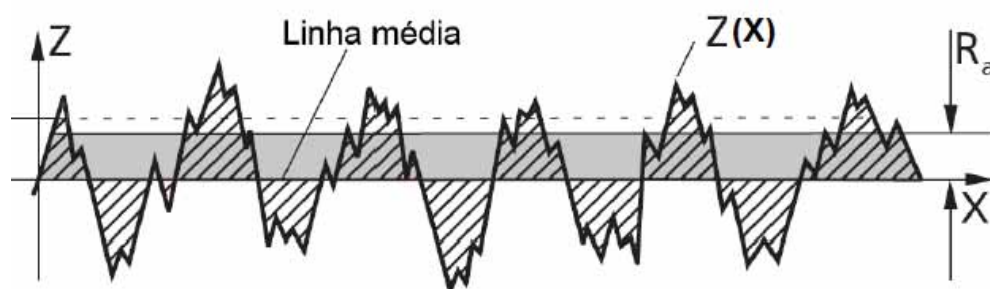


Figura 5 - Percurso de medição de rugosidade média.

2.13 Potência de corte

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.

Estudos indicam que o aumento da pressão, da velocidade de corte, largura de corte, profundidade de corte ou números de facas podem resultar no aumento da potência consumida.

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. 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.

Saloni et al (2005), fizeram um estudo que mostrou que a potência consumida aumentou com o aumento da velocidade de corte e de avanço, utilizando-se uma lixadeira de cinta, e lixas de óxido de alumínio e caberto de silício, e mostraram também que com o aumento da pressão aplicada, obteve-se aumento da 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 influencia no consumo de potência, mas que a pressão e a direção de corte relativa às fibras, têm importância fundamental na potência de corte.

Varasquim (2009), em seu trabalho *Análise da Influência da Velocidade de Corte na madeira 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).

Para a medição do consumo de potência em seu trabalho, Gonçalves et al. (2006), instrumentou o equipamento de usinagem com o aparelho de controle eletrônico microprocessado, indicado para medição e registro de grandezas da rede elétrica que alimenta a máquina. O medidor de grandezas elétricas utilizado realizou a medição direta de corrente por plugs ou por alicate tipo TC (transformador de corrente), registrando valores de potência ativa e reativa, tensão corrente e frequência, por fase e trifásica.

2.14 Força de lixamento

A pressão aplicada sobre a peça no lixamento plano é caracterizada por uma determinada força sobre uma área específica, e dependendo da configuração da lixadeira essa pressão pode ser aplicada sobre a peça de madeira fixa e a lixa em movimento ou a peça de madeira e a lixa em movimento.

A força exerce influência significativa sobre a taxa de remoção de material, isto foi observado nos trabalhos realizados por Franz & Hinken (1954), Taylor et al. (1999), Saloni et al., (2005), Javorek et al. (2006), que verificaram uma influência da pressão sobre a remoção de material no processo de lixamento.

Ratnasingam et al. (1999), destacam que o efeito da pressão reduz a vida do abrasivo, onde aumentando-se a pressão eleva-se a taxa de remoção de material, a temperatura da lixa e a carga sobre a mesma o que acarreta em danos no abrasivo.

2.15 Emissão acústica

A emissão acústica é utilizada como variável de medição, principalmente na usinagem de metais, onde é relacionada com o 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 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).

A Emissão Acústica é definida como as ondas de tensões produzidas pelo movimento súbito dos materiais tensionados, sendo que as emissões clássicas provêm dos processos de deformação, como o aparecimento e o crescimento de trincas e deformações plásticas. Tais movimentos súbitos produzem tensões que se propagam pelo material e por meios físicos até chegarem ao sensor de emissão acústica. É um método de aquisição de valores muito sensível, no qual o sensor capta sinais elétricos de alta frequência e livre dos ruídos advindos de fontes que não interessam ao processo (SOARES & OLIVEIRA, 2002).

De acordo com Inasaki (1990), as ondas acústicas ficam predispostas a vários efeitos como amortecimento, frequência dependente da velocidade, reflexão, e outros devido à sua propagação pelo material, devido ao fato da emissão acústica (EA) também ser caracterizada como uma energia resultante da interação da ferramenta com a peça que se propaga pela estrutura do material.

2.16 Vibração

Vibração é um fenômeno físico que, em usinagem, está relacionada ao desgaste de ferramentas de corte e falhas de componentes de máquinas, que ocorre devido à 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 piezo elétrico 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).

Segundo Gatec (2009), a análise de vibração é um procedimento utilizado para auxiliar na manutenção, controle e otimização de máquinas e equipamentos de vários processos industriais, onde falhas em componentes das máquinas são detectadas pela taxa de variação das forças dinâmicas geradas. Estas forças influenciam o nível de vibração, avaliado nos componentes do equipamento, sem interromper seu funcionamento.

Vittorin (2008), comenta sobre a importância da análise de vibrações em vários processos experimentais e industriais. Com a análise de vibrações é possível detectar em uma máquina quais de seus componentes apresentam defeitos relacionados a problemas elétricos, problemas com componentes como correias, engrenagens e rolamentos, folgas, excentricidade, falta de rigidez, desalinhamentos, desbalanceamentos entre outros.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a confecção das chapas utilizadas neste trabalho foi escolhido o material bambu que está localizado na área experimental agrícola da Unesp de Bauru. Foi utilizado a uréia-formaldeído como adesivo. Após a produção das chapas particuladas, foi feito ensaio físico no laboratório de madeira da Unesp – Bauru. Posteriormente, foi realizado o ensaio mecânico no departamento de engenharia civil da Unesp de Bauru, e por fim, foi realizado o ensaio de lixamento na Unesp de Itapeva.

3.1 Produção das chapas de partículas aglomeradas de bambu

Para a produção das chapas particuladas, foram utilizados resíduos de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* com idade de 4 a 5 anos, gerada em diversas pesquisas em desenvolvimento no Laboratório de Experimentação de Bambu, pertencente ao Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da UNESP, Campus de Bauru.

Esses resíduos são compostos de:

- Parte apical do colmo, oriundo de descarte de peças selecionadas para confecção de chapas sarrafeadas de bambu, cuja seleção baseia-se na espessura mínima de parede de 8 mm;
- Galhos retirados dos colmos durante o processo de colheita do bambu;
- Cavacos gerados nas diversas fases de processamento da fabricação de chapas sarrafeadas de bambu (serra circular, plaina, etc).

Os colmos de bambu foram cortados em peças de 1 metro de comprimento em serra circular destopadeira e a parte apical, rica em fibras, medindo aproximadamente 4 metros, foi picada em picador industrial, gerando cavacos grandes, variando de 4 a 10 cm de comprimento, e largura variando de 0,5 a 2,0 cm. Esses cavacos foram então repicados em um triturador de galhos de fabricação CID, modelo 50SL, potência nominal de 3,0 CV e em seguida picados em um picador de 2 facas de fabricação Marconi e posteriormente por um moinho tipo Willye de fabricação Marconi, modelo MA 680. Os cavacos saídos do picador de facas foram passados em peneiras comerciais de malha 4,0 mm. Os cavacos que passaram por essa peneira foram então peneirados em outra de malha 1,2 mm. Os cavacos foram então separados e denominados da seguinte forma: os cavacos que passaram pela peneira de 1,2 mm foram denominados de

“cavacos finos” e os cavacos que ficaram retidos nesta peneira foram denominados de “cavacos grossos”. Após obtenção dos cavacos, cada chapa aglomerada foi formada por 2,6 kg de material seco, sendo 0,52 kg (20%) de cavacos finos e 2,8 kg (80%) de cavacos grossos, compondo as várias chapas, determinadas pela quantidade do adesivo uréia-formaldeído, sendo que essas quantidades utilizadas foram determinadas em função do peso de material seco. Este procedimento vem sendo adotado com sucesso em pesquisas desenvolvidas pelo Grupo de Processamento da Madeira e Materiais Compostos, certificado pelo CNPq.

As partículas finas foram colocadas na mistura para melhor preencherem os espaços vazios, assegurando um melhor acabamento superficial e na melhora da aparência.

Foram fabricadas quatro tipos de chapas particuladas de bambu, para cada chapa foi utilizado uma porcentagem diferente de adesivo em relação ao peso da chapa, sendo elas: 8, 10, 12 e 15%. Esses valores foram escolhidos na literatura. A composição das chapas são apresentadas na Tabela 5, juntamente com sua denominação.

Tabela 5 – Composição das chapas aglomeradas e porcentagem de adesivo			
Chapa	% Adesivo	% Material	Peso cavaco
Chapa UF1	8 % UF	100% Bambu	2.600 g
Chapa UF2	10 % UF	100% Bambu	2.600 g
Chapa UF3	12 % UF	100% Bambu	2.600 g
Chapa UF4	15 % UF	100% Bambu	2.600 g

O adesivo uréia-formaldeído utilizado para a produção das chapas neste trabalho foi o Cascamite, fornecido pela Hexion Química do Brasil. É um adesivo à base de uréia-formaldeído em solução aquosa e um dos mais empregados na indústria de fabricação de chapas de partículas.

A emulsão de parafina é comumente usada como aditivo para os adesivos utilizados na produção de chapas de partículas. Sua função é preencher os vazios entre as partículas, diminuindo a sua capacidade de absorção de água, que influenciará em seu desempenho como um todo. Sendo assim, na produção das chapas desta pesquisa, utilizou-se como aditivo ao adesivo de

uréia formaldeído, na proporção de 1,5% no peso do material seco, tipo S-636, produzida pela SOLVEN – Solventes e Químicos Ltda.

3.2 Aplicação do adesivo

Após as partículas estarem devidamente preparadas, iniciou-se a preparação do adesivo. Uma balança da marca MARTE com carga máxima de 5000g e 0,01g.

Para compor o adesivo foram misturados: água na quantidade de 5% do peso do adesivo; sulfato de amônia, na quantidade de 1,5% do peso do adesivo; emulsão de parafina na quantidade de a 1,5% do peso do material seco. Os valores dos componentes das chapas podem ser observados na Tabela 6, para cada uma das porcentagens do adesivo.

Tabela 6 - Valores dos componentes das chapas

COMPONENTES DAS CHAPAS				
	8% UF	10% UF	12% UF	15% UF
Partículas grossas de bambu [g]	2080	2080	2080	2080
Partículas finas de bambu [g]	520	520	520	520
Água [g]	10,40	13,00	15,60	19,50
Sulfato de Amônia [g]	3,12	3,90	4,68	5,85
Parafina [g]	39	39	39	39
Adesivo UF [g]	208	260	312	390

3.3 Pesagem das Partículas

Após a secagem das partículas, elas foram peneiradas e separadas em finas e grossas. Pesou-se as partículas na balança Toledo, modelo 9094C/1, com capacidade máxima de 15,0 kg e resolução de 0,1 kg. Para cada chapa, foi utilizado 2,6 kg de partícula em peso de material seco.

3.4 Aplicação do adesivo

Após as partículas estarem devidamente preparadas, foi realizada a preparação do adesivo, apresentado na Figura 6.

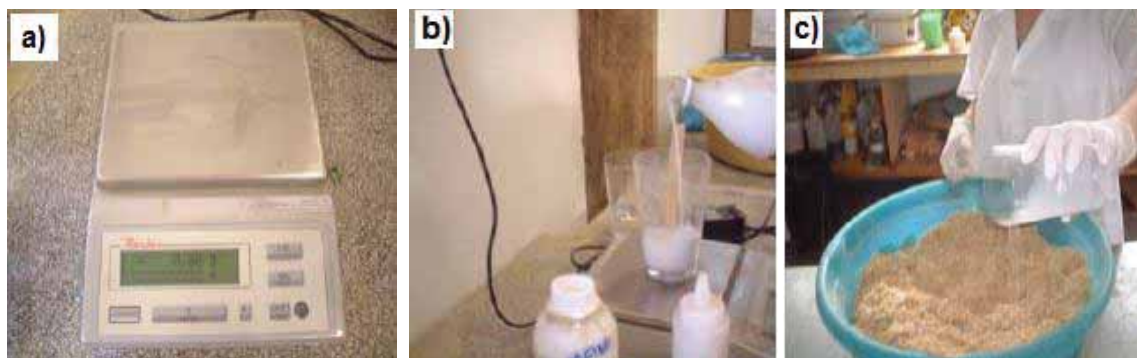


Figura 6 - Balança para pesagem (a), preparação do adesivo (b) e mistura manual do adesivo e partículas (c).

Para que o adesivo apresente maior homogeneidade, seus componentes precisam ser misturados na ordem apresentada. Primeiramente mistura-se a água e o sulfato de amônia, para que o mesmo seja totalmente diluído; em seguida adiciona-se a parafina, formando uma mistura pastosa; e por último, é colocada a uréia-formaldeído e misturado até que todos os componentes estejam completamente integrados. Esse produto final é adicionado à massa de partículas e primeiramente misturado manualmente.

3.5 Mistura dos componentes

Para obtenção de boa homogeneidade da mistura de todos os materiais empregados na produção das chapas: as partículas de bambu e adesivo foram colocados em um misturador horizontal de tambor com capacidade para 137 litros, disponível no Laboratório de Processamento da Madeira. Ele contém um eixo com pás posicionadas em linhas com ângulo de 120° entre elas. O tempo de mistura foi de 5 minutos, para cada uma das chapas fabricadas. A Figura 7 apresenta uma vista geral do misturador horizontal de tambor. Segundo Maloney (1977) deve haver homogeneidade de distribuição do adesivo nas partículas para assegurar propriedades uniformes em toda a extensão da chapa.



Figura 7 - Misturador horizontal de tambor (a) e partículas com adesivo dentro do misturador (b).

3.6 Formação do colchão

A mistura retirada do misturador é levada para uma fôrma quadrada de madeira com dimensões de 40x40 cm, apoiada em um prato de metal forrado com papel alumínio, que evita a adesão das partículas nos pratos da prensa e transmite com facilidade o calor. A distribuição da mistura é feita manualmente da maneira mais homogênea possível e de forma bem compacta, utilizando-se um socador de madeira. Após a distribuição, é realizada uma pré-prensagem, para que o colchão permaneça estável e possa ser levado até os pratos da prensa. Essa etapa é importante, pois uma chapa mal formada apresentará grandes variações em suas propriedades, devido à variação de densidade em sua extensão. Na sequência, a fôrma é retirada, permanecendo apenas o colchão de partículas apoiado sobre uma chapa de aço inoxidável, que foi levada até os pratos aquecidos da prensa.

Na Figura 8 pode-se visualizar a sequência de preparação do colchão de partículas e na Figura 9 o colchão pronto para prensagem.



Figura 8 - Sequência da preparação do colchão de partículas para prensagem.

A mistura de bambu com adesivo é despejada na forma de madeira (a), Depois, ela é espalhada com uma espátula (b), é feito uma pré-prensagem com um soquete de madeira (c) e também com o peso do corpo (d).



Figura 9 - Colchão pronto para prensagem.

3.7 Prensagem

Para a fabricação das chapas de partículas é muito importante considerar o conjunto de condições sob as quais as partículas são prensadas e consolidadas, tais como: temperatura, pressão e tempo de prensagem. Esta fase do processo é conhecida como ciclo de prensagem, onde ocorre a consolidação do material no qual são definidas, em grande parte, as propriedades finais do produto (OLMOS, 1992).

Após a pré-prensagem manual apresentada no item 3.6 - Formação do colchão, que tem como objetivo a redução da altura e consistência da chapa, o colchão foi colocado numa prensa à quente e prensado. A Figura 10 apresenta a sequência da prensagem.

Neste trabalho, foi utilizada uma prensa hidráulica à quente fabricada pela PHS Máquinas Hidráulicas Ltda, modelo PHH 80T, capacidade de 80 toneladas e temperatura máxima de 200 °C. Esta prensa encontra-se no Laboratório de Processamento da Madeira (LPM) da Faculdade de Engenharia da UNESP Bauru, local onde foi desenvolvida esta pesquisa.



Figura 10 - Sequência para prensagem da chapa de partículas.

Colchão pré-prensado (a), montagem do colchão de partículas no prato inferior da prensa (b) e Prensagem final da chapa de partículas (c).

O colchão de partículas foi lentamente prensado até que os se pratos encostem ao limitador metálico de espessura de 12,7 mm, o que determinou a espessura final da chapa. Esta chapa permaneceu na prensa durante 10 minutos, a temperatura de 130°C, sob uma pressão de aproximadamente 33 Kgf/cm², o que corresponde a uma força de 67 toneladas. Na Figura 11 a pode ser visualizado a prensa hidráulica juntamente com o sistema de controle de temperatura.



Figura 11 – Prensa hidráulica a quente, marca PHS e modelo PHH 80T.

A Figura 12 apresenta uma vista geral das chapas de partículas aglomeradas de bambu fabricadas para o desenvolvimento desta pesquisa.



Figura 12 - Vista das chapas após o processo de esquadrejamento.

Após a retirada das chapas da prensa elas permaneceram em ambiente controlado para que se resfriassem naturalmente. As chapas permaneceram 72 horas em repouso para que se completasse a fase de cura da resina. Após esse período as mesmas foram esquadrejadas numa serra circular esquadrejadeira da marca BALDAN Máquinas e Equipamentos Ltda, modelo SEC – 3R, nas dimensões de 32 x 37 cm. Conforme apresentados na Figura 13 foram retirados os corpos de prova nas dimensões especificadas pela NBR 14810-3 (2006) para os diversos ensaios programados nesta pesquisa.

