



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

FACULDADE DE ENGENHARIA

CAMPUS DE BAURU

MARIANE ALVES DA FONSECA

**ANÁLISE DO PROCESSO DE LIXAMENTO NA MADEIRA
DE *Pinus elliottii* e *Eucalipto saligna***

Bauru
2016

MARIANE ALVES DA FONSECA

**ANÁLISE DO PROCESSO DE LIXAMENTO NA MADEIRA
DE *Pinus elliotti* e *Eucalypto saligna***

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Bauru, Universidade Estadual Paulista, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica na área de Processo e Fabricação.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves

Bauru
2016

Fonseca, Mariane Alves.

Análise do processo de lixamento na madeira de
Pinus elliotti e Eucalipto saligna / Mariane Alves
da Fonseca, 2016

99 f.

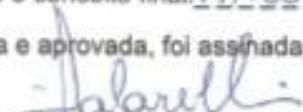
Orientador: Manoel Cléber de Sampaio Alves

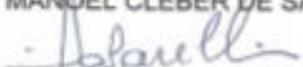
Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual
Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2016

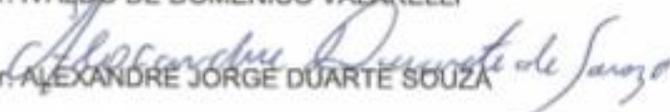
1. Rugosidade. 2. Vibração. 3. Emissão sonora. 4.
Madeira. 5. Potência I. Universidade Estadual
Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado de MARIANE ALVES DA FONSECA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA, DA FACULDADE DE ENGENHARIA.

Aos 01 dias do mês de setembro do ano de 2016, às 14:30 horas, no(a) Anfiteatro da Pós-Graduação, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. MANOEL CLEBER DE SAMPAIO ALVES - Orientador(a) do(a) Departamento de Materiais e Tecnologia / Faculdade de Engenharia de Guaratingueta, Prof. Dr. IVALDO DE DOMENICO VALARELLI do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Bauru, Prof. Dr. ALEXANDRE JORGE DUARTE SOUZA do(a) Engenharia Industrial Madeireira / Unidade de Itapeva/UNESP, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE Mestrado de MARIANE ALVES DA FONSECA, intitulada **ANÁLISE DO PROCESSO DE LIXAMENTO NA MADEIRA DE PINUS ELLIOTTII E EUCALYPTUS SALIGNA**. Após a exposição, a discente foi arguida 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. MANOEL CLEBER DE SAMPAIO ALVES


Prof. Dr. IVALDO DE DOMENICO VALARELLI


Prof. Dr. ALEXANDRE JORGE DUARTE SOUZA

DADOS CURRICULARES

MARIANE ALVES DA FONSECA

NASCIMENTO 20.03.1988 – ITAPEVA/SP

FILIAÇÃO Antonio Alves da Fonseca
Ilda Silva Ananias

2009/2014

Curso de Graduação em Engenharia Industrial
Madeireira – Universidade Estadual Paulista –
Campus Experimental de Itapeva

2014/2016

Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica,
nível de Mestrado, na Faculdade de Engenharia do
Campus de Bauru da Universidade Estadual
Paulista.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro momento gostaria de agradecer ao criador de tudo, Deus, nosso mestre, que nos guia, e cuida de nós aqui na terra, nos abençoando, nos proporcionando sabedoria, discernimento, e muita luz em nossas vidas.

Ao Professor Doutor Manoel que desde a graduação vem me orientando, e mesmo distante me orientou mais uma vez. Prof. Dr. Ivaldo que me deu apoio em Bauru/SP e em todas as vezes que precisei. Aos meus pais que sempre me ensinaram a nunca desistir, mesmo diante de tantas dificuldades, sempre estavam ao meu lado, me animando para que eu não parasse por ali, e fosse em frente seguindo o caminho que Deus colocou em minha vida. Aos meus amigos desde sempre Larissa e Bruno, que também estiveram comigo sempre nas alegrias e nas minhas dificuldades, sempre me dando o ombro amigo. A Isabela e Fernanda que contribuíram comigo para este momento, também sendo minhas companheiras em Bauru-Sp, Iuzo, Carlino, Luiz Felipe, Ana Clara muito obrigado pela atenção dada. Ao meu noivo Edi que sempre me apoiou me ajudando de todas as maneiras que ali eu precisava para seguir em frente, que por muitas vezes me acompanhou nas viagens as aulas, principalmente nos momentos mais difíceis estava comigo. E infinitamente agradeço a Deus por me manter nesta jornada.

*“Temos que fazer o melhor que podemos. Esta é a nossa sagrada
responsabilidade humana”*

Albert Einstein

Dedico este trabalho à Deus pela fé que me manteve neste caminho, aos meus pais e noivo que não me deixaram desistir, e acreditaram no meu esforço.

FONSECA, M. A. **Análise do Processo de Lixamento na madeira de *Pinus elliottii* e *Eucalypto Saligna***. 2016. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do *Campus* de Bauru, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2016.

RESUMO

O setor madeireiro vem se ampliando, em torno de sua cadeia produtiva, como por exemplo madeira serrada, painéis, celulose, laminas entre outros produtos constituídos de madeira. O processamento da madeira, gera imperfeições, havendo necessidade de processos de acabamento, como é o caso do processo de lixamento. O objetivo do lixamento é realizar correções das imperfeições, originadas de processos anteriores, irregularidades geradas pela anatomia da madeira, tipos de ferramenta, sentido de corte e outros. Visando melhor atender a qualidade superficial de produtos madeireiros, trabalhando de maneira à destiná-las ao seus devidos padrões de acabamento. Estes procedimentos são necessários para que posteriormente possam receber, tintas, vernizes, selantes entre outros produtos para otimização da qualidade dos produtos madeireiros. O processo de lixamento é influenciado por fatores como, tipo de lixa, sentido de lixamento com relação às fibras, granulometria de lixas, pressão específica, entre outras variáveis. O presente trabalho estudou-se o lixamento plano em duas espécies de madeira, *Pinus elliotti* e *Eucalyptus saligna*, lixados paralelo e perpendicular às fibras, verificando a influência da variação das granulometrias de lixa (P30, P40, P80, P100, P120, P220, P320 e P400), de grãos abrasivos de óxido de alumínio. Foram medidos os parâmetros de rugosidade Ra e Rt, temperatura, vibração, emissão sonora e potência consumida durante o processo, visando a otimização do processo, em economia de tempo e custos. Pode-se observar que a madeira de pinus, no sentido perpendicular às fibras obteve a menor rugosidade com granulometria de acabamento. O acabamento superficial não é melhorado à partir de um determinado tamanho de grãos abrasivo devido a anatomia da madeira.

Palavras-chave: Rugosidade. Potência. Vibração. Emissão sonora. Madeira.

FONSECA, M. A. **Sanding Process Analysis on wood *Pinus elliottii* and *Eucaliptus saligna***. 2016. 99 f. Dissertation (Master in Mechanical Engineering) – Faculdade de Engenharia do *Campus* de Bauru, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2016.

ABSTRACT

The timber sector has expanded tend to , around the production chain , such as lumber, panels , pulp , blades and other products made of wood. The wood processing , generates imperfections , requiring secondary machining processes , such as sanding process. The aim of sanding is to perform corrections of imperfections arising from previous cases , irregularities as defined by the anatomy of wood, tool types , cutting direction , to better meet the surface quality of wood products, working in order to target it to their proper finishing standards. These procedures are necessary so that they can later receive due to its finish, paints, varnishes , sealants and other products to optimize the quality of industrially manufactured timber . The grinding process is affected by factors such as type of sandpaper, buffing direction with respect to the fibers , sanding particle size , specific pressure , among other variables . In this work we studied the plan Sanding in two wood species , *Pinus elliottii* and *Eucalyptus saligna* , sanded parallel and perpendicular to the fibers , checking the influence of variation of grain size sandpaper (P30 , P40 , P80 , P100 , P120 , P220 , P320 and P400) abrasive grains of aluminum oxide . The roughness Ra and Rt parameters , temperature , vibration, noise emission and power consumed during the sanding process by checking these parameters , aimed at process optimization in time and cost savings. It can be seen that the pinewood , in the direction perpendicular to the fibers obtained with lower roughness finish granulometry. The surface finish is not improved from a given size of abrasive grains because of the anatomy of the timber.

Keywords: Roughness. Power rating. Vibration. Sound emission. Wood.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cadeia reprodutiva da madeira	24
Figura 2 - Casca da árvore de carvalho.....	25
Figura 3 - Anéis de crescimento de uma conífera.....	27
Figura 4 - Diferentes tipos e proporções alborno e cerne na madeira.....	28
Figura 5 - Seção transversal de lúmen de um vaso invadido por tilo	28
Figura 6 - Seção axial tangencial de lúmen invadido por tilo	28
Figura 7 - Traqueídes axiais	29
Figura 8 - Ilustração macroscópica da madeira de uma folhosa.	30
Figura 9 - Imagem de vasos na seção transversal	32
Figura 10 - Elementos do xilema secundário.....	33
Figura 11 - Foto Microscópica de uma folhosa.....	34
Figura 12 - Distribuição da área de plantio florestal no Brasil por gênero	35
Figura 13 - Árvore de <i>Pinus elliotti</i>	36
Figura 14 - Fotomacrográfica (10x) de <i>Eucalyptus saligna</i>	38
Figura 15 - Sistemas de corte aplicado à seção transversal da madeira.....	39
Figura 16 - Lixamento com folhas abrasivas.....	40
Figura 17 - Lixamento com fita abrasiva.....	41
Figura 18 – Lixamento com uma zona de contato plana: profundidade de corte “a”, largura da superfície de contato “b”, largura da peça de trabalho “bw”, espessura da peça de trabalho “d1” antes do lixamento, espessura da peça de trabalho “d2” após lixamento, comprimento.	41
Figura 19 – Lixamento com uma zona de contato plana: rotação n, outras designações referem-se a Figura 18.	42
Figura 20 - Disposição dos grãos	45
Figura 21 - Sistema de gradeação dos grãos abrasivos.....	45
Figura 22 - Estrutura grão abrasivo e ligante.....	46
Figura 25 - Ilustração de grãos abrasivos sinterizados e convencionais	47
Figura 26 - Comprimento para avaliação de rugosidade	49
Figura 27 - Ilustração do Parametro de Rugosidade Ra.....	51
Figura 28 - Altura máxima dos picos máximos	52
Figura 29 - Profundidade máxima do vale do perfil	52
Figura 30- Altura total do perfil	53