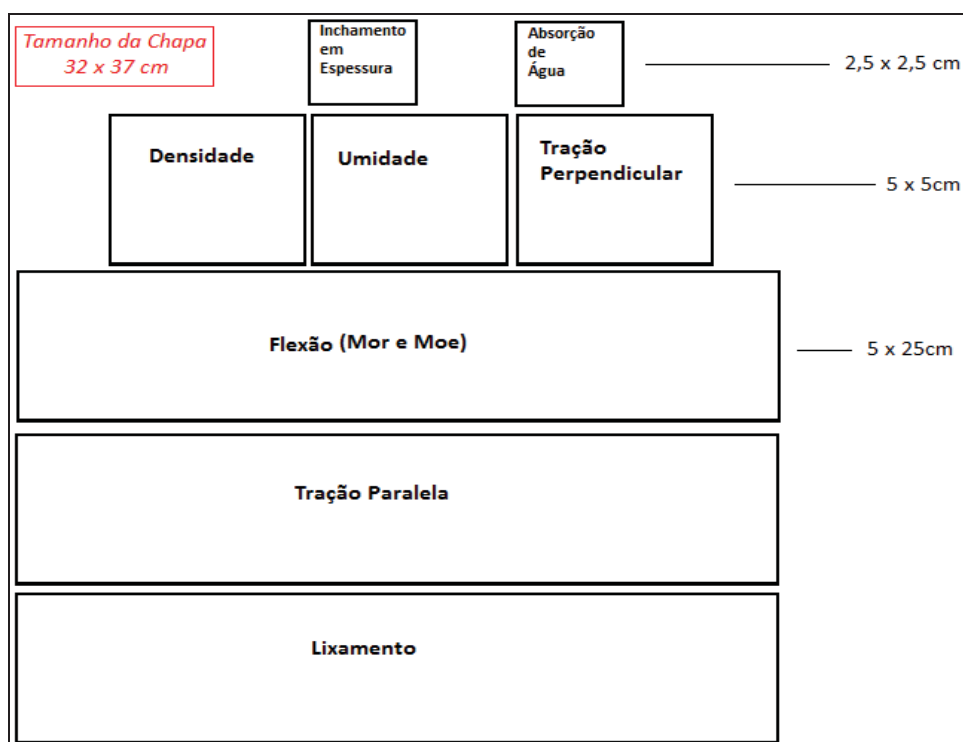


Figura 13 – Dimensões dos corpos de prova especificadas pela NBR 14810-3 (2006).

3.8 Ensaios das chapas aglomeradas

Foram produzidas 20 chapas aglomeradas, sendo, cinco chapas para cada traço de adesivo estudado nesta pesquisa e de cada chapa foram retirados dois corpos de prova para cada tipo de ensaio realizado.

As chapas produzidas foram divididas conforme descrição apresentada na Tabela 7.

Tabela 7 - Denominação dos corpos de provas

8%	10%	12%	15%
8-1	10-1	12-1	15-1
8-2	10-2	12-2	15-2
8-3	10-3	12-3	15-3
8-4	10-4	12-4	15-4
8-5	10-5	12-5	15-5
8-6	10-6	12-6	15-6
8-7	10-7	12-7	15-7
8-8	10-8	12-8	15-8
8-9	10-9	12-9	15-9
8-10	10-10	12-10	15-10

Os ensaios seguiram as especificações regulamentadas pela norma brasileira utilizada para chapas de madeira aglomerada, NBR 14.810 (2002) – Chapas de Madeira Aglomerada – Parte 3: Métodos de Ensaio.

A análise estatística dos dados foi realizada conforme delineamento inteiramente casualizado, com emprego de análise de variância e teste de Tukey ao nível de probabilidade de 95%.

3.9 Caracterização física e mecânica

As características de resistência física e mecânica das chapas aglomeradas de bambu foram avaliadas através dos seguintes ensaios descritos a seguir, conforme norma citada.

3.10 Ensaios físicos

Foram realizados quatros ensaios físicos: densidade, umidade, absorção de água e inchamento em espessura, seguindo os procedimentos da NBR 14.810.

3.10.1 Densidade Específica

Este ensaio foi realizado nas dependências do Laboratório de Experimentação da Madeira, da Faculdade de Engenharia de Bauru, UNESP, Bauru. Consiste na pesagem e medição dos corpos-de-prova retirados das chapas aglomeradas, para obtenção densidade média das chapas em cada um dos traços.

Foram determinadas as espessuras em cinco pontos dos corpos de prova, sendo uma delas no centro deste obtendo-se assim a espessura média. Com a ajuda de um paquímetro com resolução de 0,01mm, apresentou na Figura 14, determinou-se o comprimento (C) e a largura (L) e as amostras foram pesadas na balança de marca Marconi, modelo AS5500C com carga máxima de 2000 g e resolução de 0,01 g.

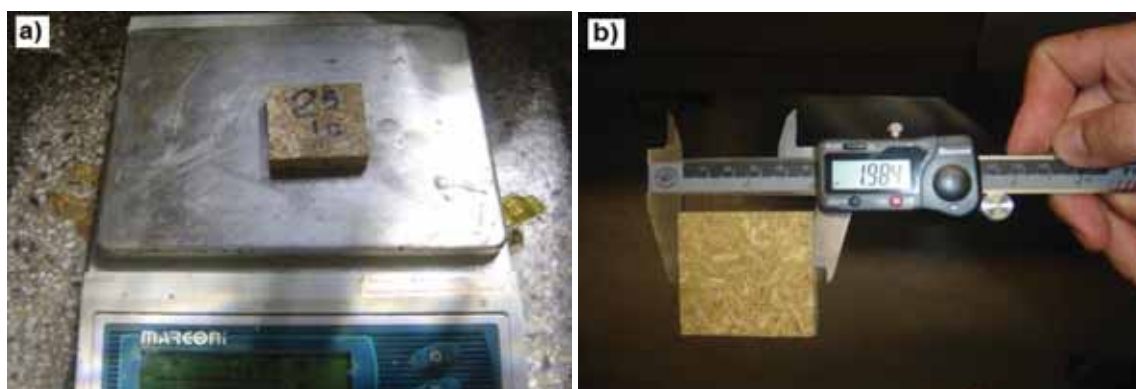


Figura 14 - Pesagem dos corpos-de-prova para determinação da densidade (a) e medição dos corpos-de-prova para ensaio de densidade (b).

Foram destinados dez corpos-de-prova para cada um dos traços definido na Tabela 1, e estes foram cortados nas dimensões de 100 x 100mm. Os resultados foram apresentados em tabelas para obtenção de um valor médio da densidade específica de cada um dos traços, calculado através da Equação 1.

$$D = \frac{M}{V} \times 1.000.000 \quad (1)$$

sendo:

D é a densidade do corpo de prova, em kg/m^3 ;

M é a massa do corpo de prova, em g;

V é o volume do corpo de prova, em mm^3 ;

3.10.2 Inchamento em espessura e Absorção de água

Esses ensaios fornecem indicações a respeito das condições de adesão e de resistência das partículas que constituem a chapa aglomerada quando são submetidas à imersão em água pelos períodos de 2 e 24 horas.

Foram dez corpos de prova para cada um dos traços, nas dimensões de 25 mm x 25 mm. As amostras foram pesadas e medidas antes da imersão, obtendo o valor da massa seco (M_0), espessura seca (E_0). Após esta fase, as amostras foram colocadas em um recipiente com água por 2 e 24 horas. Depois, foram obtidos a massa saturada (M_1) e espessura saturada (E_1). Utilizando-se as equações 2 e 3, obtêm-se então o inchamento em espessura e a absorção de água nas condições de 2 e 24 horas, respectivamente.

$$I = \frac{E_1 - E_0}{E_0} \quad (2)$$

onde:

I é o inchamento em espessura do corpo de prova, em %;

E_1 é a espessura do corpo de prova após o período de imersão considerado, em mm;

E_0 é a espessura do corpo de prova antes da imersão, em mm.

Para o cálculo de absorção de água, utiliza-se a seguinte equação:

$$A = \frac{M_1 - M_0}{M_0} \quad (3)$$

onde:

A é a absorção de água, em %;

M_1 é a massa do corpo de prova após imersão, em g;

M_0 é a massa do corpo de prova antes da imersão, em g.

Inicialmente foram realizadas medições da espessura no centro do corpo de prova, com auxílio de um micrômetro de resolução 0,01 mm, obtendo-se a espessura inicial E_0 . Em seguida, esses corpos de prova foram pesados na balança Marconi de resolução de 0,1g.

Na sequência, em um recipiente com água, os corpos de prova foram submersos com nível de água de cerca de 25 mm acima da superfície superior do corpo-de-prova.

As medições foram procedidas após 2h + 3 min de imersão e 24h + 3 min de imersão em água com temperatura a aproximadamente 20°C, apresentada na Figura 15. Os corpos de prova foram retirados do recipiente, em seguida foi removido o excesso de água com papel absorvente e medido novamente a espessura saturada dos corpos-de-prova (E_1).

Este ensaio foi realizado no Laboratório de Processamento da Madeira da FEB, Unesp Bauru.

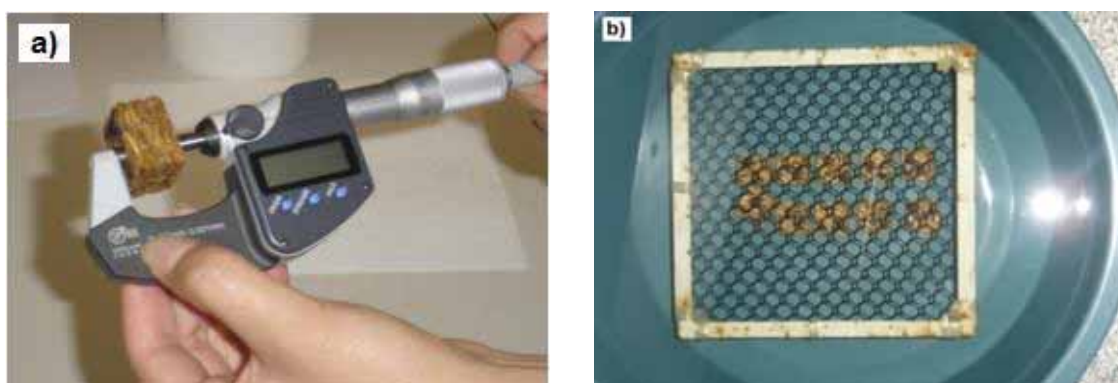


Figura 15 - Medição da espessura do corpo-de-prova por meio do micrômetro (a) e corpos de prova submersos em recipiente com água.

3.10.3 Umidade residual

Foram dez corpos de prova para cada um dos traços, nas dimensões de 50 mm x 50 mm. Foram pesados, obtendo-se a massa do corpo de prova, denominada M_U . Depois de colocados em uma estufa de secagem a uma temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, como apresenta a Figura 16, e depois de secos, foi obtido o peso seco denominado M_S , definido por meio de duas pesagens consecutivas, em que a diferença de peso seja inferior a 0,1%. A relação de M_U e M_S , em porcentagem, fornece o valor da umidade em que ela se encontra, utilizando-se para isso a Equação 4:

$$U = \left[\frac{(M_u - M_s)}{M_s} \right] \times 100 \quad (4)$$

Onde:

U é a umidade residual do corpo de prova, em porcentagem;

M_U é a massa úmida do corpo de prova, em gramas;

M_S é a massa seca do corpo de prova, em gramas.

Os corpos-de-prova foram pesados sucessivamente até que se obtivesse a massa seca (M_S), na balança de resolução de 0,1, até chegar a uma variação menor ou igual 0,1%. O resultado é a média dos corpos-de-prova analisados, expresso em porcentagem com exatidão de 0,1%.



Figura 16 - Corpos de prova retirados da estufa.

3.11 Ensaios mecânicos

As características de resistência mecânica das chapas aglomeradas de bambu foram avaliadas através dos seguintes ensaios descritos a seguir, conforme norma NBR 14.810-3.

Os ensaios mecânicos foram realizados em Máquina Universal de Ensaios, marca EMIC, modelo DL30000, com uma capacidade de 30 toneladas, pertencente ao Laboratório de Construção Civil da FEB – UNESP, Campus de Bauru e também conduzidos conforme descrição da NBR 14.810-3, item 6.12 – determinação da resistência à flexão e módulo de elasticidade, item 6.14 – determinação da resistência à tração paralela e item 6.15 – determinação da resistência à tração perpendicular, sendo que para todos os ensaios foram destinados dez corpos de prova, sendo 2 de cada uma das chapas fabricadas

3.11.1 Ensaio de resistência à tração paralela às faces

O ensaio de Resistência à Tração Paralela às Faces é uma das caracterizações mecânicas das chapas. Foram necessárias dez amostras para cada traço definido na Tabela 6, com dimensões de 250 x 50 mm. Uma máquina universal de ensaio foi utilizada, conectada a um microcomputador que, por meio de software específico, gerencia as operações do atuador, registrando automaticamente os valores de força, deslocamento e deformação, ocorrida nos corpos-de-prova.

3.11.2 Ensaio de flexão estática

Neste ensaio foram utilizados dez corpos de prova de cada traço com dimensões nominais de 250 x 50mm. Após a medição da espessura em seis pontos do corpo-de-prova, e da largura em três seções do mesmo, foram calculadas as respectivas médias. O corpo-de-prova foi colocado sobre apoios, deixando um vão livre de 200 mm, e um carregamento uniformemente crescente, colocado no ponto médio do vão livre. Para calcular a resistência à flexão dos corpos de prova, utilizam-se as Equações 5 e 6.

$$MOR = \frac{1,5(P.D)}{B.(E)^2} \quad (5)$$

MOR = módulo de ruptura a flexão, em MPa;

P = é a carga de ruptura lida no indicador de cargas, N;

D = é a distância entre os apoios do aparelho, em mm;

B = é a largura do corpo de prova, em mm;

E = é a espessura média tomada em 3 pontos do corpo de prova, em mm.

$$MOE = P1. \frac{D^3}{d. 4. B. E^3} \quad (6)$$

MOE = módulo de elasticidade, em MPa;

P1 = é a carga no limite proporcional lida no indicador de cargas, N;

D = distância entre os apoios do aparelho, em mm;

d = deflexão correspondente à carga P1, em mm;

B = largura do corpo de prova, em mm;

E = espessura média tomada em 3 pontos do corpo de prova, em mm.

3.11.3 Ensaio de tração perpendicular às faces (Ligação interna – LI)

O ensaio de tração perpendicular às faces é também conhecido como ligação interna das fibras, analisou a ligação interna das partículas que compõem a mistura, estando relacionada diretamente a densidade da chapa, ao tempo e a temperatura utilizada na fase de prensagem, bem como a quantidade de resina a ser utilizada na mistura.

Foram utilizados dez corpos de prova de cada um dos traços propostos neste projeto, com dimensões de 50 x 50 mm, preparados por meio da colagem em duas placas de madeira, na base e no topo das amostras com o adesivo poliuretano.

Os corpos de prova foram colocados na máquina universal de ensaios e submetidos a carregamentos crescentes de tração, até a ocorrência da ruptura.

Onde:

TP é a resistência à tração perpendicular, em megapascals;

P é a carga na ruptura, em newtons;

S é a área da superfície do corpo-de-prova, em milímetros quadrados.

3.12 Preparação dos corpos de prova para o ensaio de lixamento

Os corpos de prova para os ensaios físicos e mecânicos foram fabricados no Laboratório de Processamento da Madeira do Departamento de Engenharia Mecânica, da Faculdade de Engenharia, Campus da UNESP de Bauru e os de lixamento foram fabricados no Laboratório de Usinagem e Automação, Campus da UNESP de Itapeva. As condições de preparação dos corpos de prova foram idênticas de maneira a não influenciar no processo de lixamento e pode ser observado na Figura 11. Foram preparados para que o lixamento procedesse na direção paralela às faces. As dimensões finais dos corpos de prova são 30 x 54 x 23 mm.

3.13 Banco de ensaios

O banco de ensaio, pertencente ao Laboratório de Usinagem e Automação, da UNESP, campus de Itapeva, é composto por uma lixadeira plana, marca Baldan® e modelo LFH-2, com um suporte pneumático para fixação do corpo de prova, onde a pressão foi de 1 kgf/m², lixa de óxido de alumínio, exaustor para captação do pó, sistema de monitoramento e aquisição de dados compostos por um painel de controle, sensores, transdutores, microcomputadores, placas, conectores, cabos e software para aquisição e manipulação dos dados. A seguir serão descritas todas as características dos componentes pertencentes ao banco de ensaios. A Figura 17 mostra o a lixadeira plana com o suporte adaptado.



Figura 17 - Lixadeira plana com o suporte adaptado.

Lixadeira plana da marca BALDAN[®], modelo LFH-2, com suporte pneumático para fixação do corpo de prova. A Tabela 8 descreve as características técnicas da lixadeira plana.

Tabela 8 - Características técnicas da lixadeira plana	
Características técnicas do equipamento	
Dimensões da mesa	530 x 160 mm
Dimensão da fita de lixa	1480 x 150 mm
Potência do motor	1 CV

3.14 Sistema de monitoramento e aquisição de dados

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

Célula de carga para captação da força de lixamento da marca BERMAN load cells[®], modelo TBSPL com capacidade de 25 kg. A Tabela 9 apresenta algumas características técnicas da célula. A Figura 18 apresenta o formato da célula de carga.

Tabela 9 - Características técnicas da célula de carga modelo TBSPL

Características técnicas	
Capacidade máxima	25 kg
Dimensão máxima da plataforma	350 x 350 mm
Torque de aperto	10 Nm
Sensitividade	$2,0 \pm 0,2$ mV/V
Grau de proteção	IP 65
Resistência elétrica de entrada	410 ± 2 Ω
Resistência elétrica de saída	350 ± 3 Ω
Faixa de temperatura nominal	-20 até +60°C
Tensão recomendada de excitação	10 VCC
Material	Alumínio

Para se auferir a força de corte no ponto de contato da ferramenta de corte com a peça foram fixados objetos de massa conhecida na ponta da ferramenta de corte e, para cada massa fixada, foi coletado o valor de tensão registrado pela célula de carga.

A partir dos valores das massas dos objetos fixados e dos valores de tensão coletados, foi plotado um gráfico de Força x Tensão e traçada uma reta, sendo formulada, a partir dessa reta, a Equação 7, a seguir:

$$Y = 0,0118 \times X + 0,0556 \quad (7)$$

Onde:

Y é o valor de força; e

X é o valor da carga coletado.

Em posse desta equação, os valores de tensão coletados durante os processos de usinagem realizados foram nela aplicados, resultando nos valores de força utilizados no tratamento dos dados.

Finalizada a implantação do sistema de aquisição de dados, passou-se à escolha dos corpos de prova a serem lixadas.



Figura 18 - Célula de carga modelo TBSPL

Módulo de emissão acústica composta por um sensor de emissão acústica (piezoelétrico) e um amplificador de sinal com saída retificada em RMS, marca PHYSICAL ACOUSTICS CORPORATION, modelo do sensor R15A, modelo do amplificador de sinal 1272-1000. A Tabela 10 apresenta algumas características técnicas do módulo de emissão acústica. Figura 19 mostra o módulo de emissão acústica utilizado no experimento.

Tabela 10 - Características técnicas do módulo de emissão acústica

Características técnicas do amplificador

Dimensões do amplificador	190,5 x 63,5 x 35 mm
Tensão de alimentação	28 VCC
Corrente de saída	4 – 20 mA
Faixa de constante disponível RMS	50 – 500 mS
Faixa de constante selecionada RMS	50 mS
Faixa de ganho disponível	0 – 40 dB
Faixa de ganho selecionada	40 dB
Material do invólucro do sensor	Aço inox

Grau de proteção	IP 54
Frequência do sensor R15A	150 kHz
Faixa de temperatura nominal	0 até +50 °C



Figura 19 - Módulo de emissão acústica, sensor (1) (2) e amplificador (3)

Transdutor de corrente alternada monofásica para captação da potência consumida do motor durante o lixamento, marca WARD modelo TRX-I/U. A Tabela 11 apresenta algumas características técnicas do transdutor de corrente alternada. Figura 20 mostra o transdutor de corrente.

Tabela 11 - Características técnicas do transdutor de corrente TRX-I/U

Características técnicas	
Dimensões	45 x 75 x 110 mm
Tensão de alimentação	24 VCC
Corrente de saída	0 – 20 mA
Tensão de saída	0 – 10VCC
Frequência nominal	50 – 60 Hz

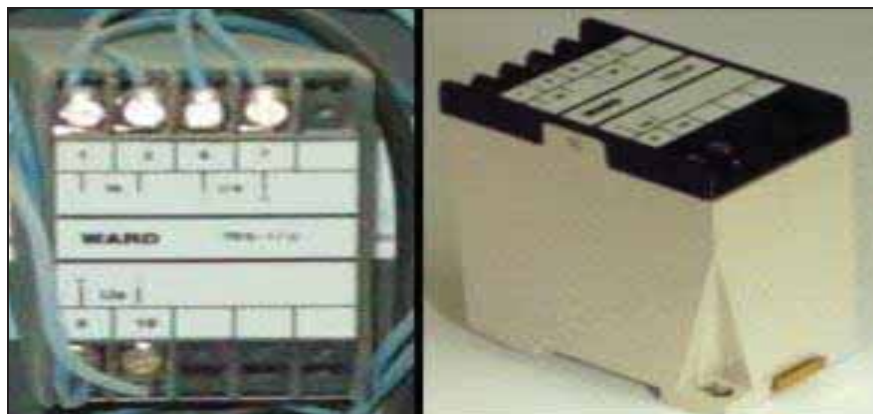


Figura 20 - Transdutor de corrente modelo TRX-I/U

Amplificador da célula de carga tem a função de receber o sinal elétrico da célula de carga e amplificá-lo para um valor em voltagem proporcional a deformação da célula, marca BITEC, modelo TCA500. A Tabela 12 apresenta as características técnicas do amplificador da célula. Figura 21 mostra o amplificador da célula de carga.

Tabela 12 - Características técnicas do amplificador TCA500

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



Figura 21 - Amplificador da célula de carga TCA500

Bloco de conectores e cabo de ligação placa/bloco de conectores, marca National Instruments, modelo do bloco de conectores NI BNC 2120 e modelo do cabo SHC68-EPM (2m)

192061-02. A função do bloco de conectores é realizar a interface entre os sinais analógicos (enviados pelos sensores descritos acima) e digitais do banco de ensaio e enviá-los para uma placa de aquisição de dados.

3.15 Rugosidade superficial

Para medição da rugosidade utilizou-se um rugosímetro da marca TAYLOR HOBSON, modelo Surtrosonic 25+, de haste de medição com ponta apalpadora cone-esférico de diamante, raio de ponta de 2 μm (Figura 22).



Figura 22 - Rugosímetro da marca TAYLOR HOBSON

3.16 Aquisição dos dados do processo de lixamento

Utilizou-se uma placa de aquisição de dados, marca National Instruments, modelo NI PCI 6220. A placa de aquisição de dados tem a função de receber os sinais analógicos dos sensores e transformá-los em sinais digitais para ser interpretado pelo *software* no microcomputador. O software utilizado para captação dos dados adquiridos pelos sensores foi feito no programa LabView[®] 7.1 da National Instruments, onde foi elaborado um programa para adquirir os dados com uma taxa de aquisição de 400 pontos por segundo. A Figura 23 mostra a tela do programa de aquisição feito no software LabView[®] 7.1.



Figura 23 - Programa de aquisição feito no software LabView® 7.1.

Além dos componentes citados acima, o sistema de monitoramento e aquisição de dados possui um micro computador para processamento e armazenamento dos dados, uma fonte variável 0 - 30 VCC, com três saídas independentes da marca MINIPA, modelo MPL3303 para alimentação dos módulos de vibração e emissão acústica, e um painel elétrico para acionamento da lixadeira e controle do sistema de aquisição, onde nesse painel existe um inversor de frequência da marca WEG® modelo μ line com tensão de alimentação de 380 V e 3A, para o controle da velocidade da lixadeira, além disso, o painel possui uma fonte de alimentação da marca Siemens com entrada 110-220 VAC com saída de 24 VCC para alimentação do amplificador da célula de carga e do transdutor de corrente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Ensaios físicos

Foram realizados quatro ensaios físicos: densidade, umidade, absorção de água e inchamento de aglomerado, seguindo os procedimentos propostos pela norma brasileira ABNT/NBR 14.810.

4.1.1 Massa específica

Na tabela 13 é possível observar os valores médios obtidos para massa específica e o desvio padrão.

Na produção das chapas de partículas de bambu foram produzidas chapas de alta densidade, as chapas tiveram aproximadamente $1,00 \text{ g/cm}^3$, os resultados obtidos entre elas estiveram entre $0,98 \text{ g/cm}^3$ e $1,03 \text{ g/cm}^3$ são satisfatórios.

Tabela 13 - Dimensões dos corpos-de-prova, densidade

DENSIDADE						
Qntd. De Adesivo	C[mm]	L[mm]	Média E[mm]	M[g]	D[kg/m³]	Desvio Padrão
8%	50,67	50,69	13,5	34,95	1,01	0,03
10%	50,73	50,86	13,22	33,26	0,98	0,07
12%	50,67	50,67	13,54	35,73	1,03	0,06
15%	50,64	50,64	13,38	34,58	1,01	0,03

4.1.2 Umidade específica

Os valores médios encontrados para umidade específica e desvio padrão estão dispostos na Tabela 14.

Tabela 14 - Dimensões dos corpos-de-prova, umidade

UMIDADE				
Qntd. de Adesivo	M[u]	M[s]	U [%]	Desvio Padrão
8%	34,75	32,65	6,43	0,34
10%	33,07	31,13	6,25	0,45
12%	36,13	34,12	5,92	1,10
15%	34,38	32,22	6,70	0,69

Comparando os valores de umidade encontrados neste trabalho com os valores recomendados pela NBR 14.810-3 entre 5 e 11%, observa-se que todos os traços satisfazem as recomendações desta norma. O traço de 15% obteve o maior teor de umidade, de 6,70% e o traço 12% obteve o menor teor, 5,92%, porém todos os resultados estão bem próximos, com variação máxima inferior a 1% de umidade.

4.1.3 Inchamento e absorção de água

Os dados obtidos nos ensaios de inchamento em espessura e absorção de água foram anotados e seus respectivos valores de média estão descritos na tabela 15 e 16, respectivamente.

Tabela 15 - Dimensões dos corpos-de-prova, inchamento em espessura

INCHAMENTO EM ESPESSURA (2 e 24 horas)							
Adesivo	Espessura	E - 2h	E - 24h	Inchamento - 2h [%]	Desvio Padrão	Inchamento 24h [%]	Desvio Padrão
8%	13,68	15,7	16,65	14,76	1,93	21,73	2,67
10%	13,27	14,85	15,83	11,96	1,77	19,36	2,71
12%	13,65	14,3	14,85	4,72	1,84	8,81	1,60
15%	13,06	13,7	14,32	4,85	3,16	9,68	3,83

Tabela 16 - Dimensões dos corpos-de-prova, absorção de água

ABSORÇÃO DE ÁGUA (2 e 24 horas)							
Adesivo	Peso (g)	P - 2 horas	P - 24 horas	Absorção 2h [%]	Desvio Padrão	Absorção 24h [%]	Desvio Padrão
8%	8,89	10,84	11,91	17,86	2,43	34	4,98
10%	8,45	10,22	11,01	17,43	5,69	30,62	5,58
12%	9,16	10,08	10,88	9,06	2,46	18,75	2,38
15%	8,8	9,44	10,36	6,66	5,43	18,11	9,76

Os resultados dos ensaios de inchamento e espessura para os períodos de 2 e 24h, estão apresentados na Tabela 15. De acordo com a NBR 14.810-3 o valor máximo após 2h de exposição em água é de 8% e os valores indicados nos traços de 8% e 10% não contemplam o que recomenda a norma.

Nos ensaios de absorção de água após 2h de exposição em água, os resultados obtidos foram em geral maiores comparados com a pesquisa de BARBOSA (2006). As chapas

particuladas obtiveram valores muito próximos de absorção de água (2 horas). Para o período de exposição de 24h em água, a variação dos resultados foi ainda menor.

4.1.4 Resumo das médias dos ensaios físicos

A Tabela 17 apresenta um resumo dos resultados médios para os ensaios de densidade, umidade, absorção de água e inchamento. Os resultados foram comparados com as recomendações da norma 14.810.

Tabela 17 - Resumo das médias dos Ensaios Físicos

Traços [%]	Densidade [g/cm ³]	Umidade [%]	Absorção de Água [%]		Inchamento em espessura [%]	
			2 horas	24 horas	2 horas	24 horas
8	1,01	6,43	17,86	34,00	14,76	21,73
10	0,98	6,25	17,43	30,62	11,96	19,36
12	1,03	5,92	9,06	18,75	4,72	8,81
15	1,01	6,70	6,66	18,11	4,85	9,68

4.2 Ensaios mecânicos

Para a caracterização mecânica foram realizados os testes de Ensaio de resistência à tração paralela às faces, tração perpendicular às faces e flexão estática (Módulo de elasticidade e módulo de ruptura). Os valores dos ensaios mecânicos encontram-se no Apêndice A.

4.2.1 Ensaio de Resistência à Tração Paralela às Faces

O teste de resistência à paralela às faces foi realizado com base na NBR 14.810.

Os dados obtidos no ensaio foram anotados e seus respectivos valores de média são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 - Resultados do ensaio de tração paralela às faces
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PARALELA ÀS FACES

Adesivo	Espessura [mm]	Largura [mm]	Seção [cm ²]	Força Ruptura [kgf]	Resist. Tração Par. [kgf/cm ²]	Desvio Padrão
8%	13,6	50,9	6,9227	691,864	100,271	14,60
10%	13,15	50,93	6,6978	824,272	123,106	17,98
12%	13,46	50,73	6,8281	882,248	130,311	16,27
15%	13,29	50,73	6,7419	884,13	131,806	32,03

Os melhores resultados obtidos foram os traços de 12% e 15%, cujos valores foram respectivamente de 130,311 e 131,806 kgf/cm². O traço de 8% de adesivo apresentou o menor resultado, que foi de 100,271 kgf/cm². Nota-se que quanto maior a quantidade de adesivo contido na chapa de partículas, maior a resistência à tração paralela à superfície.

A norma ABNT NBR 14810 não apresenta valores mínimos para este ensaio, mas Nascimento (2003) produziu chapas aglomeradas de partículas utilizando a mesma porcentagem e tipo de adesivo deste trabalho. As chapas também foram produzidas com alta densidade (1,0 g/cm³), utilizando em sua confecção madeiras do nordeste brasileiro, obtendo os seguintes valores de tração paralela: Algaroba (TP = 10,90 MPa), Angico (TP = 12,00MPa) e Jurema-preta (TP = 12,10MPa). Neste trabalho, os resultados para tração paralela às faces, em MPa, foram: 8% = 9,83, 10% = 12,07, 12% = 12,78 e 15% = 12,92.

4.2.2 Ensaio de resistência à tração perpendicular às faces

O teste de resistência à tração perpendicular às faces foi realizado com base na NBR 14.810-3. Os dados obtidos no ensaio foram anotados e seus respectivos valores de média são apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 - Resultados do ensaio de tração perpendicular às faces
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PERPENDICULAR ÀS FACES

Quantidade de Adesivo	Largura [mm]	Comp [mm]	S [mm²]	P [N]	Tração Perpend. [MPa]	Desvio Padrão
8%	50,67	50,69	2568,62	2304,42	0,90	0,32
10%	50,73	50,86	2580,14	2100,95	0,82	0,38
12%	50,67	50,67	2568,44	2596,58	1,01	0,24
15%	50,64	50,64	2564,77	2384,99	0,93	0,43

De acordo com a NBR 14.810-3, o valor mínimo para o teste de resistência à tração perpendicular às faces é de 0,40 MPa, sendo assim, todas as chapas particuladas de bambu satisfazem essa norma.

4.2.3 Ensaio de Flexão Estática

Pelos ensaios de flexão estática obteve-se o Módulo de elasticidade (MOE) e o módulo de ruptura (MOR). O módulo de elasticidade é um parâmetro que indica a rigidez de um material submetido a um determinado esforço, enquanto o módulo de ruptura é uma propriedade muito importante que determina a aplicabilidade da chapa de partículas para uso estrutural (PEIXOTO & BRITO, 2000).

São apresentados os dados de módulo de elasticidade e módulo de ruptura na Tabela 20.

4.2.3.1 Módulo de Elasticidade (MOE)

A NBR 14810 não indica valores mínimos para o módulo de elasticidade, porém, a norma americana CS 236-66 citado por Iwakiri (2005) apresenta como valor mínimo aceitável para o módulo de elasticidade em chapas de madeira aglomerada o valor de 24500 kgf/cm² (2402,63 MPa). Dessa forma, mesmo não sendo a norma de referência, pode-se utilizá-la como parâmetro de comparação e pode-se verificar que os traços ensaiados neste trabalho foram superiores a essa norma.

Segundo Nascimento (2003), as chapas de madeira aglomerada de *Pinus elliotti* apresentam valor médio de módulo de elasticidade de 3643 MPa. Já as chapas compostas de *Corumbiam citriodora* apresentam módulo de elasticidade médio de 3668 Mpa. Comparando-se esses resultados com os obtidos neste experimento, verificou-se mais uma vez que os traços alcançaram o valor apresentado nas chapas comerciais, menos a chapa particulada de bambu produzida com 8% de adesivo.

Dacosta (2005) observou ainda que os valores de MOR oscilaram entre 51,63 kgf/cm² e 99,16 kgf/cm², e os de MOE entre 1271 kgf/cm² e 5330 kgf/cm². Também foi constatado neste estudo da mesma forma que Albuquerque (2002) que os resíduos de serragem que passam pelo picador de partículas, proporcionam na estrutura final da chapa, vazios e rupturas. Isto pode explicar a diminuição na resistência mecânica das chapas aglomeradas produzidas com esse material.

O módulo de elasticidade da chapa particulada de bambu, ilustrado na Figura 24, apresentou variação de valores de 3566,71 a 4667,14 MPa.