Figura 31 - Superfícies retangulares	57
Figura 32 - Acumulo de material no abrasivo no processo de lixamento.....	60
Figura 33 - Influência da granulometria sobre a temperatura no processo de lixamento	60
Figura 34 - Diagrama do processo de usinagem	61
Figura 35 - Tamanho ilustrativo do corpo de prova	62
Figura 36- Banco de ensaio	65
Figura 37 - Suporte com o corpo de prova	66
Figura 38 - Combinações de lixamento	67
Figura 39 – Sensor de potência	69
Figura 40 - Placa de aquisição de dados.....	70
Figura 41 - Decibelímetro	71
Figura 42 - Medição de rugosidade através do rugosímetro.....	71
Figura 43 - Câmera Termográfica.....	72
Figura 44 - Imagem da captura de temperatura durante o processo de lixamento....	73
Figura 45 - Ilustração dos procedimentos dos ensaios	74
Figura 46 - Análise da Rugosidade Ra com relação ao processo de lixamento.....	76
Figura 47 - Análise da Rugosidade Ra Sinal Ruído para o processo de lixamento ...	77
Figura 48 - Análise da Rugosidade Rt com relação ao processo de lixamento.....	78
Figura 49 - Análise da Rugosidade Rt sinal ruído para o processo de lixamento	79
Figura 50 - Influência da granulometria na Rugosidade.	80
Figura 51 - Plano tangencial lixado com granulometria 80 mesh ampliada 50x.....	81
Figura 52 - Plano radial lixado com granulometria 80 mesh ampliada 50x.	82
Figura 53 - Análise da Emissão Sonora com relação ao processo de lixamento	83
Figura 54 - Análise de Emissão Sonora sinal ruído para o processo de lixamento ...	84
Figura 55 – Análise da Temperatura com relação ao processo de lixamento.	86
Figura 56 – Análise da Temperatura – Sinal Ruído para o processo de lixamento. ...	87
Figura 57 - Influência da pressão e velocidade na temperatura de lixamento	88
Figura 58 – Análise da Potência com relação ao processo de lixamento.....	89
Figura 59 – Análise da Potência – Sinal Ruído para o processo de lixamento.....	90
Figura 60 – Análise da Vibração com relação ao processo de lixamento.	92
Figura 61 - Análise da Vibração sinal ruído para o processo de lixamento.....	93
Figura 62 - Funcionamento da lixadeira utilizada, b) vista em perspectiva, c)vista lateral, d) sensores de vibração e emissão acústica.....	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coeficiente de Anisotropia, qualidade e uso da madeira.....	30
Tabela 2 – Composição química da madeira de coníferas e folhosas.	31
Tabela 3 - Propriedades Avaliadas de <i>Pinus elliottii</i> e <i>Eucalyptus Saligna</i>	35
Tabela 4 - Grãos abrasivos	49
Tabela 5 - Características técnicas da lixadeira plana.	64
Tabela 6 - Delineamento de Taguchi	68
Tabela 7 - Nomenclatura Granulometria de Lixa.....	75
Tabela 8 - Nomenclatura para espécie de madeira.....	75
Tabela 9 - Nomenclatura para sentido de corte.	75
Tabela 10 - Densidade média básica e aparente das madeiras de <i>Eucalyptus saligna</i> e <i>Pinus Elliottii</i>	75
Tabela 11: Análises de variância para a rugosidade média	77
Tabela 12: Análises de variância para a rugosidade total	79
Tabela 13: Análises de variância para a emissão sonora.....	84
Tabela 14: Análises de variância para a temperatura	87
Tabela 15: Análises de variância para a potência.....	90
Tabela 16: Análises de variância para a vibração.....	93

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IBÁ	– Indústria Brasileira de Árvores
OSB	– <i>Oriented Strandboard</i>
HDF	– <i>High Density Fiberboard</i>
MDF	– <i>Medium Density Fiberboard</i>
MLC	– Madeira laminada colada
LVL	– <i>Laminated Vener Lumber</i>
IPT	– Instituto de Pesquisas tecnológicas
ABRAF	– Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas
ABNT	– Associação Brasileira de Normas Técnicas

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	19
2. OBJETIVOS.....	21
2.1. Objetivos específicos.....	21
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
3.1. Madeira de Reflorestamento.....	22
3.2. Anatomia da Madeira.....	24
3.3. Madeira.....	34
3.3.1. <i>Pinus elliottii</i>	36
3.3.2. <i>Eucalyptus saligna</i>	37
3.4. Lixamento.....	39
3.4.1 Granulometria.....	44
3.5. Rugosidade.....	49
3.6. Emissão Sonora.....	54
3.7. Vibração.....	55
3.9. Potência.....	56
3.9. Temperatura.....	59
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	61
4.1. Produção Corpos de Prova.....	61
4.2. Determinação do teor de umidade.....	62
4.3. Análise Física da Madeira.....	63
4.3.1. Determinação da densidade aparente.....	63
4.3.2. Determinação da densidade básica.....	63
4.5. Lixamento.....	64
4.5.1. Descrição do banco de ensaio.....	64
4.5.2. Condições de lixamento pré-estabelecidas.....	66
4.5.4. Sistema e monitoramento da potência e vibração.....	68

4.5.4. Emissão sonora	70
4.5.5. Rugosidade	71
4.5.6. Temperatura.....	72
4.6. Processo de Lixamento	73
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	75
5.1. Rugosidade Ra	76
5.2. Rugosidade Rt	78
5.3. Emissão sonora	83
5.4. Temperatura.....	85
5.5. Potência	89
5.6. Vibração.....	92
6. CONCLUSÃO.....	96
REFERÊNCIAS	98

1. INTRODUÇÃO

Segundo o Banco Nacional de Desenvolvimento- BNDES (2015) o Brasil tem aumentado consideravelmente suas florestas focando nas madeiras de reflorestamento. Tendo a segunda maior cobertura florestal mundial, estando apenas atrás da Rússia, representando cerca de 14% das florestas mundial.

É de extrema relevância a infinidade de produtos madeireiros que estão no nosso dia-a-dia, como por exemplo as mesas de jantar, cadeiras, colher de pau, armário, assoalho, entre outros.

Para o setor madeireiro obter seus distintos produtos, a madeira necessita ter sua forma alterada sendo esta mudança realizada na grande maioria das vezes através de processos de usinagem como fresamento, lixamento, torneamento, serramento, etc.

O lixamento é um processo de usinagem não convencional, baseada na abrasão de grãos abrasivos sobre a peça e tem a função de melhorar o acabamento superficial, garantindo dimensões e rugosidades adequadas.

Por ser um processo subsequente às usinagens primárias, deve ser realizado somente quando os processos anteriores não forem capazes de assegurar o acabamento superficial.

Este processo é realizado devido a falhas geradas em consequência à anatomia da madeira pela sua heterogeneidade ou falhas de usinagem.

Indústrias madeireiras, principalmente indústrias de móveis e de painéis, utilizam-se do lixamento na fabricação de seus produtos tornando esse estudo fundamental para melhorar o processo buscando tornando-lo mais eficaz e mais eficiente.

Aprofundar o conhecimento do processo de lixamento em madeiras de reflorestamento torna-se necessário para melhoria dos processo e qualidade dos produtos finais como painéis, móveis, entre outros.

Existe uma infinidade de tamanhos de grãos para lixas e diferentes materiais de grãos abrasivos para lixamento de madeira. No entanto o material madeira é muito heterogêneo, com defeitos anatômicos como por exemplo poros, grã reversa, etc que dificultam a obtenção de boas qualidades superficiais. Dessa forma, conhecer os parâmetros do processo de lixamento da madeira pode representar diminuição de custos e otimização dos trabalhos.

Como hipótese deste trabalho afirma-se que existe um tamanho de grãos de lixa acima do qual a qualidade superficial não é mais melhorada em função das características do material.

Para verificar esta hipótese, o estudo desenvolvido nesta pesquisa é direcionado ao processo de lixamento plano da madeira, de *Pinus elliotti* e *Eucaplyptus salignal*, realizado paralelamente e perpendicular às fibras, sendo mantidos fixos velocidade de corte e tipo de grão abrasivo, e variando granulometria de lixa (30, 40, 80, 100, 120, 220, 320 e 400 mesh).

Estas condições foram estabelecidas, para verificar se as mesmas influenciam nas variáveis de saída (emissão sonora, vibração, temperatura, rugosidade, potência).

2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi estudar a influência da granulometria da lixa de óxido de alumínio no acabamento superficial de peças de madeira, de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus saligna*.

2.1. Objetivos específicos

- Estudar a variação da rugosidade, potência consumida, emissão sonora, temperatura de lixamento no lixamento plano do *Pinus elliottii* e do *Eucalyptus saligna*, quando processados paralelamente e perpendicular às fibras;

- Analisar a influência da densidade no processo de lixamento através da utilização de madeiras de diferentes espécies (*Pinus elliottii* e *Eucalypto saligna*);

- Analisar os efeitos do sentido de corte (paralelo e perpendicular às fibras) no processo de lixamento;

- Verificar se existe um limite de granulometria de lixa onde o acabamento da peça produzida não é mais melhorado.

- Com esse estudo, chegar a conclusões que possam contribuir com os conhecimentos das variáveis do processo de lixamento plano e otimizá-los, nos acabamentos dos setores industriais, desta forma melhorando o uso dos recursos e promovendo economia de material, tempo e dinheiro.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica realizada neste trabalho relata inicialmente algumas definições do processo de lixamento com a lixa de óxido de alumínio e na sequência características das madeiras envolvidas.

3.1. Madeira de Reflorestamento

No Brasil as árvores plantadas comercialmente são de espécies exóticas (eucalipto, pinus, teca entre outras) ou nativas (dentre elas araucária e paricá). O reflorestamento é feito embasado em planos de manejo sustentável, onde os mesmos têm foco de redução de impactos ambientais e induzir desenvolvimento econômico e social das comunidades vizinhas. (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ, 2015)

O Brasil possui cerca de 0,9 % do território nacional de área plantada, sendo 91% de madeiras utilizadas para fins industriais de árvores plantadas e os outros 9% proveniente de florestas nativas legalmente remanejadas. A pressão e a degradação de ecossistemas naturais são evitadas com o auxílio de árvores plantadas, e ainda contribuem positivamente para o fornecimento de biomassa florestal, lenha e carvão de origem vegetal. Protegem a biodiversidade evitando o desmatamento de habitats naturais, também a preservação do solo e as nascentes dos rios, recuperam áreas degradadas, são fontes de energias renováveis e contribuem para a redução das emissões de gases naturais causadores do efeito estufa por serem estoques naturais de carbono. (IBÁ, 2015)

Para garantir as boas práticas de manejo florestal e a origem sustentável dos produtos oferecidos pelos produtores de árvores plantadas para com os consumidores, existem as certificações como ferramenta para negociação destes. Estas certificações e selos, existem para atestar desde qualidade dos produtos bem como realização ambientalmente correta do manejo florestal visando aspectos sociais e ambientais. (IBÁ, 2015)

Todos os procedimentos realizados com as madeiras de reflorestamentos, desde o plantio inicial até a colheita são enquadrados em padrões e políticas criadas para que gerem a certificação, visando o menor impacto ambiental possível e na otimizando os benefícios socioambientais da produção. Tendo como objetivo central

a melhoria continua dos processos produtivos, eficiência nas atividades florestais e industriais, visando redução de perdas e impactos potenciais. As certificações são intrínsecas para a estratégia operacional das empresas, inseridas em toda cadeia produtiva. (IBÁ, 2015)

O processo de certificação é realizado através de auditoria verificando desde as mudas, procedimentos de plantio, colheita até indústria, aplicando avaliações relacionados aos impactos ambientais e as comunidades entorno, segurança e saúde dos colaboradores, e a conformidade com a legislação municipal, estadual e federal. A FSC (Forest Stewardship Council), o Cerflor (Programa Nacional de Certificação Florestal) e o PEFC (sistema internacional Programme for the Endorsement of Forest Certification Systems são certificações de maior reconhecimento, cerca de 63% dos hectares plantadas no Brasil são certificados por estas entidades. (IBÁ, 2015)

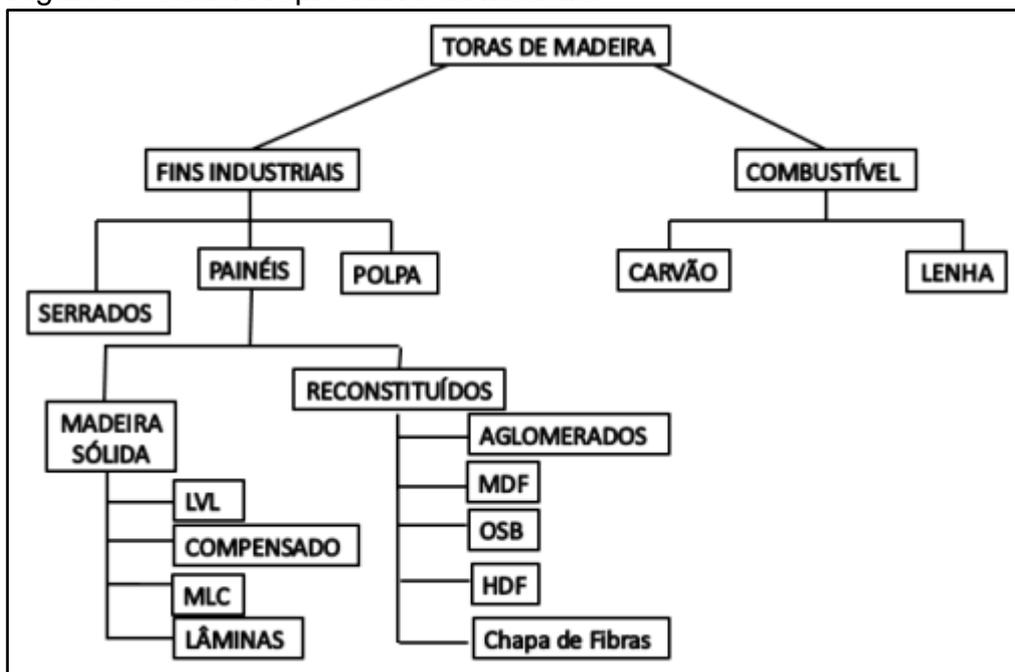
O setor madeireiro em 2014 teve uma receita bruta totalizando R\$60,6 bilhões o que representa 5,5% do Produto Interno Bruto (PIB Industrial. As exportações brasileiras obtiveram equivalente a 3,8% somando US\$ 8,4 bilhões. Este setor é responsável em torno de 4,2 milhões de empregos diretos, indiretos e resultantes do efeito renda. À partir do ano de 2014 à 2020, estão sendo desenvolvidos projetos, cujos em andamentos ou previstos, que focam aumentos dos plantios, ampliação de fábricas, e novas unidades chegando em torno da ordem de R\$53 bilhões. (IBÁ-Dados e estatísticas, 2015).

Responsável por 0,8 % da arrecadação nacional, gerando R\$10,2 bilhões em tributos federais, estaduais e municipais em 2014. Obtendo cerca de 7,74 milhões de hectares plantadas de eucalipto, pinus e demais espécies (acácia, araucária, paricá e teca) utilizados nos segmentos de celulose e papel com 34%, siderúrgica e carvão vegetal 15,2%, papéis de madeira e pisos laminados 6,8%, Investidores financeiros (TIMOs-Timberland Investment Management Organization), produtores independentes com 26,8%, serrados, móveis e outros produtos sólidos com 3,6% e outros TIMOs com 3,4%. Tendo benefícios ambientais como absorção de 1,69 bilhão de toneladas de CO₂ com seus 7,74 milhões de hectares de árvores plantada. (IBÁ-Dados e estatísticas, 2015). A Figura 1 ilustra a cadeia produtiva.

De acordo com os dados O setor madeireiro protagoniza cerca de R\$ 177 milhões de contribuição com programas de saúde, cultura, educação e qualidade de vida. Esta ação contribui com mais de dois milhões de pessoas, desta forma

fortificando o setor brasileiro de base florestal como indicador de desenvolvimento econômico e social do país. Em 2014 cerca de 17,8 mil famílias foram beneficiadas com os programas de fomento. (IBÁ-Dados e estatísticas, 2015). A Figura 1 representa a cadeia produtiva da madeira.

Figura 1 - Cadeia reprodutiva da madeira



Fonte: Autor.

3.2. Anatomia da Madeira

Segundo Teixeira et al. (2011), nas propriedades da madeira no sentido medula à casca, ocorrem variações em magnitudes diferentes sendo maiores e menores, dependendo diretamente da heterogeneidade e propriedades anisotrópicas da madeira. Com o conhecimento nas variações existentes, relacionados aos diferentes processos de usinagem ocorre otimização do aproveitamento da madeira.

Para o processo de fabricação ser totalmente eficiente, é de extrema importância o conhecimento técnico dos procedimentos de usinagem, bem como alteração nas variáveis de entrada e saída dos mesmos, e novas definições nos parâmetros das variáveis envolvidas, visando sempre na otimização da produção com qualidade, e garantindo suas propriedades finais desejadas. As propriedades físico-mecânica alteram em função de cada espécie. Ainda existindo variações dentro da

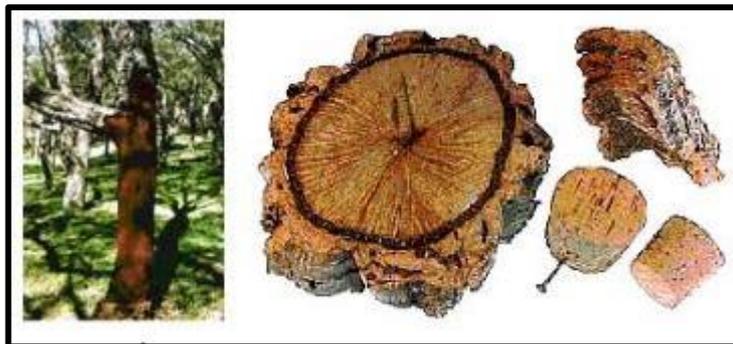
mesma espécie, sendo oriundas principalmente por fatores genéticos e ambientais, bem como manejo florestal. As propriedades relacionadas a posição da árvore variam no sentido radial (medula-casca) e longitudinal (base-copa). (TEIXEIRA ET AL,2011)

Devido a madeira apresentar diferente tipos de células por ser um material heterogêneo, cada célula tem uma função a desempenhar no sistema anatômico da madeira. Sendo eles transporte de substancias, sustentação entre outros importantes.

Segundo Burger e Richter(1991) a configuração macroscópica da madeira é constituída por casca, floema, o câmbio, anéis de crescimento, cerne, alburno, raios, medula.

- **Casca:** atualmente a casca tem sido bastante estudada por servir de identificações para árvores semelhantes. Além de muitas cascas de determinadas árvores serem utilizadas como por exemplo, casca do carvalho (Figura 2), acácia negra, barbatimão, angico-vermelho, angico-preto, angico-branco, contribuem na fabricação de produtos farmacêuticos, cosméticos, alimento para gado entre outros. Sua performance no tronco é realização da condução da seiva elaborada através de sua parte interna, o floema. É formada por um conjunto de tecidos que envolvem o tronco, este conjunto formado pelo córtex, periderme e retidoma. O fato da casca revestir o tronco, tendo função de transportar e armazenar os nutrientes através do floema, seu exterior protege de ataques de fungos, ressecamento, das variações do clima, de determinadas situações mecânicas. (BURGER E RICHTER, 1991)

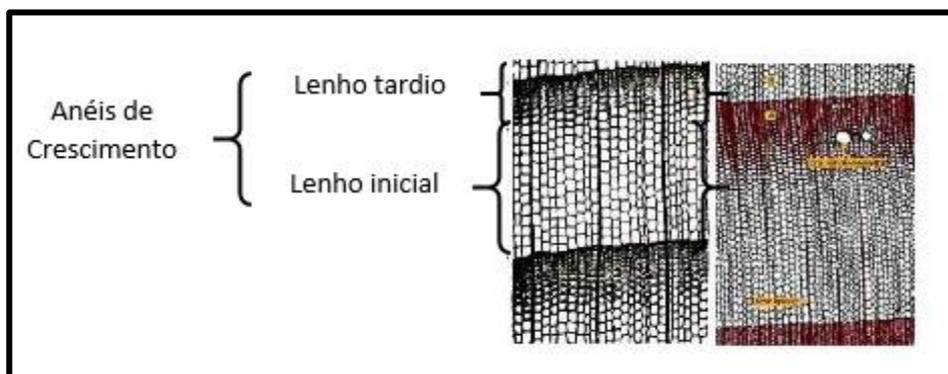
Figura 2 - Casca da árvore de carvalho



Fonte: ROMMEL (2016).

- **Câmbio:** Elemento situado entre o xilema (transporta seiva bruta) e floema (transporta seiva elaborada), visível somente através de microscópio. É um tecido formado por células meristemáticas, ou seja, capazes de criar novos elementos de células. As condições climáticas interferem diretamente neste elemento. A formação dos tecidos secundários que constituem o xilema e a casca, são atribuições do câmbio, durante sua existência, já que sua vida perdura juntamente com a do vegetal. (BURGER E RICHTER, 1991)
- **Anéis de crescimento:** Elemento representativo da idade da madeira, para cada ano das árvores se cresce um novo anel, conhecidos como anéis anuais. Estes são diretamente ligados ao clima de cada região, e também são definidos como lenho tardio (lenho outonal) e lenho inicial (lenho primaveril) (Figura 3). O lenho inicial tem tonalidade clara, formado no início do período vegetativo, geralmente primavera época em que as árvores saem do período de dormência e voltam suas atividades fisiológicas com toda energia, sua formação tem paredes finas e lume grande, esta estrutura que faz com que o lenho se torne claro. Já o lenho tardio vem aparecendo devido ao fim do período vegetativo, as células vão diminuindo suas atividades fisiológicas, tornando as paredes mais espessas e o lume menor, desta forma tornando-se diferenciado do lenho inicial, pois esta estrutura já apresenta coloração mais escura, desta forma criando anéis de crescimento sucessivamente conforme os anos se passa. (BURGER E RICHTER, 1991)

Figura 3 - Anéis de crescimento de uma conífera

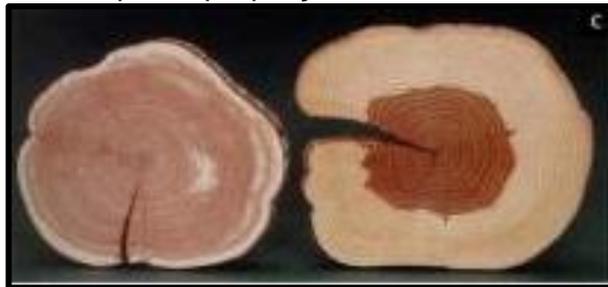


Fonte: ROMMEL (2016).