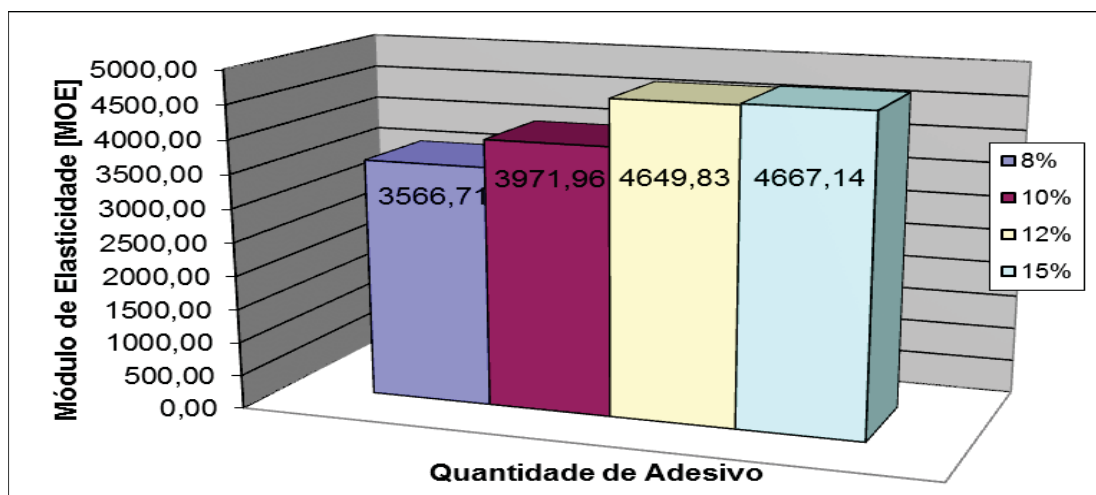


Figura 24 – Módulo de elasticidade (MOE)

4.2.3.2 Módulo de Ruptura (MOR)

Para o módulo de ruptura a NBR 14810-3, o valor recomendado para chapas de 8 a 13 milímetros de espessura, o valor mínimo para o MOR é de 18 Mpa. As chapas de partículas de bambu atenderam a norma, pois as espessuras ficaram na média de 13 milímetros e apresentaram uma variação de valores de 21,28 a 29,64 Mpa, ilustrado na Figura 25.

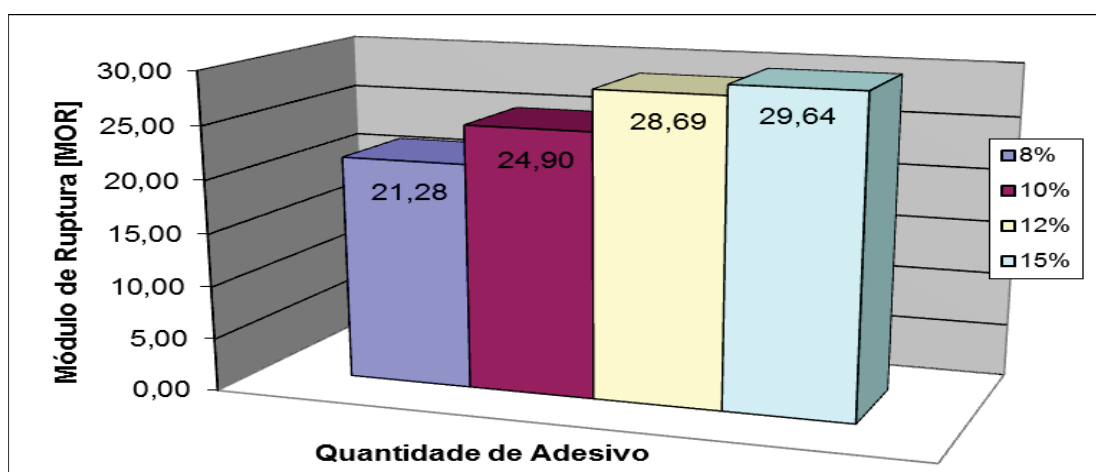


Figura 25 – Módulo de Ruptura (MOR)

Nascimento (2003) apresentou os valores de módulo de ruptura, em MPa, para as chapas de *Pinus elliotti* e *Carymbria citriodora*, madeiras utilizadas industrialmente em chapas de madeiras aglomeradas, e os valores encontrados foram de 24 e 23,4 MPa, respectivamente. Verifica-se que as chapas particuladas de bambu produzidas com 10, 12 e 15% de adesivo, neste trabalho, obtiveram resultados superiores aos de Nascimento (2003), apenas a chapa particulada com 8% de adesivo apresentou resultado inferior.

Na Tabela 20, encontram-se os módulos de ruptura e elasticidade da chapa particulada de bambu com 8, 10, 12 e 15% de adesivo uréia-formaldeído.

Tabela 20 - Resultados de MOR e MOE

FLEXÃO ESTÁTICA							
Adesivo	Largura	Espessura	Seção	MOR	Desvio Padrão	MOE	Desvio Padrão
.	[mm]	[mm]	[cm²]	MPa	MOR	Mpa	MOE
8%	50,94	13,51	6,88	21,28	2,91	3566,71	495,42
10%	50,84	13,16	6,69	24,90	3,40	3971,96	607,36
12%	50,71	13,36	6,77	28,69	1,67	4649,83	213,45
15%	50,60	13,51	6,84	29,64	2,68	4667,14	447,46

4.3 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. Separadas em tabelas e gráficos de acordo com os conjuntos de lixas usados de granulometrias: P80, P100 e P120. E a na segunda parte, foi feita a análise dos resultados dos conjuntos de lixas, fazendo-se uma análise geral de médias com a ferramenta estatística de Análise de Variância (ANOVA) do software Microsoft Excel 2010, e feito também o teste de Tukey utilizando-se o software 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 se tinham influência significativa no processo de lixamento plano.

4.3.1 Potência consumida

Os valores de potência consumida no ensaio de lixamento das chapas particuladas de bambu encontram-se no Apêndice B.

Para análise da potência consumida no lixamento, foi utilizado apenas um tipo de granulometria de lixa (P80) e quatro tipos de chapas de partículas de bambu, tendo entre elas como única diferença: a quantidade de adesivo presente na chapa (8, 10, 12 e 15%). Neste ensaio, as velocidades de corte e de avanço foram constantes.

A Tabela 21 apresenta os valores médios de potência consumida em Watts (W) e o desvio padrão dos resultados.

Tabela 21 – Valores das médias de potência consumida para o conjunto de lixa P80

Lixa		8%	10%	12%	15%
80	Média (W)	851,17	851,17	854,38	845,68
	Desvio Padrão	5,367	5,367	2,489	8,425

Observou-se que, no lixamento, há uma variação no consumo de potência quando a quantidade de adesivo presente na chapa particulada é diferente. A chapa particulada contendo 12% de adesivo foi a que apresentou maior consumo de potência com 854,38 watts.

Na Tabela 22 são apresentados os valores obtidos para consumo de potência e desvio padrão para a lixa P100, no ensaio de lixamento plano, utilizando o corpo de prova feito com chapa de partículas de bambu com variações de adesivo na composição da chapa.

Tabela 22 - Valores das médias de potência consumida para o conjunto de lixa P100

Lixa		8%	10%	12%	15%
100	Média (W)	737,65	746,86	746,73	753,78
	Desvio Padrão	5,44	15,05	26,21	28,16

A potência consumida no lixamento foi crescente de acordo com a maior presença de adesivo na chapa partícula de bambu. A chapa particulada contendo 15% de adesivo foi a que apresentou maior consumo de potência com 753,78, watts.

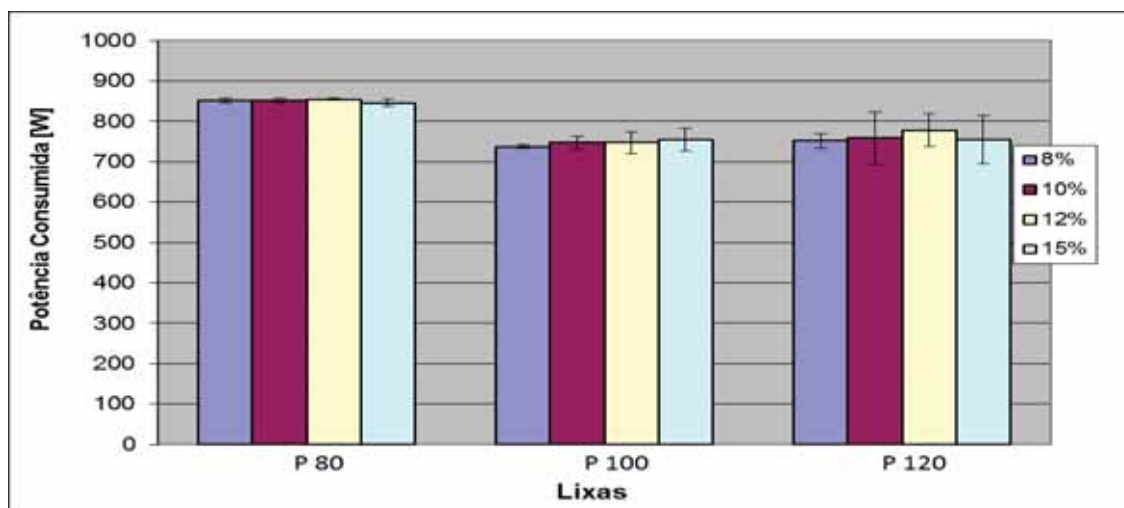
A Tabela 23 mostra valores médios obtidos do consumo de potência no lixamento plano das chapas particuladas de bambu utilizando a lixa P120, considerados grãos menores.

Tabela 23 - Valores das médias de potência consumida para o conjunto de lixa P120

Lixa		8%	10%	12%	15%
120	Média (W)	751,50	758,77	777,76	754,64
	DP	18,51	65,52	40,48	59,40

O maior valor de potência consumida se deu novamente para o traço de 12%. Nota-se que o traço de 15% teve um alto consumo. Para materiais mais densos, o abrasivo encontra maior “resistência” de usinagem, obtendo-se maior consumo de potência.

A Figura 26 mostra os resultados das lixas em um gráfico somente, para uma melhor visualização do consumo de potência. O traço que apresentou o maior consumo de potência foi o de 15% com a lixa P120.

**Figura 26 – Resultados das lixas P80, P100 e P120.**

Para avaliar o consumo de potência de cada lixa, foi feito, separadamente, uma média de todos os resultados obtidos para avaliar qual lixa apresentou maior consumo. A Tabela 24 mostra os resultados de potência consumida para o fator conjunto de lixas, juntamente com o teste Tukey ($\alpha=0,05$).

Tabela 24 - Valores médios de potência para o fator granulometria das lixas
Fator: Granulometria das Lixas

	P80	P100	P120
Média [W]	850,601	746,257	760,665
DP	5,412	18,717	45,979
CV [%}	0,006	0,025	0,060

A Figura 27 mostra as médias que foram calculadas a partir do resultado feito no ensaio de lixamento, onde foi avaliada somente a potência consumida do fator granulometria das lixas.

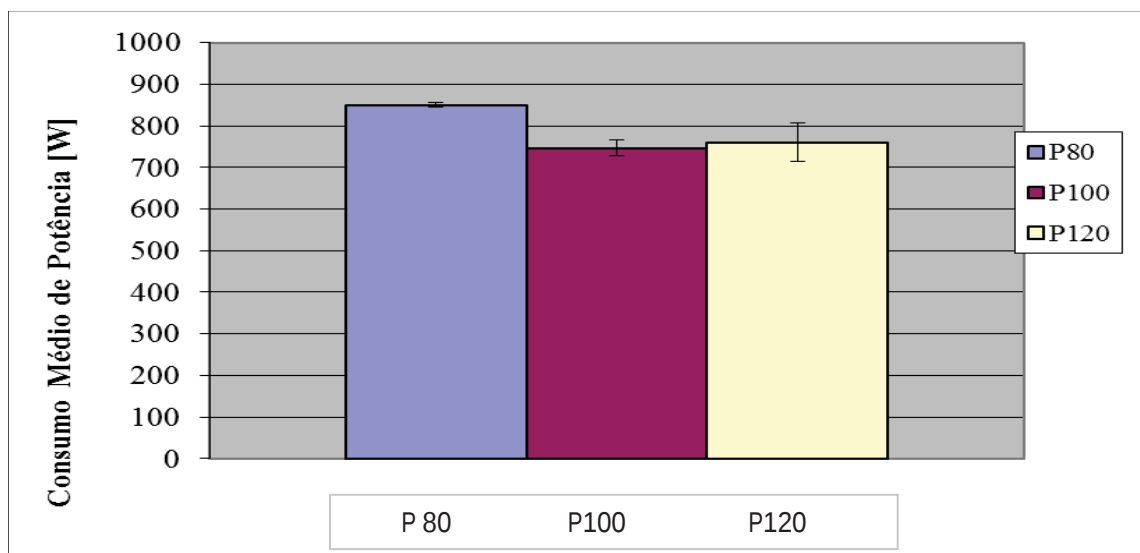


Figura 27 - Granulometria das lixas: P80, P100 e P120

Observou-se que a lixa que mais consumiu potência foi a P80. O mesmo aconteceu nos resultados de Samolej (2006) com lixamento plano paralelo às fibras. Isso se deve ao fato da área de contato entre a lixa e a amostra ser maior. Afinal, quanto menor o tamanho dos grãos, maior a área de contato entre eles e a lixa. Na análise de variância percebe-se que as médias das lixas P80, P100 e P120 não diferem estatisticamente, apenas a lixa P100 apresentou pequena diferença na média de consumo de potência entre os analisados. Em relação à variação da quantidade de adesivo contida na chapa particulada o resultado da análise de variância mostra que não há influencia significativa na potência consumida. Na Tabela 25 está o resultado da análise de variância da potência consumida avaliando a quantidade de adesivo presente na chapa particulada de bambu.

Tabela 25 - Análise de Variância para as médias de Potência
ANOVA

Potência Consumida		SQ	Gl	SQM	Valor F	Sig.
Adesivo 8%	Entre grupos	1,167	2	0,583	73,584	p>0,05
Adesivo 10%	Entre grupos	1,259	2	0,63	16,493	p>0,05
Adesivo 12%	Entre grupos	0,958	2	0,479	28,341	p>0,05
Adesivo 15%	Entre grupos	1,159	2	0,58	30,737	P>0,05

Na Tabela 26 está o resultado da análise de variância da potência consumida avaliando o fator granulometria da lixa. Observando o nível de significância, nota-se que as lixas utilizadas não influenciaram significativamente.

Tabela 26 - Análise de Variância da potência consumida: Fator granulometria da lixa

ANOVA					
	SQ	GL	SQM	Valor F	Sig.
Lixa P80	0,006	3	0,002	2,324	p>0,05
Lixa P100	0,022	3	0,007	0,605	p>0,05
Lixa P120	0,069	3	0,023	0,34	p>0,05

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

4.3.2 Rugosidade

Para os resultados de medição de rugosidade Ra, foram coletados 6 valores das amostras para cada repetição (ao todo foram 6 repetições). Das 12 combinações possíveis de lixamento, fez-se 432 medições e uma média. Os números podem ser encontrados no Apêndice B.

A média dos valores do ensaio de lixamento utilizando a lixa de granulometria P80 é apresentada na Tabela 27.

Tabela 27 - Valores das médias de rugosidade Ra da lixa P80

		Porcentagem de Adesivo			
Lixa		8%	10%	12%	15%
80	Média [µm]	16,27	13,43	12,25	11,49
	Desvio padrão	2,749	2,63	2,24	1,71

A Tabela 28 apresenta os valores médios do ensaio de lixamento utilizando a lixa P100, tendo como corpo de prova a chapa particulada de bambu com diferentes quantidades de adesivo na sua composição.

Tabela 28 – Valores das médias de rugosidade Ra da lixa P100

		Porcentagem de Adesivo			
Lixa		8%	10%	12%	15%
100	Média [μm]	10,93	11,27	9,69	9,84
	Desvio padrão	2,814	1,62	1,47	1,15

A Tabela 29 mostra os valores da rugosidade obtidos no lixamento utilizando a lixa P100, tendo como corpo de prova a chapa particulada de bambu com diferentes quantidades de adesivo na sua composição. Nota-se que o traço com 8% de adesivo apresentou maior rugosidade. Porém os traços com maior quantidade de adesivo tiveram resultados próximos.

Tabela 29 – Valores de rugosidade obtida no lixamento utilizando a lixa P120

		Porcentagem de Adesivo			
Lixa		8%	10%	12%	15%
120	Média [μm]	10,08	8,66	7,31	8,18
	Desvio padrão	1,890	1,99	1,71	1,28

A Figura 36 mostra os menores valores e, conseqüentemente, o melhor acabamento para os traços com maior quantidade de adesivo. Neste caso os traços de 12% e 15% apresentaram melhor rugosidade. Ou seja, apresentaram as menores rugosidades.

Pode-se ter uma visão geral com a Figura 28, onde a redução da granulometria da lixa resultou em uma rugosidade maior. Em relação à porcentagem de adesivo, percebe-se que quanto maior a quantidade de adesivo menor a rugosidade.

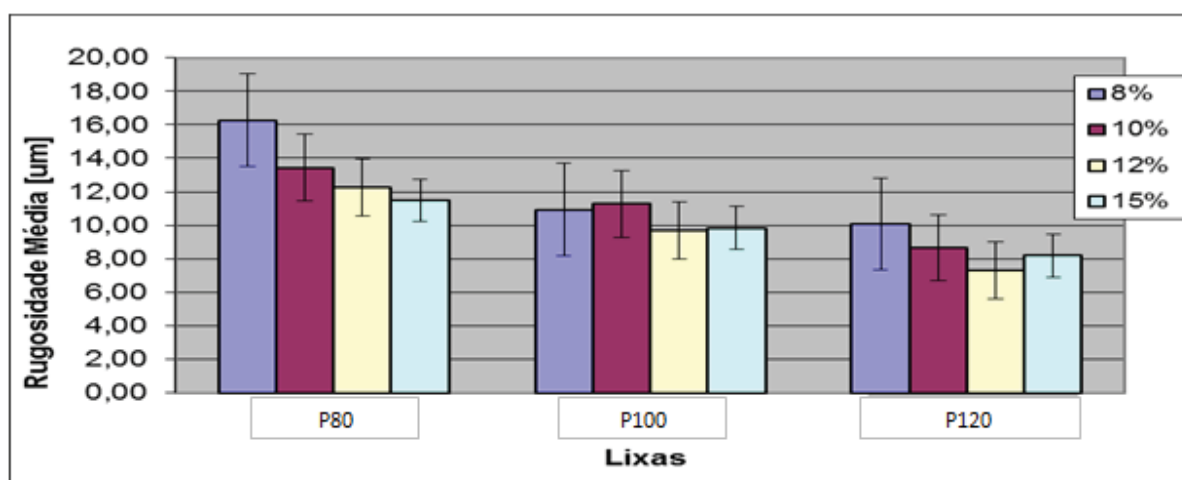


Figura 28 - Resultados das lixas P80, P100 e P120.

O fato das lixas com tamanhos de grãos maiores provocarem uma rugosidade média “Ra” maior é consequência dos grãos provocarem uma usinagem mais profunda na madeira devido ao seu maior tamanho. Já os grãos menores fazem o “polimento” na madeira.

Na análise separada por fatores, pode-se perceber que na Tabela 30 e Figura 29 houve um valor menor de rugosidade para a lixa P120 e um valor maior para a lixa P80. Varasquim (2009) com o mesmo processo de lixamento plano, utilizando 3 tipos de lixas (P80, P100 e P120) obteve uma diferença de qualidade do acabamento superficial entre as granulometrias. Pelo teste de Tukey, todos os valores médios obtidos neste trabalho se mostraram diferentes estatisticamente.

Tabela 30 – Valores médios de rugosidade para o fator granulometria das lixas
Fator: Granulometria das Lixas

	P80	P100	P120
Média [μm]	13,36	10,43	8,56
DP	2,33	1,76	1,72
CV [%]	17,46	16,89	20,08

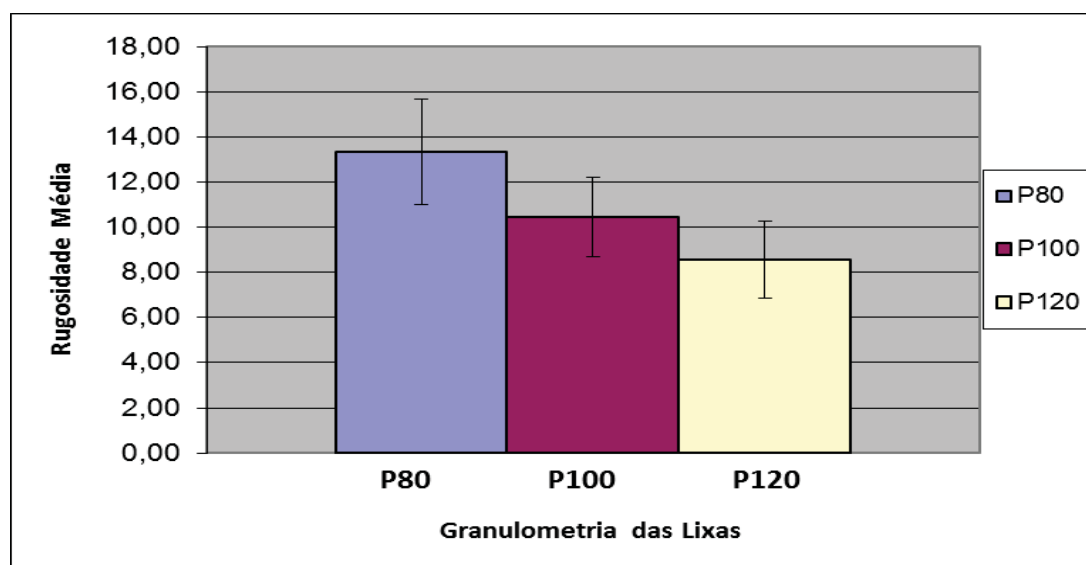


Figura 29 – Rugosidade obtida no conjunto de lixas: P80, P100 e P120.

No estudo de Burdulu et al. (2005) e Kilic et al. (2006), avaliou-se o efeito de diferentes grãos de lixas na rugosidade da superfície de madeiras obtidas de *Populus nigra* e *Pinus nigrum*.

Foi avaliado somente o efeito da preparação da superfície. Com isso, os autores perceberam que houve uma diferença significativa para a rugosidade entre as diferentes lixas usadas.

Para análise da variância na Tabela 31, houve influência significativa na rugosidade superficial apenas as chapas particuladas de bambu com 10 e 12% de adesivo utilizado em sua composição.

Tabela 31 - Análise de Variância para as médias de rugosidade

		ANOVA				
Rugosidade Superficial		SQ	Gl	SQM	Valor F	Sig.
Adesivo 8%	Entre grupos	126,392	2	63,196	17,044	p>0,05
Adesivo 10%	Entre grupos	78,177	2	39,088	9,751	0,002
Adesivo 12%	Entre grupos	86,669	2	43,334	13,14	0,001
Adesivo 15%	Entre grupos	40,135	2	20,067	2,827	p>0,05

Na Tabela 32 está o resultado da análise de variância da rugosidade, avaliando o fator granulometria da lixa. Observando o nível de significância, nota-se que as lixas utilizadas não tiveram influência significativa para a rugosidade.

Tabela 32 - Análise de variância da rugosidade: Fator granulometria da lixa

ANOVA					
Lixas	SQ	Gl	SQM	Valor F	Sig.
Lixa P80	79,072	3	26,357	8,513	p>0,05
Lixa P100	11,045	3	3,682	1,239	p>0,05
Lixa P120	24,144	3	8,048	1,115	p>0,05

4.3.3 Emissão acústica

Para análise de emissão acústica, coletaram-se os 10 maiores valores, em Volts, do tratamento de dados nos ensaios e fez-se uma média. Os resultados podem ser vistos no Apêndice B. A Tabela 33 mostra esses valores obtidos no lixamento utilizando a lixa P80.

Tabela 33 - Valores de Emissão Acústica utilizando a lixa P80

		Porcentagem de Adesivo			
Lixa		8%	10%	12%	15%
80	Média [V]	5,94	5,56	5,79	4,31
	Desvio Padrão	0,95	0,65	0,79	0,67

Nota-se que o menor valor de emissão acústica ocorreu para o traço com maior quantidade de adesivo, 15%, na composição da chapa particulada de bambu.

A Tabela 34 mostra os valores de emissão acústica, em Volts, obtidos no lixamento plano da chapa particulada de bambu utilizando a lixa P100.

Tabela 34 - Emissão Acústica obtida no lixamento plano utilizando a lixa P100

		Porcentagem de Adesivo			
Lixa		8%	10%	12%	15%
100	Média [V]	4,79	5,59	6,28	5,18
	Desvio Padrão	1,33	1,12	1,81	1,92

Nota-se que quanto maior a quantidade de adesivo contido na chapa, maior os valores de emissão acústica. O traço que apresentou maior valor de emissão acústica foi o de 12%. Isso pode ter ocorrido devido maior concentração de adesivo na composição da chapa particulada de bambu.

Os valores médios, em Volts, obtidos no ensaio de lixamento plano da chapa particulada de bambu utilizando a lixa P120 são mostrados na Tabela 35.

Tabela 35 - Médias de emissão acústica obtidas no lixamento utilizando a lixa P120

		Porcentagem de Adesivo			
Lixa		8%	10%	12%	15%
120	Média [V]	7,42	6,36	7,87	5,82
	Desvio Padrão	2,44	1,59	2,39	1,72

Nota-se que houve uma variação utilizando a lixa P120 no lixamento plano da chapa particulada de bambu. Os valores não seguiram uma ordem específica e o traço de 12% foi o que obteve maior valor obtido.

Pode-se ter uma visão geral com a Figura 30, na qual o aumento da granulometria resultou em uma emissão acústica maior. Em relação à porcentagem de adesivo, percebeu-se que quanto maior a quantidade de adesivo maior a emissão acústica.

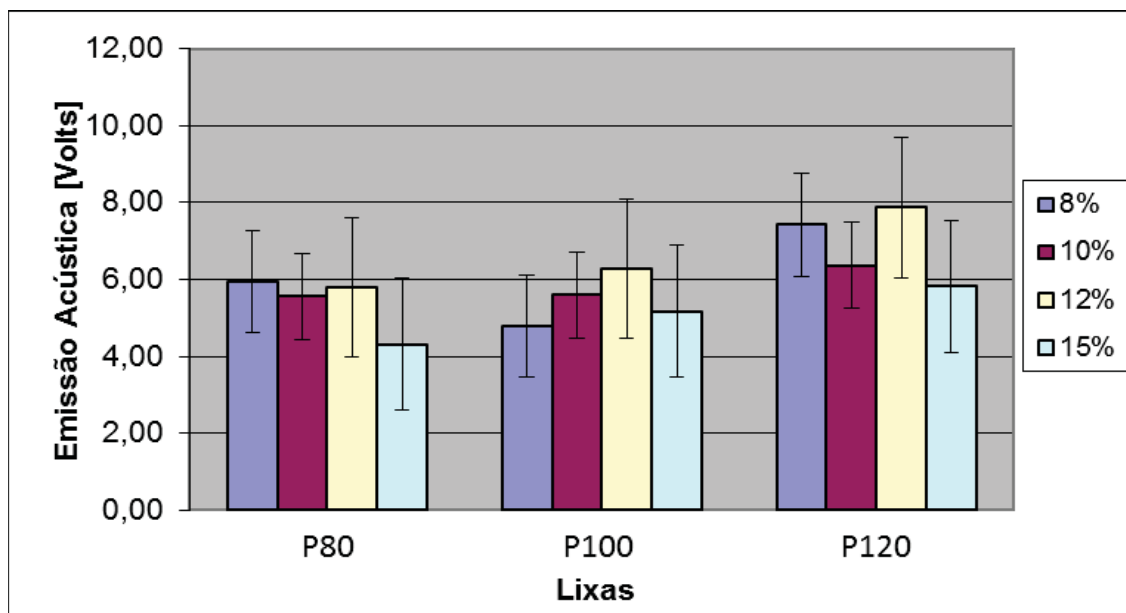


Figura 30 – Resultados de emissão acústica das lixas P80, P100 e P120.

A Tabela 36 mostra os valores médios de emissão acústica, em Volts, desvio padrão amostral e coeficiente de variação para os diferentes tipos de granulometria das lixas utilizadas.

Tabela 36 – Valores médios de emissão acústica para o fator granulometria das lixas
Fator: Granulometria das Lixas

	P80	P100	P120
Média [Volts]	5,4	5,46	6,8675
DP	0,765	1,545	2,035
CV [%]	0,1416	0,2829	0,2963

A Figura 31 mostra em um gráfico os valores médios obtidos no ensaio de emissão acústica no lixamento plano. Percebe-se que a lixa que mostrou menores valores de emissão acústica foi a P80. As lixas P80 e P100 tiveram os resultados equivalentes. Enquanto isso, a P120 apresentou os maiores valores. Pelo teste Tukey, o resultado médio obtido para a lixa P80 e P100 é equivalente. A lixa P120 se mostrou diferente estatisticamente.

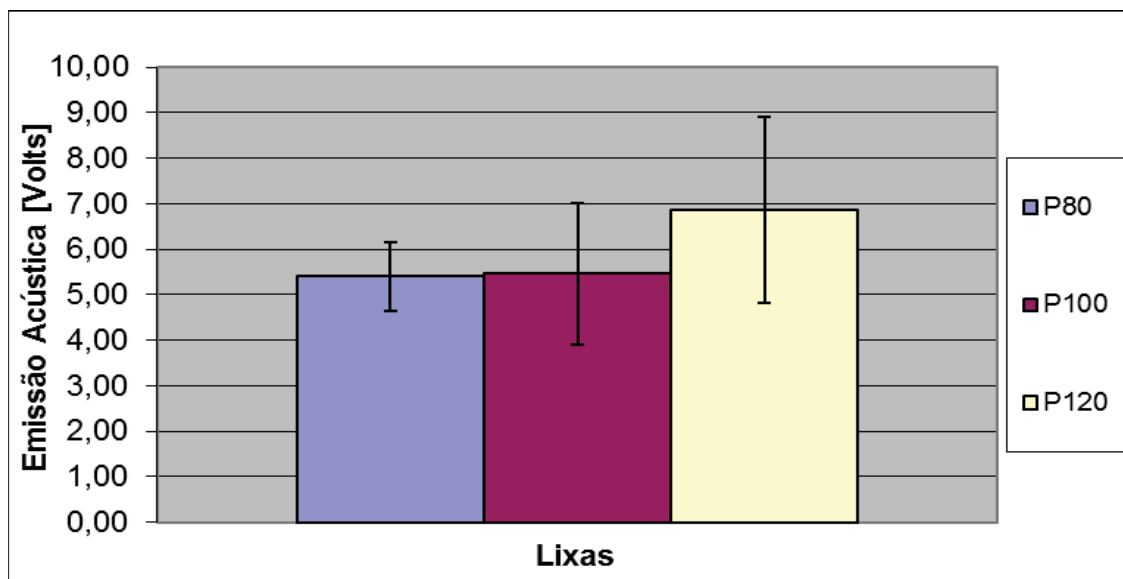


Figura 31 – Emissão acústica das lixas P80, P100 e P120.

Para avaliar o desempenho de cada traço no ensaio de emissão acústica, foi elaborada uma tabela com as médias de cada traço, isolando a granulometria das lixas na Tabela 37.

Tabela 37 – Valores médios de emissão acústica para o fator: Traços de Adesivos

Fator: Traços de Adesivo				
	8%	10%	12%	15%
Média [Volts]	4,935	4,838	4,480	4,635
DP	0,780	0,884	0,707	0,551
CV [%]	0,158	0,183	0,158	0,119

Na Tabela 38 foram apresentados os resultados médios da análise da variância de emissão acústica avaliando o fator granulometria da lixa. Observando o nível de significância, nota-se que os traços utilizados não tiveram influência significativa para a emissão acústica.

Tabela 38 - Análise de Variância para as médias de emissão acústica: Fator Adesivo
ANOVA

Emissão Acústica		SQ	GL	SQM	Valor F	Sig.
Adesivo 8%	Entre grupos	20,88	2	10,44	3,638	p>0,05
Adesivo 10%	Entre grupos	2,442	2	1,221	0,871	p>0,05
Adesivo 12%	Entre grupos	14,104	2	7,052	2,198	p>0,05
Adesivo 15%	Entre grupos	6,874	2	3,437	1,457	p>0,05

Na Tabela 39 está o resultado da análise de variância de emissão acústica avaliando o fator granulometria da lixa. Observando o nível de significância, nota-se que a única lixa que teve influência significativa foi a lixa P80. As outras lixas utilizadas não tiveram influência significativa para a emissão acústica.

Tabela 39 - Análise de variância da emissão acústica: Fator granulometria da lixa
ANOVA

	SQ	GL	SQM	Valor F	Sig.
Lixa P80	9,957	3	3,319	5,54	0,006
Lixa P100	7,28	3	2,427	0,975	p>0,05
Lixa P120	15,951	3	5,317	1,239	p>0,05

4.3.4 Vibração

Para análise de vibração, em mm/s, no lixamento plano da chapa particulada de bambu, coletaram-se os 10 maiores valores do tratamento de dados para cada ensaio. Na sequência, fez-se uma média entre os valores. Os dados da lixa P80 podem ser visto na Tabela 40.

Tabela 40 – Valores de Vibração para a lixa P80

		Porcentagem de Adesivo			
Lixa		8%	10%	12%	15%
80	Média	5,105	4,416	4,343	4,448
	Desvio Padrão	0,391	0,931	0,425	0,570

Observando os valores médios de vibração no lixamento plano da chapa particulada de bambu, nota-se que a o traço de 8% de adesivo contido na chapa, foi a que apresentou maior vibração.

A Tabela 41 mostra os valores médios de vibração, em mm/s, obtidos no lixamento plano da chapa particulada de bambu, utilizando a lixa P100.

Tabela 41 – Valores de Vibração no lixamento plano utilizando a lixa P100

		Porcentagem de Adesivo			
Lixa		8%	10%	12%	15%
100	Média	4,937	5,063	4,496	4,975
	Desvio Padrão	0,475	0,996	0,582	0,442

Desta vez, o maior valor obtido foi o traço de 10%. Nota-se que o traço de 8% obteve alto valor novamente. Os traços com maior quantidade de adesivo se mantiveram com os resultados menores.

A Tabela 42 mostra os valores médios de vibração, em mm/s, obtidos no lixamento plano da chapa particulada de bambu, utilizando a lixa P120.

Tabela 42 – Valores de Vibração no lixamento plano utilizando a lixa P120

		Porcentagem de Adesivo			
Lixa		8%	10%	12%	15%
120	Média	4,762	5,034	4,602	4,481
	Desvio Padrão	1,474	0,724	1,113	0,640

Percebe-se que os resultados da lixa P120 obedeceram à mesma ordem da lixa P100. Novamente o traço de 10% obteve o maior valor e os traços com maior quantidade de adesivo presente na chapa particulada de bambu, 12% e 15%, continuaram com os resultados menores.

A Figura 32 mostra o comportamento de todas as lixas. Pode-se perceber que a lixa que provocou maiores valores de vibração foi a lixa P120.