- Cerne e Alburno:** O cerne é destacado na árvore pela sua cor mais escura na parte de dentro do tronco. Devido as camadas mais periféricas serem fisiologicamente ativas dá origem ao cerne. O cerne se torna menos suscetível a ação de seres xilófagos, a agentes biodegradadores, por apresentarem tecidos com baixos teores de nutriente e mais compactos. No entanto para tratamento com preservativos na madeira, a penetração dos produtos químicos é de difícil acesso. O alburno juntamente com o câmbio apresenta a região onde ocorrem as maiores atividades fisiológicas da madeira. Devido as células parenquimáticas encerrarem as substâncias nutritivas como por exemplo açúcares, proteínas, amidos entre outros, atraindo os insetos e fungos. Para cada espécie de árvore há uma variação proporcional relacionado ao cerne e alburno (Figura 4), devido as condições de clima, solo, sitio e idade. O cerne em determinadas vezes não se destaca do alburno, em alguns casos até mesmo encontra-se ausente, ele se destaca do alburno, pela sua cor mais escura, devido não realizar mais atividades fisiológicas tem teor de umidade menor, mais resistente a agentes biodegradadores e seres xilófagos, tem menor permeabilidade, impossibilitando a entrada de preservantes. Em alguma folhosas durante a formação do cerne, podem ocorrer o fenômeno de tiloses. A tilose (Figura 5, 6 e 7) é formada devido a pressão exercida na parede do lumem do parênquima adjacente ao

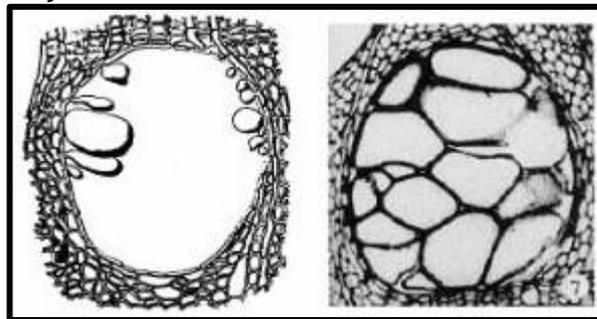
vaso, através de pontoações, onde gera uma obstrução dentro do vaso são os tilos. Estes por sua vez contribuem para a defesa da árvore contra agentes degradadores, pois os tilos dificultam a passagem de seres xilófagos pelo vaso, onde também reduz a quantidade de ar e umidade. (BURGER E RICHTER, 1991)

Figura 4 - Diferentes tipos e proporções alborno e cerne na madeira



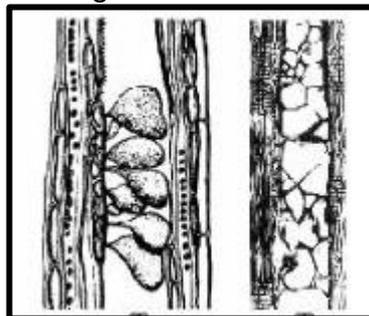
Fonte: ROMMEL (2016).

Figura 5 - Seção transversal de lúmen de um vaso invadido por tilo



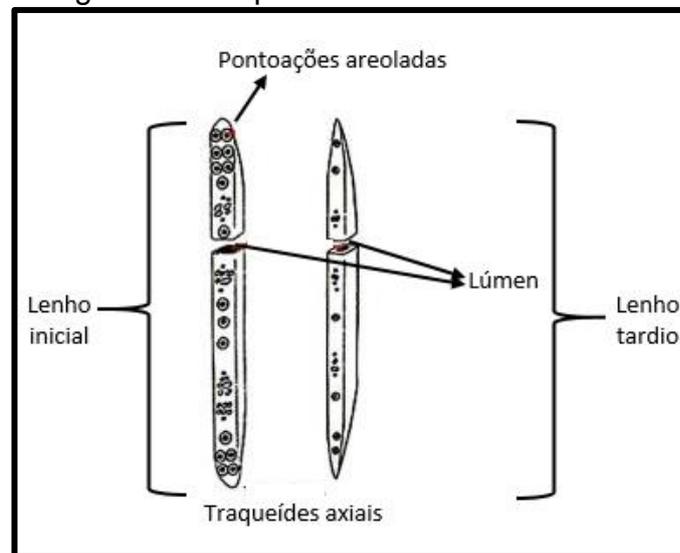
Fonte: ROMMEL (2016).

Figura 6 - Seção axial tangencial de lúmen invadido por tilo



Fonte: ROMMEL (2016).

Figura 7 - Traqueídes axiais

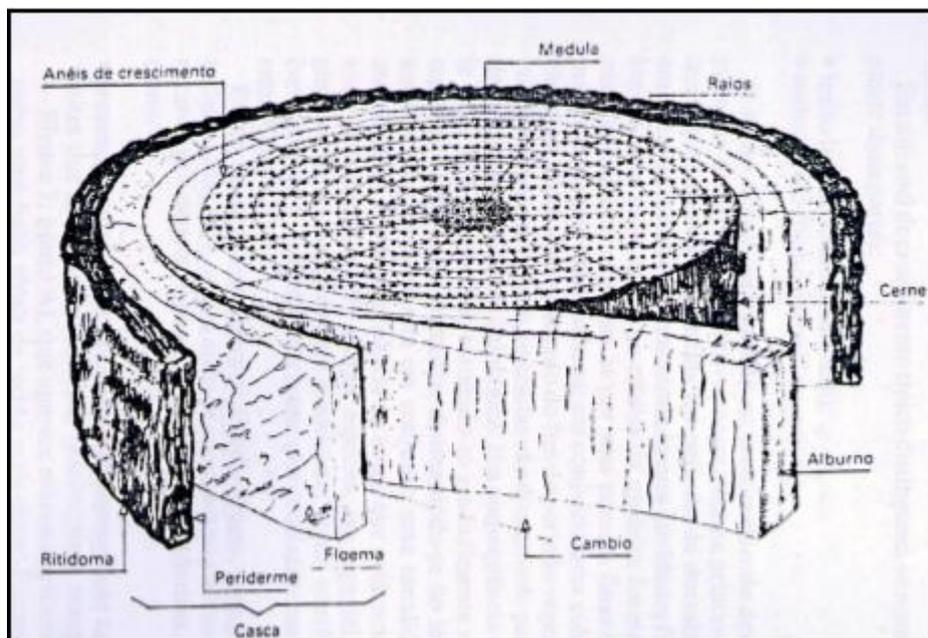


Fonte: ROMMEL (2016).

- **Medula:** É o elemento que ocupa o centro do tronco, essencial nos indivíduos jovens pois contribui na condução dos líquidos. Sua função é de armazenar nutrientes. Principalmente nas angiospermas tem variação de tamanho, cor e forma. Pela sua formação de tecidos parenquimáticos, tende ao apodrecimento oriundo de ataques de fungos, tornando a árvore vazia em seu interior. (BURGER E RICHTER, 1991)
- **Raios:** São elementos cuja função é armazenar e transportar nutrientes da casca a medula, responsável pelo transporte horizontal das árvores. Visível somente a olho nú se extremante largos e altos. Os raios são constituídos de elementos, cujo detalhes que contribuem na identificação de espécies, pois é possível observar estes detalhes ao corte transversal, longitudinal radial. (BURGER E RICHTER, 1991)
- **Floema:** O floema primário possui células no sentido axial por não possuir raios, já o floema secundário suas células estão orientadas no sentido axial e radial, embora o floema primário e secundário apresentam os mesmos tipos de células. São responsáveis pela condução dos nutrientes, da seiva elaborada nas plantas vasculares. (BURGER E RICHTER, 1991)

A Figura 8 ilustra um disco de madeira em uma seção transversal, indicados a anatomia da madeira macroscopicamente. Podendo identificar a casca, floema, o câmbio, anéis de crescimento, cerne, alburno, raios, medula.

Figura 8 - Ilustração macroscópica da madeira de uma



Fonte: ROMMEL (2016).

A relação entre as contrações tangencial e radial, denominada coeficiente de anisotropia, é um parâmetro que avalia sua variação dimensional, a Tabela 1 apresenta o coeficiente de anisotropia, qualidade e uso da madeira.

Tabela 1 – Coeficiente de Anisotropia, qualidade e uso da madeira

Coeficiente de Anisotropia	Qualidade da Madeira	Utilização indicada para madeira
1, 2 a 1,5	Excelente	Móveis finos esquadrias, barcos, aparelhos musicais, aparelhos de esporte e etc.
1,5 a 2,0	Normal	Estantes, mesas, armários, enfim usos que permitam pequenos empenamentos.
Acima de 2,0	Ruim	Construção civil (observadas as características mecânicas) carvão, lenha e etc

Fonte: (NOCK et al., 2006).

Segundo PANSGIN et al., 1970, a madeira é compreendida quimicamente em componentes de alta massa molecular e os de baixa massa molecular, sendo os de alta a celulose, hemicelulose e lignina, e os de baixa massa molecular os extrativos e cinzas, estes são os grandes dois grupos químicos que constituem a madeira propriamente dita.

Há uma diferença nos componentes químicos da madeira entre as folhosas e coníferas. A Tabela 2, mostra a proporção dos compostos de acordo com as madeiras.

Tabela 2 – Composição química da madeira de coníferas e folhosas.

Constituinte	Coníferas (%)	Folhosas (%)
Celulose	42 ± 2	45 ± 2
Hemicelulose	27 ± 2	30 ± 5
Lignina	28 ± 2	20 ± 4
Extrativos	5 ± 3	3 ± 2

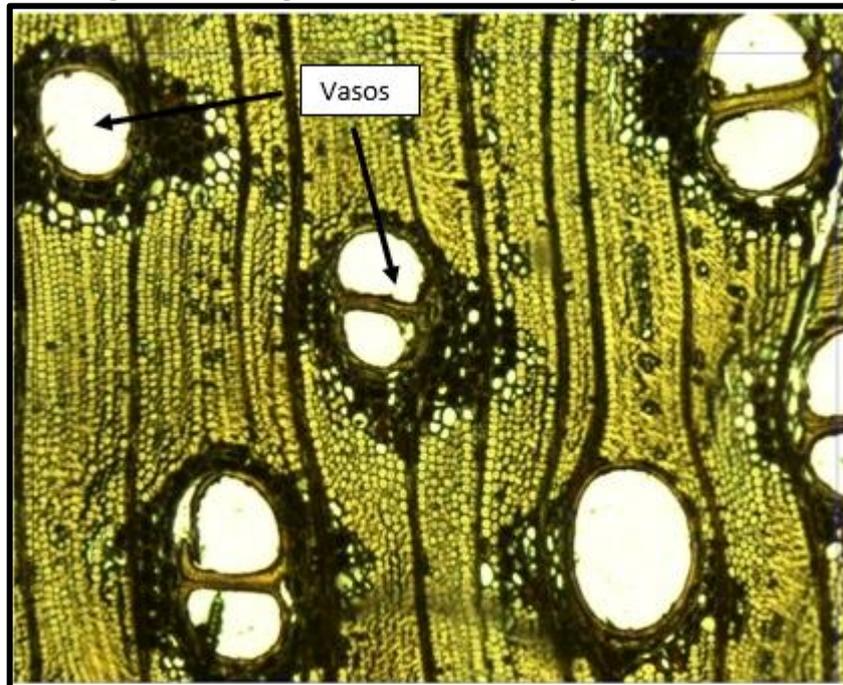
Fonte: (FENGEL; WEGENER, 1989)

Para Shimoyama et al., (1989) a densidade básica é um dos índices mais importantes para qualidade da madeira. Parâmetro relacionado com a composição química da madeira e anatomia da mesma.

A configuração anatômica microscópica apresenta vasos, fibras, traqueídes, parênquima transversal, parênquima axial

- **Vasos:** Vasos (Figura 9) são visíveis somente sob lente, no topo e na face tangencial, tendo porosidade difusa, com poucos, médios, eventualmente grandes, solitários e múltiplos estes ocasionalmente em cadeias radiais. Estão presentes em todas as angiospermas, com pouquíssimas exceções, torando assim elemento principal na diferenciação destas para com as gimnospermas. É formado por conjuntos de elementos vasculares axiais, havendo variações em seu tamanho, pois os tamanhos dos vasos não são determinados, com formato tipo tubo, onde tem por sua função realizar o transporte de líquidos. (BURGER E RICHTER, 1991)

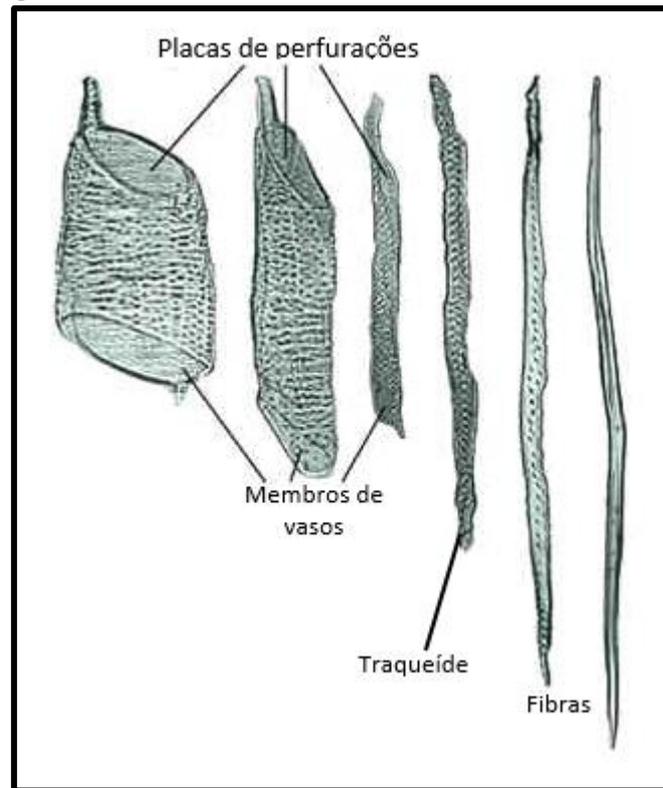
Figura 9 - Imagem de vasos na seção transversal



Fonte: FERREIRA et al (2012)

- **Fibras:** Estão presentes em cerca de 20 a 80% do seu lenho, sua função primordial é a sustentação, são células das angiospermas, a configuração de suas paredes influencia diretamente na massa específica, e no grau de alteração volumétrica. Possuem tamanho de 0.5 a 2.5mm, semelhantes aos traqueídes diferenciando-se pelo seu tamanho, pois são menores apresentando poucas e pequenas pontoações, são células esbeltas. São classificadas em fibrotraqueóides e fibras libriformes, onde as fibrotraquóides possuem pontoações maiores e distintamente areoladas, ao contrário das fibras libriformes, que apresentam pontoações menores. (BURGER E RICHTER, 1991). A Figura 10 representa a diferenciação de alguns elementos.

Figura 10 - Elementos do xilema secundário

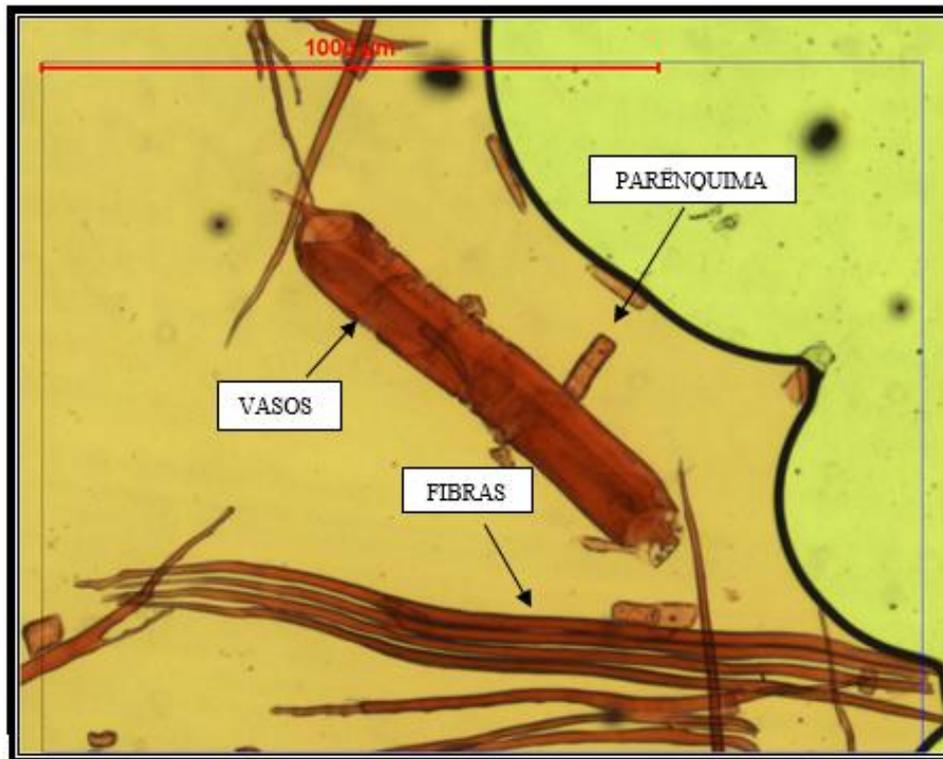


Fonte: ROMMEL (2016).

- **Parênquima axial:** Possuem na sua forma de retângulo, geralmente paredes não lignificadas e mais finas, são menores que os traqueídes axiais, os quais apresentam função de armazenamento de nutrientes. São ausentes nas australianas, quando estão presentes encontram-se dispersadas pelo lenho-parênquima, estas células ocorrem sempre nas gimnospermas, existindo nas podocarpáceas, pináceas e cupressáceas. (BURGER E RICHTER, 1991)

A Figura 11 representa microscopicamente uma lâmina de madeira de folhosa após realizado o processo de maceração para identificação de alguns componentes da madeira.

Figura 11 - Foto Microscópica de uma folhosa.



Fonte: FERREIRA et al., 2012.

3.3. Madeira

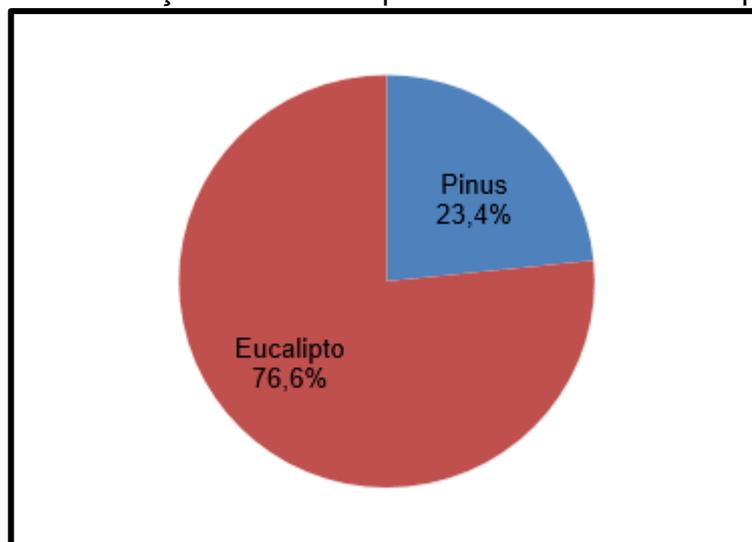
No Brasil existem milhares de espécies nativas, outras tantas exóticas, sendo as mais conhecidas, Pinus e Eucalipto. Como alternativa para o desmatamento desenfreado de árvores nativas, essas espécies vêm ganhando mais espaço no mercado.

Os projetos de reflorestamento começaram no Brasil por volta dos anos 1904, com a introdução do Eucalipto no país para ser utilizado em dormentes e produção de lenha (MORA e GARCIA, 2000).

A árvore de eucalipto vem sendo utilizada e plantada em diversas partes do mundo, devido ao rápido crescimento, produtividade, diversidade de espécies, capacidade de adaptação e aplicação para várias finalidades (MORA e GARCIA, 2000).

A área de floresta plantada de Pinus e Eucalipto no Brasil, em 2012, foi de 6.664.812 hectares (Figura 12), desse total 76,6% corresponde a floresta de Eucalipto e 23,4% de Pinus (ABRAF, 2013).

Figura 12 - Distribuição da área de plantio florestal no Brasil por gênero



Fonte: ABRAF,2013.

Existem mais de 100 espécies do gênero *Pinus*, onde o mesmo é originário de regiões tropicais e temperadas. (USDA FOREST SERVICE, 2002). Sendo o *Pinus elliottii* muito difundido no Brasil devido as suas características.

As espécies de *Pinus* começaram a ser plantadas no Brasil em 1954 como uma forma de substituir a madeira de *Araucaria angustifolia*, pois começava o processo de escassez dos povoamentos naturais dessa espécie (ELESBÃO, 2011).

Serpa et al. (2003) avaliou algumas propriedades de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus saligna*, tais como rendimento em madeira serrada, massa específica básica, contração volumétrica total, resistência à flexão estática, resistência à compressão paralela às fibras e resistência à linha de cola, os valores médios encontrados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Propriedades Avaliadas de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus Saligna*

	Rendimento (%)	Massa Específica (g/cm ³)	Contração (%)	Flexão (MPa)	Compressão (MPa)	Linha de cola (MPa)
Pinus	50,13	0,5	10	50	30	7,96
Eucalipto	66,83		23	120	65	10,76

3.3.1. *Pinus elliottii*

Pinus elioti cujo nome científico *Pinus elliottii* Engelm da família Pinaceae, é uma madeira de reflorestamento (Figura 13), com ocorrência no Brasil Amapá, Espírito Santo, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Pará, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo, e em outros países como Estados Unidos, espécie introduzida no Brasil (Instituto de Pesquisas Tecnológicas- IPT, 2016).

Figura 13 - Árvore de *Pinus elliottii*



Fonte: (BALLONI, 2009).

Também é conhecido por *slash pine*, pinheiro da Flórida ou pinheiro americano, é originário do sudeste dos Estados Unidos, que ocupa os estados de Alabama, Flórida, Georgia, Louisiana, Texas e outros (ELESBÃO, 2011).

Tonini (2000) diz que no local de plantio, as temperaturas podem variar de 15 a 24 °C, as precipitações de 650 a 2500 mm com um período de seca de até 4 meses, podendo ser resistente a geadas e a ventos.

Suas características sensoriais são: cerne e alburno indistintos pela cor, branco-amarelado, brilho moderado, cheiro e gosto distintos e característicos. Ensaio realizados em laboratório pelo IPT permitem fazer certa observação quanto a madeira de pinus, sendo suscetível ao ataque de fungos (emboloradores, manchadores e

apodrecedores), cupins, broca-de-madeira e perfuradores-marinho, com fácil tratabilidade dos agentes xilófagos. Esta madeira é de fácil trabalhabilidade, facilidade no desdobro, para aplainar, desenrolar, lixar, torneiar, furar, fixar, colar e permite bom acabamento. Facilidade em secagem. Com contração radial 3,4 %, tangencial 6,3%, volumétrica 10,5%. Tendo sua utilização na construção civil como ripas, partes secundárias da estrutura, cordões, guarnições, rodapés, lambris, formas para concreto, pontaletes e andaimes. Mobiliário utilizando em geral, moveis padrão e partes internas de moveis inclusive decorativos. Outros usos como cabo de vassoura, palito, chapas de compensado, lâminas decorativas, peças torneadas, artigos de esporte e brinquedos, embalagens, bobinas, carretéis e pincéis. (IPT, 2016)

Esta espécie possui densidade aparente (a 15% de umidade) igual a 480 Kg/m³ e densidade básica igual a 400 Kg/m³, com cerne e alburno indistintos pela cor, baixa densidade, brilho moderado, textura fina e cor branca- amarelado. (NAHUZ, 2007).