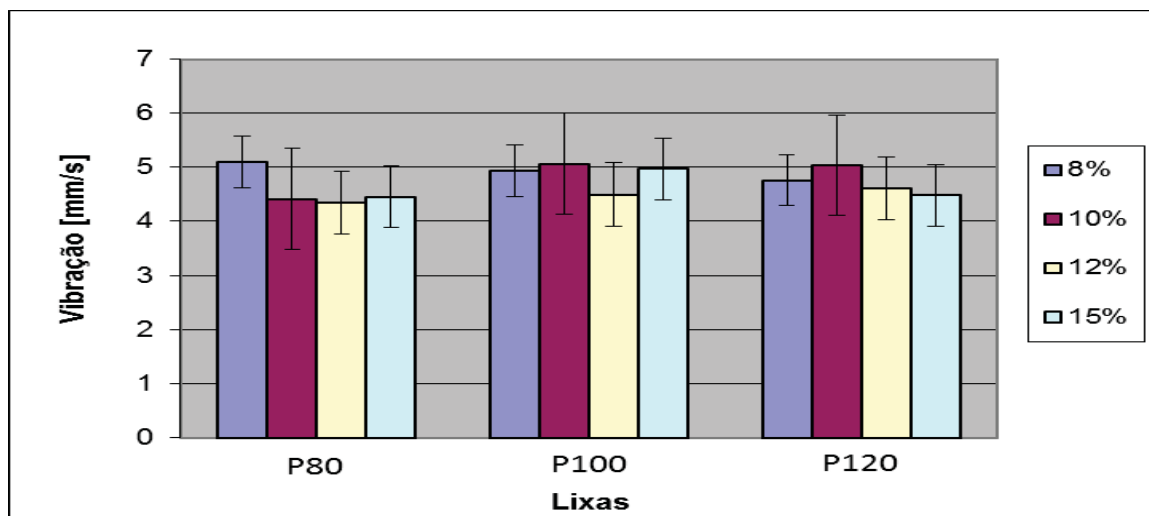


Figura 32 – Médias de todas as lixas na aquisição do sinal de vibração

Para análise da Variância, isolando-se as lixas, segue os valores médios na Tabela 43.

Tabela 43 – Valores médios de vibração para o fator granulometria das lixas
Fator: Granulometria das Lixas

	P80	P100	P120
Média [mm/s]	5,4	5,46	6,8675
DP	0,765	1,545	2,035
CV [%]	0,1416	0,2829	0,2963

Pode-se analisar na Figura 33 que a lixa que provocou menor valor médio de vibração foi a lixa P80. Isso acontece porque o abrasivo com grãos mais grossos tem menor área de contato, provocando menor vibração. Pelo teste Tukey, a lixa P120 teve média estatisticamente diferente das outras lixas, assim como o maior valor. Isso ocorre, pois, como a lixa possui grãos menores, forma-se uma maior área de contato entre as lixas e os corpos-de-prova. Logo, o maior desgaste de um abrasivo pode acarretar em uma maior vibração.

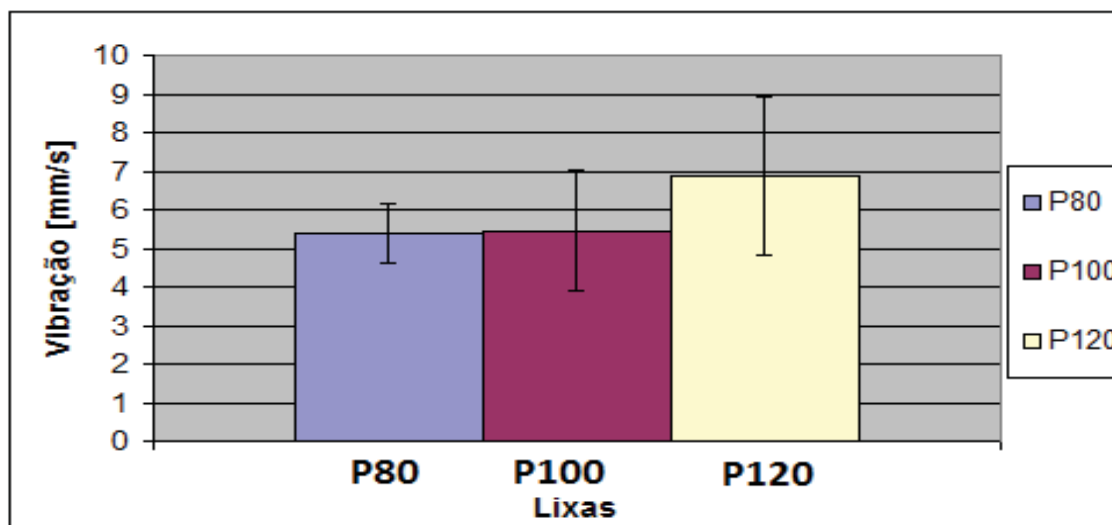


Figura 33 – Vibração para o fator granulometria das lixas

Para análise da variância na Tabela 44, temos que os resultados médios obtidos no lixamento plano da chapa particulada de bambu com diferentes quantidades de adesivo não tiveram influência significativa para a vibração.

Tabela 44 - Análise de Variância para as médias de Vibração
ANOVA

Vibração		SQ	GL	SQM	Valor F	Sig.
Adesivo 8%	Entre Grupos	0,353	2	0,177	0,208	p>0,05
Adesivo 10%	Entre Grupos	1,6	2	0,8	1,007	p>0,05
Adesivo 12%	Entre Grupos	0,203	2	0,101	0,173	p>0,05
Adesivo 15%	Entre Grupos	1,048	2	0,524	1,689	p>0,05

Na Tabela 45 está o resultado da análise de variância de vibração avaliando o fator granulometria da lixa. Observando o nível de significância, nota-se que as lixas utilizadas não tiveram influência significativa para vibração.

Tabela 45 - Análise de variância da vibração: Fator granulometria da lixa
ANOVA

	SQ	GL	SQM	Valor F	Sig.
Lixa P80	2,257	3	0,752	1,973	p>0,05
Lixa P100	1,156	3	0,385	0,879	p>0,05
Lixa P120	1,027	3	0,342	0,315	p>0,05

4.3.5 Força de lixamento

Os valores de força das amostras lixadas encontram-se no Apêndice B. A Tabela 46 apresenta os valores médios da força de lixamento (F_m), em Newtons, e o desvio padrão amostral utilizando a lixa P80.

Tabela 46 – Valores de força de lixamento para a lixa P80

		Porcentagem de Adesivo			
Lixa		8%	10%	12%	15%
80	Média [N]	2,689	2,721	2,695	2,796
	Des. Padrão	0,0159	0,0889	0,0264	0,1138

Nota-se que o maior valor no ensaio de força de corte obtido no lixamento plano de chapas particuladas de bambu foi o traço de 15% de adesivo presente em sua composição.

A Tabela 47 mostra os valores de força de lixamento, em Newtons, no lixamento plano das chapas partículas de bambu utilizando a lixa P100.

Tabela 47 – Valores de força de lixamento para a lixa P100

		Porcentagem de Adesivo			
Lixa		8%	10%	12%	15%
100	Média [N]	2,722	2,752	2,751	2,736
	Desvio Padrão	0,0098	0,0780	0,0478	0,0396

O traço de 10% e 12% de adesivo presente na chapa particulada de bambu obtiveram os maiores valores médio.

A Tabela 48 mostra os valores médios de força do lixamento, em Newtons, e o desvio padrão amostral, no lixamento plano da chapa particulada de bambu utilizando a lixa P120.

Tabela 48 – Valores de força de lixamento para a lixa P120

		Porcentagem de Adesivo			
Lixa		8%	10%	12%	15%
120	Média [N]	2,743	2,757	2,630	2,654
	Desvio Padrão	0,044	0,166	0,041	0,054

Observa-se que o maior valor médio obtido no lixamento plano da chapa particulada de bambu foi do traço que contém 10% de adesivo na sua composição.

Contudo, não houve uma grande diferença entre os valores com a variação da porcentagem de adesivo, mas é possível perceber que, quanto maior a quantidade de adesivo, maior é a força de corte resultante.

A Tabela 49 apresenta os valores médios da Força de lixamento, desvio padrão amostral e coeficiente de variação para cada granulometria da lixa.

Tabela 49 – Granulometria das lixas

	P80	P100	P120
Média [N]	2,725	2,740	2,696
DP	0,0612	0,0438	0,076
CV [%]	2,25	1,60	2,83

Pode-se analisar na Figura 34 que a lixa que provocou menor valor de força de lixamento foi a P120. Uma provável explicação da proximidade dos valores de força de lixamento é que a chapa particulada utilizada não exige grandes esforços para a remoção do material.

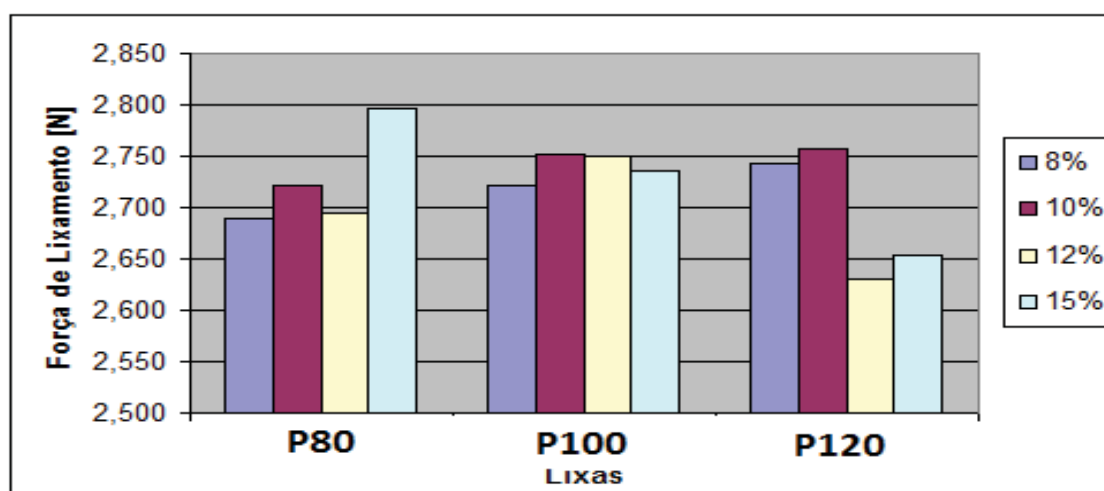


Figura 34 – Médias de todas as lixas na aquisição do sinal de força de lixamento

Para análise da variância na Tabela 50, tem-se que as chapas particuladas que utilizaram 8%, 10% e 15% de adesivo em sua composição tiveram influência significativa para a força de corte, enquanto a chapa particulada que utilizou 12% de adesivo não houve influência significativa.

Tabela 50 – Análise de Variância para as médias de Força
ANOVA

Força		SQ	GL	SQM	Valor F	Sig.
Adesivo 8%	Entre grupos	0,01	2	0,005	6,371	0,010
Adesivo 10%	Entre grupos	0,005	2	0,003	0,182	p>0,05
Adesivo 12%	Entre grupos	0,043	2	0,022	14,028	0,01
Adesivo 15%	Entre grupos	0,062	2	0,031	5,174	0,020

Na Tabela 51 está o resultado da análise de variância de força avaliando o fator granulometria da lixa. Observando o nível de significância, nota-se que as lixas utilizadas não tiveram influência significativa para a força.

Tabela 51 - Análise de variância da força: Fator granulometria da lixa
ANOVA

	SQ	GL	SQM	Valor F	Sig.
Lixa P80	0,044	3	0,015	2,622	p>0,05
Lixa P100	0,003	3	0,001	0,468	p>0,05
Lixa P120	0,075	3	0,025	2,91	p>0,05

5. CONCLUSÕES

Na avaliação física, os resultados das chapas particuladas de bambu com diferentes porcentagens de adesivo foram comparados com as recomendações da norma 14.810-2 (2006):

- A chapa particulada de bambu desenvolvida nesta pesquisa tiveram os resultados para densidade entre 0,98 g/cm³ e 1,03 g/cm³.
- Para a umidade específica, todos os traços estudados atenderam os requisitos mínimos estabelecidos na norma.
- Os resultados para absorção de água e inchamento em espessura atenderam a norma, apenas os com traços de 8 e 10%, no ensaio de inchamento em espessura, não satisfaz essa norma.

Na avaliação mecânica, as chapas particuladas atenderam as recomendações da NBR 14810-2 em todos os teores de adesivo.

- Para módulo de ruptura os valores recomendados são: chapas de 8 a 13 milímetros de espessura, é indicado que o valor mínimo para MOR seja de 18 Mpa. As chapas de partículas de bambu atenderam a norma, pois as espessuras ficaram na média de 13 milímetros e apresentaram uma variação de valores de 21,28 a 29,64 Mpa.
- A NBR 14810 não indica valores mínimos para o módulo de elasticidade, porém, a norma americana CS 236-66 recomenda chapas de madeira aglomerada seja de 2402,63 MPa. O MOE das chapas particuladas de bambu deste trabalho apresentaram variações de valores entre 3566,71 a 4667,14 MPa.
- Para tração perpendicular, a NBR 14.810-3 recomenda que o valor mínimo para o teste de resistência à tração perpendicular às faces é de 0,40 MPa, sendo assim, todas as chapas particuladas de bambu satisfazem essa norma.
- O ensaio de tração paralela às faces apresentou bons resultados, tendo como parâmetro outras pesquisas. Não há uma norma específica para esse ensaio.

De maneira geral, como conclusão das propriedades físicas e mecânicas, pode-se destacar que as partículas de bambu utilizados na fabricação de chapas de partículas aglomeradas, com adesivo convencional uréia-formaldeído, obtiveram comportamento aceitável em relação ao exigido pelas normas técnicas brasileiras, para maioria dos ensaios, isso indica o bambu como uma

alternativa tecnicamente viável para o emprego em chapas aglomeradas, desde que respeitadas as suas características de resistência.

Analisando o ensaio de lixamento em função da combinação dos fatores: quantidade de adesivo composto na chapa de aglomerado de bambu e a granulometria das lixas usadas, obtiveram-se as seguintes conclusões sobre as variáveis (rugosidade, potência, vibração e emissão acústica) no processo de lixamento plano.

- Foram encontradas poucas interações entre os fatores: quantidade de adesivo e granulometria das lixas com relação às variáveis mensuradas no experimento;
- O acabamento superficial não sofreu influência significativa para o fator granulometria das lixas, mas houve significância para o fator quantidade de adesivo. Os traços que tiveram influência significativa foram os de 10 e 12%.
- Para emissão acústica, o fator granulometria das lixas teve influência significativa apenas para a lixa P80. Observam-se maiores sinais para granulometrias mais grossas e menores sinais para granulometrias mais finas.
- Os fatores granulometria das lixas e quantidade de adesivo não tiveram influência significativa na aquisição dos sinais para vibração.
- Para a força de lixamento, a quantidade de adesivo utilizado nas chapas afetou significamente quase todos os casos, menos o traço de 10%. Os traços de 8 e 12% apresentaram menor força de lixamento.

Por fim, a lixa P80 apresentou significância para o sinal de emissão acústica, podendo ser aplicado na produção industrial. Já na variação da quantidade de adesivo, o traço de 12% foi o que apresentou melhores resultados, tanto no melhor acabamento superficial, quanto na força de corte. Em ambos, os resultados médios foram significativos. Podendo ser utilizados na produção de chapas aglomeradas que exijam bom acabamento superficial e menor força de corte.

A bancada de aquisições de dados mostrou-se eficiente na aquisição dos sinais de força de lixamento e emissão acústica, mostrando-se completamente confiável para adquirir variáveis físicas de processos. A metodologia utilizada é capaz de ser empregada no meio industrial para o controle dos processos e da qualidade da peça produzida.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT 14.810. (2002). **Chapas de Madeira Aglomerada – parte 3: Métodos de Ensaio**. Rio de Janeiro, 39p.

NBR 14810 – Chapa de madeira aglomerada - parte 2: requisitos. Rio de Janeiro, 2002.

NBR 14810 – Chapa de madeira aglomerada - parte 3: métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2002.

AGUILERA, A.; Martin, P. Machining qualification of solid wood of *Fagus silvatica* 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.

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-Regraas 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.

BARBOSA, M , M; VALARELLI, I, D, D; RAFAEL, A, L, L; SAMPAIO, R, M, S.P. **Produção e caracterização física de chapas de resíduos de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus***. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10. 2006, São Pedro. Anais.

BERALDO, A. L.; Azzini, A.; Cascardo, C. R.; Ribeiro, C. A. Desempenho de um dispositivo para efetuar o tratamento químico de colmos de bambu: avaliação por ultra-som. In: Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, 2003,São Carlos. Anais... São Carlos: ANTAC. CD-Rom

BERALDO, A.L.; AZZINI, A. Bambu: características e aplicações. Guaíba: Agropecuária, 2004. 128 p.

BISWAS,D, BOSE,S.K, HOSSAIN, M. M, Physical and Mechanical Properties of Urea Formaldehyde-bonde Particleboard made from bamboo waste, **International journal of adhesion & adhesives n. 31,(2011) p.84-87**.

BRITO, E.O. **Produção de chapas de partículas de madeira a partir de maravalhas de Pinus elliotti plantado no sul do Brasil.** (1995). 123p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

BURDURLU E, Usta I, Ulupinar M, Aksu B, Erarslan Ç. The effect of the number of blades and grain size of abrasives in planing and sanding on the surface roughness of European black pine and Lombardy poplar. *Turkish Journal of Agriculture & Forestry* 2005; 25:315-321.

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

CARRANO, A. 1997. **Quantification of the effect of process parameters and their interactions with respect to material removal rate and surface roughness for a wood sanding process in the furniture making industry.** Master Thesis. Industrial Engineering Department. North Carolina State University.

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

FREIRE, W.J.; BERALDO, A.L. Tecnologias e materiais alternativos de construção. Campinas: Ed. da UNICAMP, 2003. 319 p.

FREIRE W J, BERALDO A L, **Tecnológicas e Materiais Alternativos de Construção**, capítulo 9, Bambu: Características e aplicações. Campinas: Ed Unicamp, 2003.