Balloni (2009) obteve valores médios da caracterização física para essa espécie: densidade básica de 470 Kg/m³, contração volumétrica de 9,82%, inchamento volumétrico de 10,89%, contração tangencial de 5,78%, contração radial de 4,35% e coeficiente de anisotropia de 1,33%.

Segundo Barrichelo et al., (1975), a variação da densidade e da composição química de árvores leva há um aumento de densidade proporcional ao aumento de idade para *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*.

Em função das suas características, essa madeira possui aplicações em vários ramos da indústria madeira, onde é submetida ao processo de lixamento para desbaste e acabamento superficial (SANTIAGO, 2011).

3.3.2. *Eucalyptus saligna*

Segundo Mora e Garcia (2000) a madeira de gênero Eucalipto é natural da Austrália e possui cerca de 600 espécies adaptadas a muitas condições de clima e solo. Uma das espécies de grande importância é o *Eucalyptus saligna*.

Eucalipto-Saligna cujo nome científico *Eucalyptus saligna* Sm. da família Myrtaceae, com nomes internacionais blue gum ou sydney blue gum (Austrália), no Brasil com ocorrência no estado da Bahia, Góias, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul,

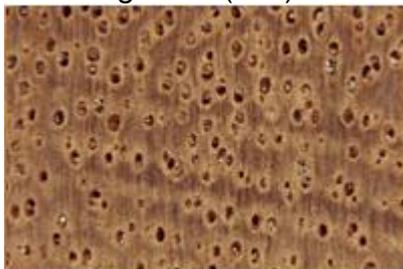
Minas Gerais, Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo. Em outros países como África, Chile, Congo, Malauí, Nigéria, Nova Zelândia, Quênia e Zaire (IPT, 2016).

É uma angiosperma, dicotiledônea, pode ter até 2,5 m de diâmetro na altura do peito (DAP), forma de fuste com baixa conicidade facilitando a sua utilização e levando a um melhor aproveitamento da madeira (IPEF,2015).

As árvores são tipicamente altas, podendo atingir 50 m de altura, em aspectos botânicos é muito parecida com o *Eucalyptus grandis*, existe desde o nível do mar até altitudes de 1000 m. (MORA e GARCIA, 2000)

Possui características sensoriais como cerne e alborno distinto pela cor, cerne avermelhado ou castanho-avermelhado-claro, com cheiro e gosto imperceptíveis, densidade média, grã direita e textura média. Descrição macroscópica anatômica tendo parênquimas axiais indistintos mesmo sob lente, as vezes paratraqueal vasicêntrico formado com fluências curtas e oblíquas. Raios visíveis somente sob lente no topo e na face tangencial, vasos também visíveis sob lente no topo e na face tangencial (Figura 14), porosidade difusa, disposição diagonal, numerosos, médios, exclusivamente solitários, obstruídos por tilos. Camadas de crescimento variando de distintas a indistintas. Sua durabilidade natural do cerne considerado de moderada a baixa resistência a seres xilófagos. A tratabilidade sendo o cerne impermeável a soluções preservativas mesmo quando submetida a impregnação sob pressão, no entanto seu alborno de fácil tratamento. Sendo de fácil trabalhabilidade, considerada fácil a ser desdobrada quando utilizado os métodos adequados. Tem facilidade em operações de usinagem como por exemplo, torneamento, furação e lixamento, apresenta bom acabamento. A secagem é classificada como rápida com a ocorrência de rachaduras e empenamentos (IPT, 2016).

Figura 14 - Fotomacrografica (10x) de *Eucalyptus saligna*



Fonte: IPT (2016.)

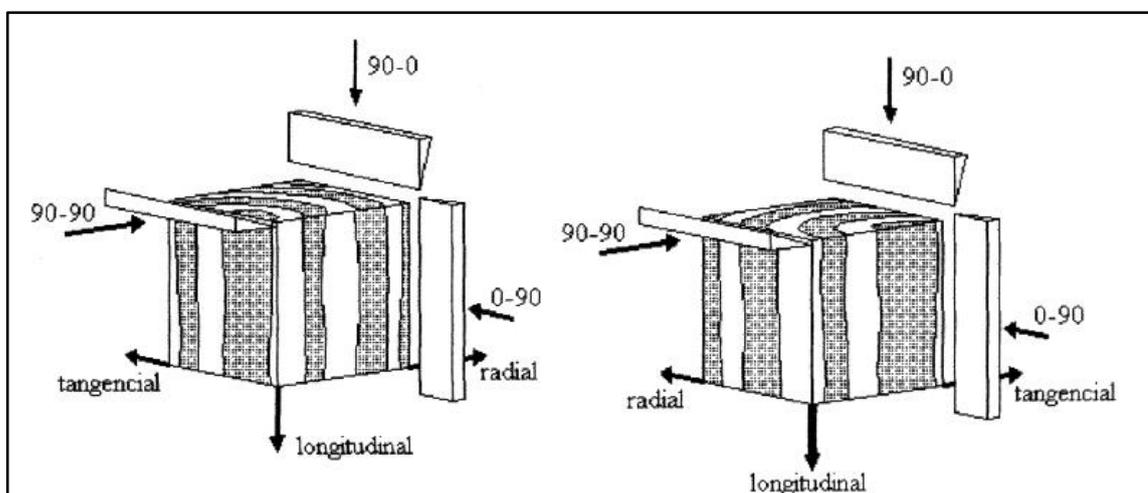
Sua densidade aparente a 15% de umidade com 690 Kg/m^3 , contração radial de 6,8%, tangencial 13,4% e volumétrica de 23,4%. Sua utilidade na construção civil em forma de postes, mourões, cruzetas, caibras, ripas e vigas. Em assoalhos como taco, no mobiliário como móveis estandar, e partes internas sendo decorativos, tendo outros usos como lâminas de utilidade em geral, chapas compensadas e embalagens. (IPT, 2016).

Guimarães *et al.* (2013) caracterizou química e fisicamente a madeira de *Eucalyptus saligna*, encontrando valores médios de densidade básica de 610 Kg/m^3 , teor de extrativos totais de 7,87%, cinzas de 0,19%, 29,4% de lignina, 62,63% de holocelulose.

3.4. Lixamento

Segundo Gonçalves (2002) devido a estrutura ordenada da madeira, evidenciando seu crescimento orientado das fibras, raios e vasos, em virtude das propriedades físicas e mecânicas há uma variação segundo a direção considerada. Fato que implica em ter conhecimento sobre os diferentes tipos de corte, tendo em vista uma descrição prévia do comportamento anisotrópico da madeira. Levando em consideração as principais direções de corte, cuja padronizadas na literatura específica, sendo a direção longitudinal ou axial realizando o corte paralelo às fibras (notação 90 – 0), direção radial realizando corte perpendicular às fibras (notação 0 – 90) e a direção tangencial realizando corte perpendicular às fibras (notação 90 – 90). A Figura 15 ilustra as direções de corte da madeira.

Figura 15 - Sistemas de corte aplicado à seção transversal da madeira



Fonte: Gonçalves (2002)

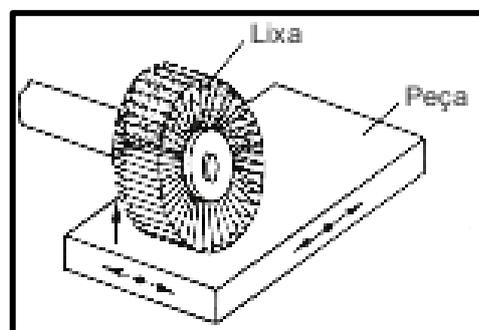
Os mecanismos de formação de cavaco para madeira existem três tipos sendo:

- Tipo I: Ocorre quando a madeira sofre fendilhamento à frente da ferramenta por cisalhamento gerando quebra sob flexão.
- Tipo II: Acontece quando o material é arrancado somente pela aresta de corte para a superfície de trabalho.
- Tipo III: Surgem através da força realizada pelo movimento da ferramenta causando quebras de cavaco por compressão e cisalhamento.

O melhor cavaco para madeira seria o do Tipo II, sendo favorecidos por fatores como cavacos finos, médio teor de umidade e ângulos de saída intermediários. No entanto a formação do cavaco Tipo I, quando às fibras estão na direção ascendente ao plano de corte em relação à direção de corte, conseqüentemente gera uma boa qualidade superficial dado ao controle da aresta cortante na região do cisalhamento do cavaco. Fato que quando às fibras estão na direção descendente ao plano de corte ocasiona defeito de acabamento “fibras lascadas”. (GONÇALVES, 2002)

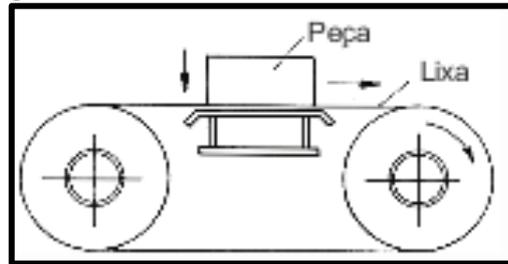
Lixamento é o processo mecânico que faz parte da usinagem por abrasão, executado por grãos abrasivos aderidos a uma tela e movimentado com pressão contra a peça. Figura 16 e Figura 17 ilustra o procedimento. (ABNT NBR 6175/2015)

Figura 16 - Lixamento com folhas abrasivas



Fonte: ABNT NBR 6175/2015

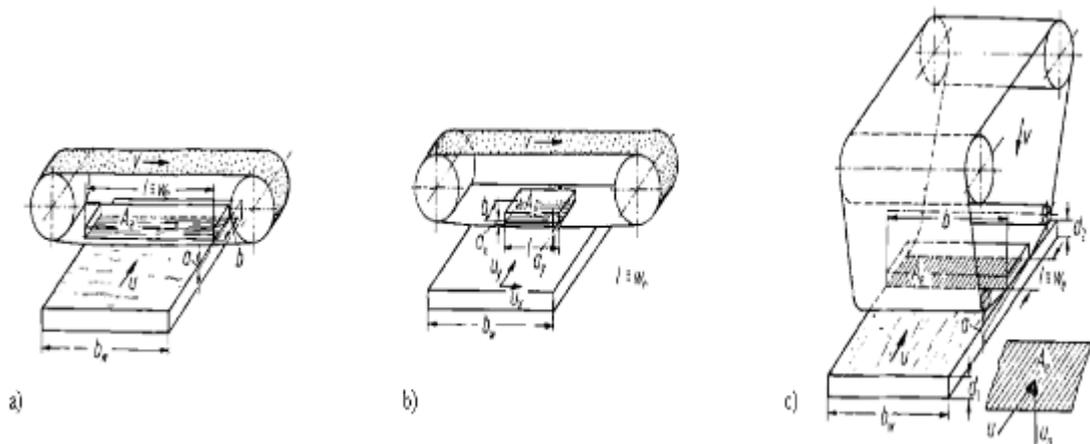
Figura 17 - Lixamento com fita abrasiva



Fonte: ABNT NBR 6175:2015

Lixadeira plana diz respeito a área propriamente dita em contato durante o processo de usinagem, que corresponde a uma superfície plana, onde a lixa percorre o membro plano da lixadeira (Figura 18). A chapa de pressão, sapatas de pressão e vigas são utilizados elementos de apoio. Sendo a pressão aplicada manual ou mecanicamente. O processo de lixamento tem como uma das chaves operacionais principal a variação de velocidade média. (PAHLITZSCH, 1970)