GATEC GESTÃO INDUSTRIAL. **Projeto manutenção preditiva: Análise de vibrações.** 2009. Disponível em: <<http://www.gatec.com.br/Palestras%20Evento%20Maring%E1/Marcos%20Bonadiman%20-%20Apres%20analise%20de%20vibracoes.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2010.

GANAPATHY, P.M et al, Bamboo panel boards – A state of the art review. Disponível em: **Internacional Network for Bamboo and Rattan.** <http://www.inbar.int/publication/pubdetail.asp?publicid=12&catecode>, Acessado: 02/03/2012.

GIRIRAJ A. et al. (2010) Tracking fires in India using Advanced Along Track Scanning Radiometer (AATSR) data. *Remote Sensing* Vol.2(2), 591-610.

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

HAWKS, L. K. Wood Finishing and Refinishing: Sanding. Disponível em: http://extensions.usu.edu/files/publications/publication/HI_26.pdf. Acesso em 19 ago. 2001.

HIDALGO-LÓPEZ, O. Bamboo: the gift of the gods. Bogotá: D’Vinni, 2003.

HIZIROGLU, S et al, Properties of Bamboo-rice Straw-Eucalyptus Composite Panel, **Forests Products Journal**, , p:221-225,2005.

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

IWAKIRI, S.; Latorraca, J.V.F.; Silva, D.A.; Gabardo, J.L.; Klitzke, R.J.; Fofano, A.; Fabrowski, F.; Interanmense, M.T. 1996. Particleboard manufacture from *Pinus elliottii* (Engelm) and *Eucalyptus dunni* (Maid). *Agrárias*, 15: 33-41 (in Portuguese, with abstract in English).

IWAKIRI S.; Shimizu, J.; Silva, J.C.; Del Menezzi, C.H.S; Puehringer, C.A.; Venson, I. Laroca, C. 2004. Particleboard manufacture from *Grevillea robusta* A. Cunn. Ex R. Br. *Revista Árvore*, 28: 56-60 (in Portuguese, with abstract in English).

IWAKIRI, S.; SHIMIZU, J.; DEL MENEZZI, C. H. S.; PUEHRINGER, C. A.; VENSON, I.; LARROCA, C. Produção de painéis de madeira aglomerada de *Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. BR. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 28, n. 6, p.883-887, 2004.

IWAKIRI, S. Painéis de madeira: características tecnológicas de e aplicação. **Revista da Madeira**, Curitiba, p.4-10, maio, 2003. (Edição especial).

IWAKIRI, S. et. al. Produção de painéis de madeira aglomerada de alta densificação com diferentes tipos de resinas. **Revista Scientia Florestalis**, Piracicaba, n.68, p.39-43, ago. 2005.

IWAKIRI, S. (2005). **Painéis de Madeira Reconstituída**. Curitiba. Ajir Gráfica e Editora Ltda. 247p.

JANSSEN, J.J.A. Desingning and building with bamboo. INBAR, 2000. (Technical Reports 20).

JARAMILLO, S.V. La Guadua en los proyectos de inversión. In: *Anales del Congresso Mundial de Bambú/Guadua*, Pereira, Colômbia, 1992.

JÚNIOR, M.L.C. **Recomendações para Projeto d Piso de Bambu Laminado Colado-BLC**. 2008.163p.Salvador. Dissertação de Mestrado- Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia.

KILIC M, Hiziroglu S, Burdurlu E. Effect of machining on surface roughness of wood. *Building and Environment* 2006; 41(8):1074-1078. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.05.008>

LAEMSAK, N. 2002. Multi-country study mission on marketing of forest products: Thailand. Asian Productivity Organization (APO), Tokyo, Japan. (Unpublished report).

LOPEZ, O.H. (1981). **Manual de Construcción con bambu**. Estudios Técnicos Colombianos Ltda – Editores. 71p.

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

MALANIT, P, BARBU, M.C, FRÜHWALD.A, Physical and mechanical properties of oriented strand lumber made from an Asian bamboo (*Dendrocalamus asper*Backer) **Eur. J. Wood Prod.** N.69, P: 27–36, 2011.

MALONEY , T.M. **Modern particleboard & dry process fiberboard manufacturing**. Sao Francisco: Miller Freeman, 1977.

MARQUEZ, F.L. **Arquitetura em Bambu: Técnicas Construtivas na utilização do Bambu como Material Arquitetônico**. São Paulo, Mackenzie, Iniciação Científica, 2006.

MENDES, L.M.; ALBUQUERQUE, C.E.C de. Aspectos técnicos e econômicos da indústria brasileira de chapas de fibras e partículas. **Revista da Madeira**, n.53, p.14-22, 2000.

McKENZIE, W.M. The relationship between the cutting properties of wood and its physical and mechanical properties. **Journal of Forest Products**, USA v.12, n.6, p.287-294. 1962.

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

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.

NASCIMENTO, M. F. *Chapas de partículas homogêneas – madeiras do nordeste do Brasil*. 2003. 145p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

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

OLMOS, M. A. C. (1992). **Equipamento e Processo de Fabricação de Chapas de Madeira Aglomerada a partir de Resíduos de Madeira**. Dissertação de Mestrado. São Carlos, 110 p.

PAHLITZSCH, G. 1970. Internationaler Stand der Forschung auf dem Gebiet des Schleifens von Holz (The international state of research in the field of wood sanding). *Holz als Roh- und Werkstoff* 28(9):329-343. (In German with English title and abstract).

PAPADOPOULOS, A. N.; HILL, C. A. S.; GKARAVELI, A.; NTALOS, G. A.; KARASTERGIOU, S. P. Bamboo chips (*Bambusa vulgaris*) as an alternative lignocellulosic raw material for particleboard manufacture. *Holz Roh Werkst*, n. 62, p. 36-39, 2004.

PEIXOTO, G. L.; BRITO, E. O. Avaliação da granulometria de partículas de *Pinus taeda* combinadas com adesivos comerciais para a fabricação de aglomerados. *Floresta e Ambiente*, v. 7, n.1, p.60 - 67, jan./dez. 2000.

PEREIRA, M.A. dos R.; BERALDO, A. L. *Bambu de corpo e alma*. Bauru: Ed. Canal 6, 2007.

PEREIRA, Marco Antônio dos Reis. *Bambu: Características e Aplicações*. UNESP, 2001 58 p.

QIN, L. 1991. Study on the compounding process of urea formaldehyde resin used in bamboo forming board. *J. of Bamboo Res.* 10(3):76-82.

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.; Reid H.F.; Perkins, M.C. The abrasive sanding of Rubberwood (*Hevea brasiliensis*): an industrial perspective. *Holz als Roh- und Werkstoff*. **2002**, 60, 191-196.

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.

SANTOS, R. L.; LOPES, J. D. S. Construções com bambu: opção de baixo custo. Viçosa: Centro de Produções Técnica, 1998. 40 p. (Série Construções Rurais, 160).

SOARES, D. D., OLIVEIRA, J. F. G. Diagnóstico de processos de retificação pela análise de sinais. **Máquinas e Metais**, ano 38, n. 436, p. 140-157. maio 2002.

STANGERLIN, D.M.; MELO, R.R.; GARLET, A.G.; GATTO, D. A. Durabilidade Natural de Painéis Aglomerados Confeccionados Com Eucalyptus Grandis e Bambusa Vulgaris em Ensaio de Apodrecimento Acelerado. **Ciência Rural, Santa Maria**, v.41,n.8, p:1369-1374, 2011.

STORY, R. 1982. **Estimating HP Requirements for Belt Grinding Operations**. Abrasive Engineering Society Magazine.

TAYLOR JB, Carrano AL, Lemaster RL. Quantification of process parameters in a wood sanding operation. *Forest Products Journal* 1999;49(5):41–6.

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.

TONISSI, J. L. Madeira e seus derivados na construção civil. São Carlos, 1985. 137 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

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.

VITTORINO, M. A. **Manutenção preditiva: análise de vibração**. 2008. Disponível em: <<http://www.mantenimentomundial.com/sites/mmnew/bib/notas/Apostila.pdf>>. Acesso em: 06 maio 2010.

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

YE, L. 1991. Study on board of reconsolidated bamboo. *J. of Zhejiang Forestry College* 8(2):133-140.

APÊNDICE A

Massa específica

Dimensões dos corpos-de-prova, densidade, Traço 8%.

8%					
Repetições	C[mm]	L[mm]	Média E[mm]	M[g]	D[kg/m³]
A	50,67	50,66	14,32	37,22	1,01
B	50,68	50,72	14,24	37,42	1,02
C	50,63	50,64	13,81	35,50	1,00
D	50,70	50,68	13,71	34,61	0,98
E	50,74	50,71	13,34	33,15	0,97
F	50,70	50,76	13,24	32,27	0,95
G	50,62	50,64	12,67	33,49	1,03
H	50,74	50,70	12,90	34,19	1,03
I	50,52	50,61	13,33	35,41	1,04
J	50,72	50,79	13,43	36,21	1,05
Média	50,67	50,69	13,50	34,95	1,01

Dimensões dos corpos-de-prova, densidade, Traço 10%.

10%					
Repetições	C[mm]	L[mm]	Média E[mm]	M[g]	D[kg/m³]
A	51,03	51,01	13,71	29,54	0,83
B	51,01	50,97	13,602	30,42	0,86
C	50,67	50,73	13,416	34,99	1,01
D	50,68	50,71	13,418	36,01	1,04
E	50,23	50,81	12,668	33,12	1,02
F	50,65	50,39	12,596	32,33	1,01
G	50,65	51,15	12,81	32,84	0,99
H	50,61	50,93	12,796	32,32	0,98
I	50,67	50,97	13,598	34,85	0,99
J	51,09	50,94	13,628	36,17	1,02
Média	50,73	50,86	13,22	33,26	0,98

Dimensões dos corpos-de-prova, densidade, Traço 12%.

12%					
Repetições	C[mm]	L[mm]	Média E[mm]	M[g]	D[kg/m³]
A	51,01	50,63	12,89	35,99	1,08
B	50,93	50,67	13,032	35,53	1,06
C	50,81	50,65	13,668	36,65	1,04
D	50,72	50,68	13,15	37,27	1,10
E	50,44	50,75	12,858	33,48	1,02
F	50,35	50,74	13,2	34,46	1,02
G	50,51	50,89	14,564	32,52	0,87
H	50,6	50,72	14,632	39,23	1,04
I	50,58	50,51	13,748	35,83	1,02
J	50,72	50,49	13,682	36,36	1,04
Média	50,67	50,67	13,54	35,73	1,03

Dimensões dos corpos-de-prova, densidade, Traço 15%.

15%					
Repetições	C[mm]	L[mm]	Média E[mm]	M[g]	D[kg/m³]
A	50,75	50,71	14,294	37,51	1,02
B	50,63	50,61	13,808	32,71	0,92
C	50,72	50,66	13,15	33,61	0,99
D	50,72	50,71	12,732	33,34	1,02
E	50,6	50,59	13,2	34,55	1,02
F	50,63	50,64	12,912	34,52	1,04
G	50,44	50,54	13,68	35,41	1,02
H	50,67	50,74	13,952	37,51	1,05
I	50,68	50,55	12,994	33,03	0,99
J	50,6	50,68	13,044	33,59	1,00
Média	50,64	50,64	13,38	34,58	1,01

Umidade Específica

Dimensões dos corpos-de-prova, umidade, Traço 8%.

8%			
Repetições	M[u]	M[s]	U [%]
A	37,15	34,96	6,26
B	37,01	34,83	6,26
C	34,32	32,12	6,85
D	35,3	33,12	6,58
E	32,07	30,02	6,83
F	32,98	30,9	6,73
G	33,26	31,18	6,67
H	34,04	32,05	6,21
I	35,22	33,27	5,86
J	36,1	34,03	6,08
Média	34,75	32,65	6,43

Dimensões dos corpos-de-prova, umidade, Traço 10%.

10%			
Repetições	M[u]	M[s]	U [%]
A	29,25	27,38	6,83
B	30,13	28,24	6,69
C	34,71	32,8	5,82
D	35,74	33,91	5,40
E	33,00	31,07	6,21
F	32,33	30,42	6,28
G	32,21	30,3	6,30
H	32,68	30,6	6,80
I	34,66	32,6	6,32
J	35,96	33,96	5,89
Média	33,07	31,13	6,25

Dimensões dos corpos-de-prova, umidade, Traço 12%.

12%			
Repetições	M[u]	M[s]	U [%]
A	35,43	33,48	5,82
B	35,8	33,8	5,92
C	36,45	34,46	5,77
D	36,96	35,88	3,01
E	34,21	32,32	5,85
F	33,33	31,33	6,38
G	38,35	36,1	6,23
H	39,04	36,67	6,46
I	35,61	33,31	6,90
J	36,14	33,82	6,86
Média	36,13	34,12	5,92

Dimensões dos corpos-de-prova, umidade, Traço 15%.

15%			
Repetições	M[u]	M[s]	U [%]
A	37,23	34,95	6,52
B	32,51	30,22	7,58
C	33,41	31,39	6,44
D	33,19	31,33	5,94
E	34,43	32,62	5,55
F	34,34	32,36	6,12
G	35,27	32,99	6,91
H	37,23	34,68	7,35
I	33,33	31,06	7,31
J	32,83	30,6	7,29
Média	34,38	32,22	6,70

Inchamento e Absorção de Água

Dimensões dos corpos-de-prova, inchamento em espessura, Traço 8%.

8%					
Repetições	Espessura	E - 2 horas	E - 24 horas	Inchamento - 2h [%]	Inchamento - 24h [%]
A	14,27	16,00	16,92	12,12	18,57
B	14,11	16,00	16,86	13,39	19,49
C	13,84	15,75	16,37	13,80	18,28
D	13,82	15,75	16,93	13,97	22,50
E	13,51	15,82	16,68	17,10	23,46
F	13,53	15,35	16,47	13,45	21,73
G	13,07	15,15	15,95	15,91	22,04
H	13,22	14,99	15,93	13,39	20,50
I	13,93	16,40	17,70	17,73	27,06
J	13,51	15,77	16,71	16,73	23,69
Média	13,68	15,70	16,65	14,76	21,73

Dimensões dos corpos-de-prova, inchamento em espessura, Traço 10%.

10%					
Repetições	Espessura	E - 2 horas	E - 24 horas	Inchamento - 2h [%]	Inchamento - 24h [%]
A	13,00	14,53	15,68	11,77	20,62
B	13,28	15,05	15,45	13,33	16,34
C	13,65	14,94	16,10	9,45	17,95
D	13,65	14,84	15,93	8,72	16,70
E	12,71	14,37	15,54	13,06	22,27
F	12,74	14,35	15,57	12,64	22,21
G	12,81	14,21	15,13	10,93	18,11
H	12,85	14,53	14,90	13,07	15,95
I	14,05	15,78	16,86	12,31	20,00
J	13,92	15,91	17,18	14,30	23,42
Média	13,27	14,85	15,83	11,96	19,36

Dimensões dos corpos-de-prova, inchamento em espessura, Traço 12%.

12%					
Repetições	Espessura	E - 2 horas	E - 24 horas	Inchamento - 2h [%]	Inchamento - 24h [%]
A	12,90	13,56	13,80	5,12	6,98
B	13,13	13,40	14,16	2,06	7,84
C	14,20	14,75	15,41	3,87	8,52
D	13,82	14,65	15,10	6,01	9,26
E	13,07	13,80	14,66	5,59	12,17
F	13,23	13,62	14,25	2,95	7,71
G	14,00	15,20	15,42	8,57	10,14
H	14,40	15,12	15,43	5,00	7,15
I	13,85	14,31	15,01	3,32	8,38
J	13,91	14,56	15,30	4,67	9,99
Média	13,65	14,30	14,85	4,72	8,81

Dimensões dos corpos-de-prova, inchamento em espessura, Traço 15%.

15%					
Repetições	Espessura	E - 2 horas	E - 24 horas	Inchamento - 2h [%]	Inchamento - 24h [%]
A	13,93	14,68	15,00	5,38	7,68
B	13,71	14,15	14,84	3,21	8,24
C	12,94	13,56	13,79	4,79	6,57
D	13,08	13,52	14,12	3,36	7,95
E	12,58	13,00	13,81	3,34	9,78
F	13,05	13,17	14,11	0,92	8,12
G	12,73	13,41	13,76	5,34	8,09
H	13,20	14,92	15,85	13,03	20,08
I	12,63	13,23	13,86	4,75	9,74
J	12,75	13,31	14,10	4,39	10,59
Média	13,06	13,70	14,32	4,85	9,68

Dimensões dos corpos-de-prova, absorção de água, Traço 8%.

8%					
Repetições	Peso	P - 2 horas	P - 24 horas	Absorção 2h [%]	Absorção 24h [%]
A	9,20	11,32	11,78	18,73	28,04
B	9,38	11,00	12,35	14,73	31,66
C	9,05	11,08	11,77	18,32	30,06
D	9,07	10,96	12,10	17,24	33,41
E	8,63	10,50	12,23	17,81	41,71
F	8,72	10,55	11,57	17,35	32,68
G	8,60	10,36	11,64	16,99	35,35
H	8,72	10,40	11,18	16,15	28,21
I	8,80	11,58	12,47	24,01	41,70
J	8,77	10,60	12,03	17,26	37,17
Média	8,89	10,84	11,91	17,86	34,00

Dimensões dos corpos-de-prova, absorção de água, Traço 10%.

10%					
Repetições	Peso	P - 2 horas	P - 24 horas	Absorção 2h [%]	Absorção 24h [%]
A	7,37	9,68	9,95	23,86	35,01
B	7,47	10,01	10,15	25,37	35,88
C	9,66	10,70	12,00	9,72	24,22
D	9,75	10,76	11,84	9,39	21,44
E	7,62	9,80	10,27	22,24	34,78
F	8,52	9,80	10,96	13,06	28,64
G	8,41	9,82	10,46	14,36	24,38
H	8,14	9,80	10,70	16,94	31,45
I	8,77	10,96	11,99	19,98	36,72
J	8,78	10,89	11,74	19,38	33,71
Média	8,45	10,22	11,01	17,43	30,62

Dimensões dos corpos-de-prova, absorção de água, Traço 12%.

12%					
Repetições	Peso	P - 2 horas	P - 24 horas	Absorção 2h [%]	Absorção 24h [%]
A	8,86	9,52	10,49	6,93	18,40
B	9,25	9,71	10,52	4,74	13,73
C	8,93	10,08	10,94	11,41	22,51
D	9,08	10,01	10,97	9,29	20,81
E	8,74	9,76	10,50	10,45	20,14
F	9,05	9,79	10,56	7,56	16,69
G	9,20	10,65	11,00	13,62	19,57
H	9,70	10,62	11,52	8,66	18,76
I	9,28	10,26	11,03	9,55	18,86
J	9,55	10,43	11,27	8,44	18,01
Média	9,16	10,08	10,88	9,06	18,75

Dimensões dos corpos-de-prova, absorção de água, Traço 15%.

15%					
Repetições	Peso	P - 2 horas	P - 24 horas	Absorção 2h [%]	Absorção 24h [%]
A	8,50	9,60	10,57	11,46	24,35
B	9,02	9,66	10,55	6,63	16,96
C	8,50	9,13	9,91	6,90	16,59
D	8,98	9,32	10,22	3,65	13,81
E	8,58	9,01	9,85	4,77	14,80
F	9,34	9,54	10,47	2,10	12,10
G	8,74	9,33	10,12	6,32	15,79
H	8,10	10,10	11,64	19,80	43,70
I	8,90	9,18	9,99	3,05	12,25
J	9,30	9,48	10,30	1,90	10,75
Média	8,80	9,44	10,36	6,66	18,11

RESULTADOS DOS ENSAIOS MECÂNICOS

Ensaio de resistência à tração paralela às faces

Resultados do ensaio de tração paralela às faces, traço 8%

8%						
	Espessura	Largura	Seção	Força de Ruptura	Resist. Tração Par.	F
	[mm]	[mm]	[cm²]	[kgf]	[kgf/cm²]	[MPa]
A	14	51	7,14	718,52	101,03	10,06
B	14,1	51,3	7,23	737,35	103,88	10,19
C	13,5	51	6,89	694,74	100,02	10,09
D	13,6	50,6	6,88	555,00	82,31	8,06
E	13,4	51,2	6,86	651,13	91,92	9,49
F	13,6	51,2	6,96	769,07	111,05	11,04
G	13,5	50,6	6,83	753,21	106,88	11,03
H	13,5	50,6	6,83	803,76	124,11	11,77
I	13	50,7	6,59	708,61	108,13	10,75
J	13,8	50,8	7,01	527,25	73,38	7,52
Média	13,6	50,9	6,9227	691,864	100,271	9,99

Resultados do ensaio de tração paralela às faces, traço 10%

10%						
	Espessura	Largura	Seção	Força de Ruptura	Resist. Tração Par.	F
	[mm]	[mm]	[cm²]	[kgf]	[kgf/cm²]	[MPa]
A	13,8	51	7,04	844,39	123,80	12,00
B	13,4	51	6,83	980,17	137,55	14,34
C	13,3	50,8	6,76	722,49	109,83	10,69
D	12,9	50,7	6,54	999,00	150,71	15,27
E	12,5	50,6	6,33	957,37	151,36	15,14
F	12,4	50,8	6,30	655,10	103,57	10,40
G	13,4	51,2	6,86	711,59	106,91	10,37
H	12,9	51,2	6,60	708,61	106,06	10,73
I	13,2	51	6,73	844,39	123,56	12,54
J	13,7	51	6,99	819,61	117,71	11,73
Média	13,15	50,93	6,6978	824,272	123,106	12,31

Resultados do ensaio de tração paralela às faces, traço 12%

12%						
	Espessura	Largura	Seção	Força de Ruptura	Resist. Tração Par.	F
	[mm]	[mm]	[cm²]	[kgf]	[kgf/cm²]	[MPa]
A	12,9	50,7	6,54	777,00	114,10	11,88
B	12,9	50,9	6,57	1051,52	162,99	16,01
C	13,2	50,8	6,71	869,17	133,93	12,96
D	14,1	50,6	7,13	951,42	133,35	13,34
E	13	50,8	6,60	934,58	144,01	14,15
F	13,3	50,7	6,74	727,44	107,04	10,79
G	13,8	50,8	7,01	819,61	113,62	11,69
H	14,4	50,8	7,32	882,05	127,92	12,06
I	13,5	50,7	6,84	921,69	134,20	13,47
J	13,5	50,5	6,82	888,00	131,95	13,03
Média	13,46	50,73	6,8281	882,248	130,311	12,92

Resultados do ensaio de tração paralela às faces, traço 15%

15%						
	Espessura	Largura	Seção	Força de Ruptura	Resist. Tração Par.	F
	[mm]	[mm]	[cm²]	[kgf]	[kgf/cm²]	[MPa]
A	12,5	50,7	6,34	884,03	140,34	13,95
B	13,3	50,7	6,74	823,58	126,66	12,21
C	13,6	50,6	6,88	765,10	108,92	11,12
D	13,9	50,7	7,05	635,27	90,39	9,01
E	12,5	50,9	6,36	1123,87	175,93	17,66
F	12,6	50,6	6,38	1127,83	178,31	17,69
G	13,3	50,9	6,77	1057,47	155,96	15,62
H	13,2	50,7	6,69	595,63	87,20	8,90
I	13,8	50,9	7,02	986,11	136,28	14,04
J	14,2	50,6	7,19	842,41	118,07	11,72
Média	13,29	50,73	6,7419	884,13	131,806	13,11

Ensaio de Flexão Estática

Módulo de Ruptura (MOR) e Módulo de Elasticidade (MOE)

Resultados de MOE e MOR, traço 8%

8%							
Corpo de Prova	Largura [mm]	Espessura [mm]	Seção [cm²]	Força de Ruptura [kgf]	Resist. Tração Par. [kgf/cm²]	MOR MPa	MOE MPa
A	50,80	14,00	7,11	718,52	101,03	2,12	644,62
B	50,70	14,00	7,10	737,35	103,88	2,18	643,17
C	50,70	13,70	6,95	694,74	100,02	2,06	643,76
D	50,70	13,30	6,74	555,00	82,31	1,64	641,74
E	50,60	14,00	7,08	651,13	91,92	1,93	639,01
F	51,30	13,50	6,93	769,07	111,05	2,25	659,21
G	50,70	13,90	7,05	753,21	106,88	2,23	643,36
H	51,40	12,60	6,48	803,76	124,11	2,35	661,59
I	51,20	12,80	6,55	708,61	108,13	2,07	654,28
J	50,60	14,20	7,19	527,25	73,38	1,56	641,37
Média	50,87	13,60	6,92	691,86	100,27	2,04	647,21

Resultados de MOE e MOR, traço 10%

10%							
Corpo de Prova	Largura [mm]	Espessura [mm]	Seção [cm²]	Força de Ruptura [kgf]	Resist. Tração Par. [kgf/cm²]	MOR MPa	MOE MPa
A	50,90	13,40	6,82	844,39	123,80	2,49	647,53
B	50,90	14,00	7,13	980,17	137,55	2,89	648,79
C	50,60	13,00	6,58	722,49	109,83	2,14	640,67
D	50,60	13,10	6,63	999,00	150,71	2,96	640,50
E	50,60	12,50	6,32	957,37	151,36	2,84	638,57
F	50,60	12,50	6,32	655,10	103,57	1,94	638,57
G	51,20	13,00	6,66	711,59	106,91	2,09	656,54
H	51,00	13,10	6,68	708,61	106,06	2,08	649,96
I	51,00	13,40	6,83	844,39	123,56	2,48	649,11
J	51,20	13,60	6,96	819,61	117,71	2,40	654,46
Média	50,86	13,16	6,69	824,27	123,11	2,43	646,47

Resultados de MOE e MOR, traço 12%

12%							
Corpo de Prova	Largura [mm]	Espessura [mm]	Seção [cm²]	Força de Ruptura [kgf]	Resist. Tração Par. [kgf/cm²]	MOR MPa	MOE MPa
A	51,20	13,30	6,81	777,00	114,10	2,28	655,48
B	50,80	12,70	6,45	1051,52	162,99	3,10	644,68
C	50,70	12,80	6,49	869,17	133,93	2,57	642,74
D	50,60	14,10	7,13	951,42	133,35	2,82	638,85
E	50,70	12,80	6,49	934,58	144,01	2,77	642,74
F	51,10	13,30	6,80	727,44	107,04	2,14	653,87
G	50,80	14,20	7,21	819,61	113,62	2,42	644,19
H	50,70	13,60	6,90	882,05	127,92	2,61	643,97
I	50,50	13,60	6,87	921,69	134,20	2,74	638,12
J	50,60	13,30	6,73	888,00	131,95	2,63	640,15
Média	50,77	13,37	6,79	882,25	130,31	2,61	644,48

Resultados de MOE e MOR, traço 15%

15%							
Corpo de Prova	Largura [mm]	Espessura [mm]	Seção [cm²]	Força de Ruptura [kgf]	Resist. Tração Par. [kgf/cm²]	MOR MPa	MOE MPa
A	50,80	12,40	6,30	884,03	140,34	2,61	645,41
B	50,80	12,80	6,50	823,58	126,66	2,43	644,45
C	50,90	13,80	7,02	765,10	108,92	2,25	646,54
D	50,20	14,00	7,03	635,27	90,39	1,90	630,55
E	50,70	12,60	6,39	1123,87	175,93	3,33	643,17
F	50,60	12,50	6,32	1127,83	178,31	3,34	638,57
G	50,60	13,40	6,78	1057,47	155,96	3,13	639,98
H	50,60	13,50	6,83	595,63	87,20	1,77	639,81
I	50,60	14,30	7,24	986,11	136,28	2,92	641,21
J	50,60	14,10	7,13	842,41	118,07	2,50	638,85
Média	50,64	13,34	6,75	884,13	131,81	2,62	640,85

Ensaio de tração perpendicular às faces (Ligação interna)

8%					
Corpo de Prova	Largura [mm]	Comp [mm]	S [mm²]	P [N]	Tração Perpend. [MPa]
1	50,67	50,66	2566,94	3441,04	1,34
2	50,68	50,72	2570,49	2952,65	1,15
3	50,63	50,64	2563,90	1795,94	0,70
4	50,70	50,68	2569,48	1856,82	0,72
5	50,74	50,71	2573,03	2881,63	1,12
6	50,70	50,76	2573,53	2291,10	0,89
7	50,62	50,64	2563,40	2627,29	1,02
8	50,74	50,70	2572,52	2820,75	1,10
9	50,52	50,61	2556,82	669,67	0,26
10	50,72	50,79	2576,07	1707,33	0,66

10%					
Corpo de Prova	Largura [mm]	Comp [mm]	S [mm²]	P [N]	Tração Perpend. [MPa]
1	51,03	51,01	2603,04	719,73	0,28
2	51,01	50,97	2599,98	1041,04	0,40
3	50,67	50,73	2570,49	971,37	0,38
4	50,68	50,71	2569,98	2818,72	1,10
5	50,23	50,81	2552,19	3309,14	1,30
6	50,65	50,39	2552,25	1963,70	0,77
7	50,65	51,15	2590,75	1603,84	0,62
8	50,61	50,93	2577,57	2694,25	1,05
9	50,67	50,97	2582,65	2500,79	0,97
10	51,09	50,94	2602,52	3386,93	1,30

12%					
Corpo de Prova	Largura [mm]	Comp [mm]	S [mm²]	P [N]	Tração Perpend. [MPa]
1	51,01	50,63	2592,64	2917,48	1,13
2	50,93	50,67	2580,62	1033,60	0,40
3	50,81	50,65	2573,53	2219,39	0,86
4	50,72	50,68	2570,49	2678,70	1,04
5	50,44	50,72	2559,83	2862,69	1,12
6	50,35	50,74	2554,76	3033,15	1,19
7	50,51	50,89	2570,45	2646,90	1,03
8	50,60	50,72	2566,43	2726,72	1,06
9	50,58	50,51	2554,80	2679,37	1,05
10	50,72	50,49	2560,85	3167,76	1,24

15%					
Corpo de Prova	Largura [mm]	Comp [mm]	S [mm²]	P [N]	Tração Perpend. [MPa]
1	50,75	50,71	2573,53	2360,77	0,92
2	50,63	50,61	2562,38	2476,44	0,97
3	50,72	50,66	2569,48	3471,48	1,35
4	50,72	50,71	2572,01	2580,61	1,00
5	50,60	50,59	2559,85	911,16	0,36
6	50,63	50,64	2563,90	4159,42	1,62
7	50,44	50,54	2549,24	926,04	0,36
8	50,67	50,74	2571,00	1210,15	0,47
9	50,68	50,55	2561,87	2495,38	0,97
10	50,60	50,68	2564,41	3258,40	1,27

APÊNDICE B

	Potência (Watts)			
	8%	10%	12%	15%
Lixa P80	853,36	853,36	853,36	853,36
	853,36	853,36	853,36	853,36
	853,36	840,22	859,46	853,36
	840,22	853,36	853,36	838,31
	853,36	853,36	853,36	838,31
	853,36	853,36	853,36	837,36
Lixa P100	735,43	773,53	735,62	735,62
	735,43	735,43	735,62	735,62
	735,43	735,43	735,62	792,01
	748,77	735,43	800,21	735,62
	735,43	750,67	737,72	735,62
	735,43	750,67	735,62	788,20
Lixa P120	772,96	813,35	810,69	709,14
	735,62	762,10	810,69	744,96
	755,82	678,46	777,73	688,94
	773,34	677,32	804,78	789,92
	735,62	810,69	753,53	741,53
	735,62	810,69	709,14	853,36

	Rugosidade [μm]			
	8%	10%	12%	15%
Lixa P80	17,13	11,50	15,27	13,17
	19,87	11,37	10,77	11,37
	16,33	13,27	12,73	11,60
	15,17	14,27	10,20	11,10
	14,87	13,23	12,57	10,57
	14,23	16,93	11,97	11,13
Lixa P100	13,63	10,83	10,87	11,17
	10,50	10,90	9,80	13,53
	10,33	13,87	7,57	8,30
	9,80	10,33	9,57	9,27
	11,07	8,33	10,13	8,03
	10,27	13,33	10,23	8,73
Lixa P120	8,80	8,07	6,60	13,53
	13,07	12,40	10,53	7,10
	9,53	9,60	5,33	10,90
	9,27	9,40	8,00	1,70
	8,33	6,67	7,73	6,80
	11,47	5,80	5,67	9,03

Emissão acústica [Volts]				
	8%	10%	12%	15%
Lixa P80	5,96	5,05	6,88	4,51
	5,66	5,18	6,64	3,93
	7,61	6,07	5,72	5,58
	5,07	6,63	5,05	4,04
	6,31	5,05	5,34	3,80
	5,05	5,37	5,13	4,01
Lixa P100	6,07	5,13	5,22	4,69
	3,52	7,62	5,30	5,07
	5,43	4,95	7,99	3,61
	3,38	4,43	8,96	4,27
	6,36	5,46	4,26	8,96
	3,97	5,97	5,92	4,46
Lixa P120	9,90	7,21	10,63	6,58
	4,52	3,73	8,39	5,84
	4,21	6,72	5,55	8,70
	9,17	5,50	5,40	4,83
	8,30	6,59	10,63	3,65
	8,42	8,39	6,59	5,32

	Vibração [mm/s]			
	8%	10%	12%	15%
Lixa P80	5,868	2,548	3,773	4,055
	5,009	4,594	4,971	3,578
	5,131	5,079	4,62	4,786
	4,958	4,843	4,233	4,517
	4,818	4,648	4,416	5,215
	4,846	4,785	4,045	4,535
Lixa P100	5,529	6,051	3,833	5,818
	5,529	5,474	5,084	4,859
	4,406	4,191	4,362	4,885
	4,775	5,641	4,892	5,011
	4,69	5,536	5,001	4,54
	4,694	3,483	3,804	4,739
Lixa P120	6,788	5,514	5,547	3,724
	5,668	5,335	5,257	4,914
	5,7	5,034	4,999	4,105
	3,385	5,292	2,469	5,129
	3,679	5,432	4,949	5,109
	3,351	3,594	4,388	3,905

Força de corte [N]				
	8%	10%	12%	15%
Lixa P80	2,68	2,90	2,70	2,68
	2,72	2,68	2,68	2,68
	2,68	2,68	2,68	2,71
	2,68	2,68	2,68	2,90
	2,68	2,68	2,75	2,90
	2,68	2,70	2,68	2,90
Lixa P100	2,72	2,91	2,72	2,82
	2,71	2,72	2,82	2,72
	2,72	2,72	2,72	2,72
	2,72	2,72	2,72	2,72
	2,72	2,72	2,72	2,72
	2,74	2,72	2,80	2,72
Lixa P120	2,72	2,76	2,65	2,66
	2,72	2,67	2,65	2,74
	2,72	3,09	2,64	2,64
	2,83	2,67	2,63	2,60
	2,72	2,68	2,66	2,59
	2,75	2,68	2,55	2,68