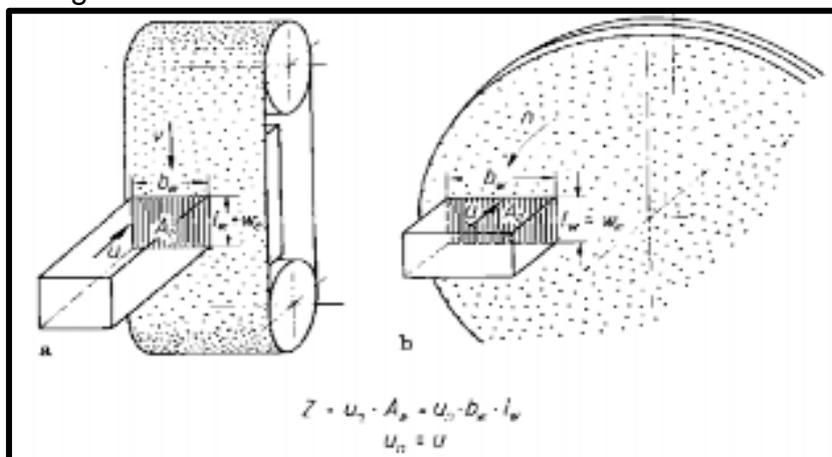
Figura 18 – Lixamento com uma zona de contato plana: profundidade de corte “a”, largura da superfície de contato “b”, largura da peça de trabalho “ b_w ”, espessura da peça de trabalho “ d_1 ” antes do lixamento, espessura da peça de trabalho “ d_2 ” após lixamento, comprimento.



Fonte: PAHLITZSCH, (1970)

Para Pahlitzsch (1970), Ao realizar lixamento de peças menores, há necessidade de outros procedimentos no momento da operação (Figura 19). Onde o material a ser usinado posiciona-se no sentido perpendicular ao plano da lixa de fita ou ainda de disco. Para a lixadeira de disco existe uma certa desvantagem devido a velocidade média ter uma variação do centro para a borda.

Figura 19 – Lixamento com uma zona de contato plana: rotação n , outras designações referem-se a Figura 18.



Fonte: PAHLITZSCH, (1970)

O resultado da usinagem em madeira pode ser explicitada através de 5M, segundo Bonduelle et al. (2002); a) matéria prima; b) máquina; c) metodologia; d) mão de obra; e) meio ambiente.

- a) Matéria prima: referente as propriedades intrínsecas e interações com o processo;
- b) Máquina: referente a projeção da máquina, sistema de fixação, exaustão dos cavacos que visam otimizar o procedimento de usinagem;
- c) Metodologia: elaboração dos parâmetros de usinagem a serem utilizados, como também as ferramentas visando a otimização processo;
- d) Mão de obra: os operadores necessitam obter conhecimento sobre o processo, para que se houver alguma interferência os mesmos saibam como devem agir e corrigir qualquer deficiência do processo,
- e) Meio ambiente: respeitar a minimização de resíduos, ruídos e principalmente não ocorrer degradação ambiental, visando maior aproveitamento da matéria prima.

Um dos processos de usinagem utilizado na indústria madeireira é o processo de lixamento, que é dividido em duas frentes, sendo uma delas a regularização de uma primeira usinagem para uma superfície mais lisa e plana, desta forma realizando os devidos reparos do procedimento do desbaste. E a segunda frente consiste na preparação da superfície para a aplicação de elementos de

acabamento para indústria moveleira entre outras, como por exemplo vernizes, tintas, seladores entre outros revestimentos. (KOCH,1964).

Os processos de lixamento proporcionam não só uma menor rugosidade das peças, como também a eliminação de excesso de material na superfície das peças, para que se tenha um melhor acabamento superficial. Segundo Gonçalves (2000), o lixamento é de extrema importância em madeiras, quando o corte ocorre perpendicular às fibras, pois estas se rompem prejudicando o acabamento. As lixas têm por finalidade fazer correções dos processos de usinagem, que tenham surgido na madeira.

Segundo Ratnasingham e Scholz (2004), existem efeitos das características anatômicas da madeira sobre o processo de lixamento como exemplo, do cerne e alborno, anéis de crescimento, texturas, extrativos, etc. Relatam ainda, que madeiras de poros menores, produzem uma baixa qualidade superficial, caso ocorra ao contrário com madeiras de poros maiores.

De acordo Sulaiman et al (2009), os processos de usinagem em plaina apresentam característica e propriedades superficiais diferenciadas das madeiras que se utilizaram o processo de lixamento.

De acordo com Alves et al. (2010), o processo de lixamento é um processo onde ocorre o desbaste por abrasivo, onde os grãos abrasivos atuam como ferramenta de corte, processo definido de geometria não definida, se diferenciando do processo de retifica por não proporcionar o controle dimensional, geométrico e superficial da peça. O processo de lixamento é indicado para produtos que necessitam de material de acabamento, como tintas e vernizes, já que o mesmo contribui para aderência da tinta além do melhoramento superficial.

Para Tiburcio (2009), a qualidade da madeira superficial é importante devido a cada fim a ser utilizado, o processo de lixamento executado cabe-se para uma recebimento de produtos químicos, como tintas e vernizes, ou até mesmo uma melhoria superficial natural.

Segundo Santiago (2011), devido ao aumento produtivo das empresas, há uma cobrança em relação a qualidade, para que se tenha uma melhoria contínua da mesma, havendo necessidade de uma monitoração para que se tenha garantia do produto. Por este motivo a controle realizado pelo operário foi substituído por sensores, tal monitoração transmite o controle em tempo real, obtendo-se uma resposta mais rápida para que se tenha maior sucesso no monitoramento. Há uma

classificação para os sensores em ativos e passivos, sendo os ativos extensômetros, potenciômetros entre outros estes havendo necessidade de uma energia maior de energia para saída, os sensores passivos são os cristais piezelétricos, termômetro, bimetálico fotovoltaico e etc., estes sensores são os quais fornecem energia de saída praticamente integral.

Saloni (2007) relata que a densidade interfere no processo de lixamento levando em consideração a remoção de material. Independente de madeiras de coníferas ou de folhosas com relação a densidades altas, há uma dificuldade da remoção de material, sendo necessário no processo de lixamento granulometrias de lixas maiores e grãos com boa qualidade em sua propriedade de friabilidade.

Segundo Varasquim (2014), o acabamento superficial da madeira é sumo importância para as indústrias de madeira maciça que necessitam de processos de aplicação de vernizes e tintas, visto que havendo qualidade superficial desejada otimiza a aplicação desta forma criando economia destes materiais. Devido os grãos abrasivos não possuírem arestas de corte definida, acaba tornando o processo um pouco complexo, desta forma sendo necessário o conhecimento do tipo de madeira a ser usinado através do processo de lixamento, o grãos abrasivo a ser utilizada, desta forma evitando futuros problemas como por exemplo, empastamento da lixa gerado através dos extrativos da madeira.

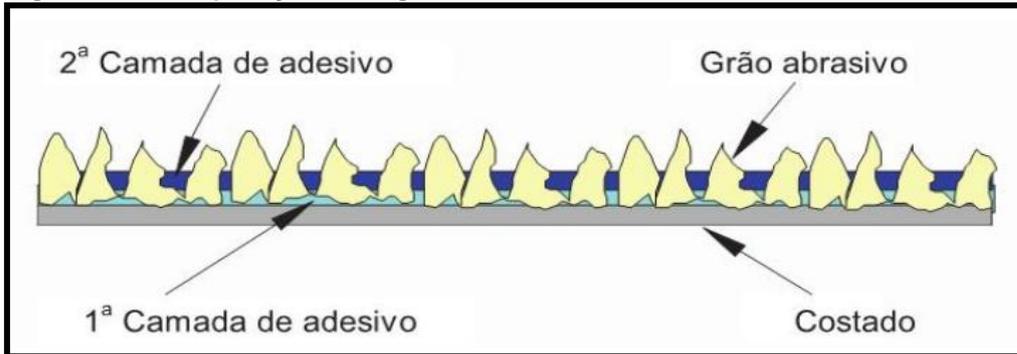
3.4.1 Granulometria de Lixas

Grãos abrasivos são obtidos através da trituração de minerais, onde formam partículas de diferentes tamanhos. De suas características são ressaltadas: Dureza, sendo esta definida pela resistência a ação do risco. Tenacidade, é a capacidade que os grãos abrasivos têm de absorver energia, resistir impactos sob ação dos esforços de choque sem perder o poder de corte. Grãos abrasivos, tem a característica da tenacidade onde são indicados para processos de altas pressões. Uma outra característica de grande importância é a friabilidade dos grãos abrasivos. As granulometrias comerciais das lixas têm como identificação numerações, onde estas explicitam a capacidade de desbaste. As mais grossas, ou seja, onde, maiores os grãos abrasivos têm o menor número de lixa. A granulometrias das lixas tendo com as mais grossas à partir do número 20 e as mais finas número 400 mesh. Para

madeiras macias ou resinosas indica-se, grãos com maiores densidades. (BIANCHI, 2014)

De acordo com Silva 2013 os componentes que compreende a lixa são grãos abrasivos, material de apoio que é o costado e adesivo, a Figura 20 ilustra a configuração de lixa.

Figura 20 - Disposição dos grãos

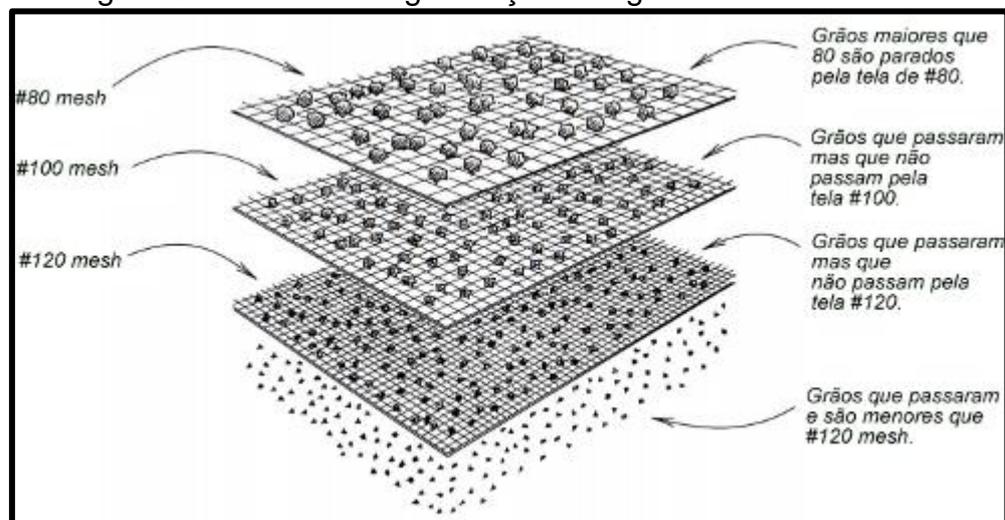


Fonte: ABNT NBR 14960/2003

A classificação mesh resulta a quantidade de fios por polegada linear da peneira, por onde as partículas ficam retidas. Quanto maior o número de fios por polegadas linear, mais finas a lixa, pois as mesmas retém partículas cada vez menores, e maior o número de mesh.

A Figura 21 ilustra a classificação mesh, onde representa a retenção dos tamanhos dos grãos relacionado com o espaço da malha.

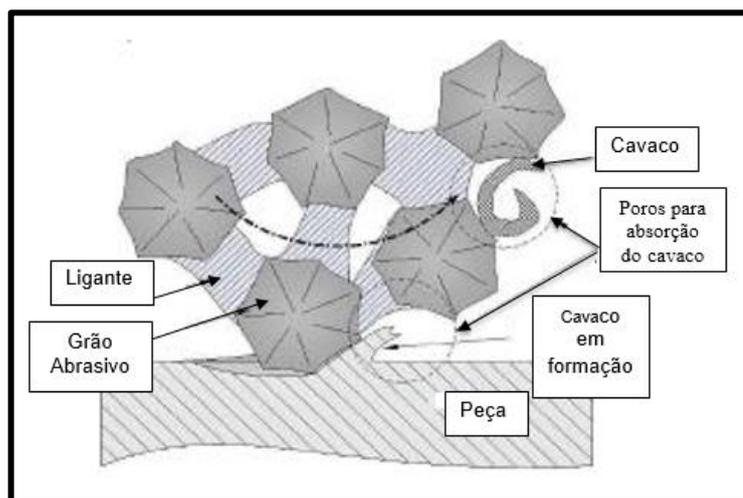
Figura 21 - Sistema de gradeação dos grãos abrasivos



Fonte: Adaptado de Nagyszalanczy (1997)

Segundo Setemmer (2008), o grão abrasivo e o ligante através do espaçamento é definida a estrutura entre os grãos. A estrutura é classificada em aberta (mais porosidade) e fechada (menos porosidade). A Figura 22 representa a estrutura entre grãos abrasivos e ligante.

Figura 22 - Estrutura grão abrasivo e ligante



Fonte: STOETERAU (2009).

Os grãos abrasivos mais utilizados industrialmente estão os grãos de óxido de alumínio, dióxido de silício, carbeto de silício, compostos de alumínio, óxido de ferro e sílica. O grão abrasivo de dióxido de silício é utilizado para operações em folhas de lixas manuais presente na natureza, elemento de quartzo de cor branco acinzentado, encontrado em grandes quantidades na América do Norte. O dióxido de silício não tem bastante utilização industrial por não apresentar boas qualidades de dureza e durabilidade, mesmo tendo baixo custo e índice positivo de friabilidade. (SILVA, 2013)

Os grãos de óxido de alumínio é obtido da fusão da bauxita, triturada e calcinada, misturada com pequena porcentagem de coque, ferro, Ti e MgO₂, com temperatura de 1900 à 2000 °C, em forno elétrico a arco por aproximadamente 36hs, sendo que o resfriamento pode ocorrer em até uma semana. São feitos blocos e depois estes blocos são triturados e fraturados.

Bauxita moída utilizada na fabricação das ferramentas abrasivas.

Segundo Silva (2013), os grãos abrasivos de óxido de alumínio apresentam em suas partículas melhor índice de dureza, dos já grãos citados, isso o torna competitivo por ter alta resistência a ruptura, logo é bastante utilizado em processo de lixamento que necessitam de aplicações de grandes pressões. Já o grão de carbetto de silício acaba se desgastando mais rápido devido sua fragilidade, mesmo sendo um dos grãos que apresentam maior dureza, sendo indicado para o processo de lixamento secundário, ou seja, para eliminar material após um desbaste, também apresenta bom desempenho em lixamento de painéis de madeira particulados onde se utilizou resinas como revestimento.

As partículas são selecionadas de acordo com cada tipo de malha, como forma de peneiramento.

As variações dos grãos de óxido de alumínio compreendem em convencionais, alumínio marrom, alumínio branco e alumínio cerâmicos. Óxido de alumínio convencionais, grãos extremamente robustos, cuja forma permite penetração rápida em materiais duros não desgastando excessivamente. É bastante utilizado em matérias de alta resistência a tração. Óxido de alumínio marrom, com grãos robustos e com pouco desagregamento. Sua utilização para corte, desgaste e de retificação em aços de baixo carbono, facas, alavancas, picaretas e talhadeiras. Indicado em aplicações em madeira dura e alumínio. O óxido de alumínio branco, é utilizados em operações (acabamento) e afiação de ferramentas de aço rápido. O óxido de alumínio cerâmicos tem grão este que é sinterizado à partir de um material alfa-alumina, de alto grau de pureza, dando origem a um grão com bilhões de partículas. Sua principal característica é a fratura em micropartículas e em consequência manutenção de aresta de corte, sendo este proporcionando uma maior vida útil do abrasivo. A Figura 25 ilustra grãos sinterizados e convencionais.

Figura 23 - Ilustração de grãos abrasivos sinterizados e convencionais



De acordo com Varasquim (2014), os grãos abrasivos mais utilizados no processo de lixamento da madeira são o óxido de alumínio, carbetto de silício e óxido de zircônio. O formato do grão, friabilidade e durezas são as características que fazem com que estes grãos se sobressaem sobre as demais.

O processo de remoção do material por processo por abrasão são feitos através de grãos abrasivos, sendo estes grãos fabricados por materiais cerâmicos. Cerâmicas são utilizadas na fabricação de grãos abrasivos devido suas propriedades, como por exemplo o caso dos grãos abrasivos de óxido de alumínio e carbetto de silício com propriedades positivas quanto a dureza. As propriedades de friabilidade, tenacidade, resistência química são tão importantes quanto a dureza. A característica de dureza do grão abrasivo diz respeito a sua capacidade de remover taxas de materiais e riscar, isto devido sua eficiência ao desgaste quando duas superfícies estão em contato. Já a propriedade de tenacidade do grão abrasivo é de suma importância considera-lo quando o processo ocorre sob altas pressões, pois exige uma certa quantidade de energia para o rompimento das arestas de corte, desta forma capazes de suportar impactos sem desgastes rápidos, os grãos de óxido de alumínio cerâmico possuem esta propriedade. (CARBORUNDUM, 2009)

O óxido de alumínio branco apresenta positiva qualidade de friabilidade, propriedade que faz com que os grãos abrasivos criem arestas cortantes continuamente sem haver desgaste do material abrasivo, através de fraturas nos grãos ao ser exercidos determinados impactos. (MALKIM, 1989). A tabela relata a dureza e o índice de friabilidade de alguns grãos abrasivos

Outra característica importantíssima é a resistência química, sabendo que em processos por abrasão geram calor, e com aquecimento no processo pode ser haver alguma combinação química podendo prejudicar o processo.

Tabela 4 - Grãos abrasivos

Tipo de Grão	Dureza Knoop (kg/mm ²)	Índice de Friabilidade	de
Óxido de Alumínio Modificado (3% Cr)	2260		65
Branco Monocristalino Regular	2120		56,6
Microcristalino	2280		47,7
10% ZrO ₂	2040		35,6
40% ZrO ₂	1950		10,9
Sinterizado	1960		10,9
	1460		7,9
	1370		6,5
Carbeto de Silício Verde	2840		62,5
Preto	2680		57,2

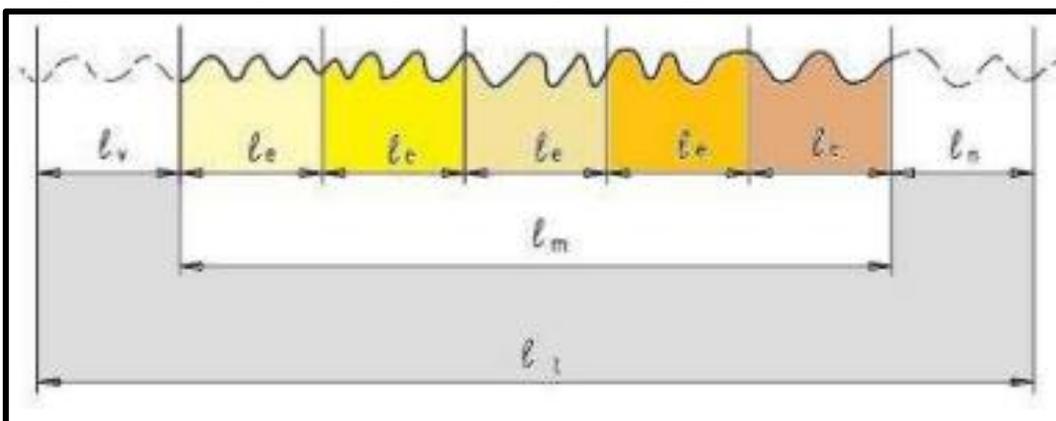
Fonte: MALKIM, 1989

3.5. Rugosidade

A norma ABNT NBR ISO 4287/2002, através do método de levantamento de perfil específica definições, termos bem como parâmetros para a determinação do estado da superfície (rugosidade, ondulação e perfil primário).

A Figura 26 representa o perfil de rugosidade e avaliação de rugosidade por comprimento de amostragem (cut-off).

Figura 24 - Comprimento para avaliação de rugosidade



Fonte: Baseado na norma ABNT NBR 4287/2002.

O desempenho da peça em operação é influenciado pelo acabamento superficial da mesma. (PIRATELLI FILHO, 2011).

Segundo Magoss (2008), as superfícies dos materiais apresentam irregularidades nas mesmas, formadas por picos e vales, ocasionando imperfeições, desta forma não obtendo uma rugosidade uniforme. Para definição da rugosidade utiliza-se os parâmetros Ra, Rz, Rt e Rmax. Os esforços de corte, velocidade, anatomia, ferramentas utilizadas no processo de usinagem, são fatores que contribuem diretamente na qualidade superficial do material.

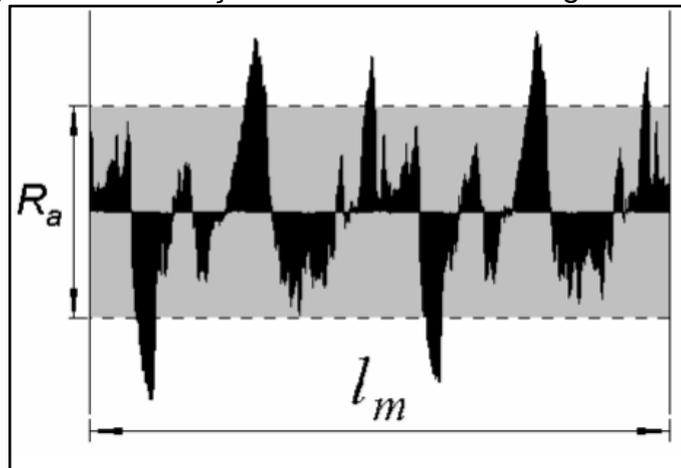
De acordo com Taylor et al., (1999) a estrutura anatômica da madeira principalmente as cavidades celulares, também influenciam diretamente na rugosidade da superfície da madeira.

Ainda de acordo com Kilic et al., (2006), a qualificação da superfície pode ter maior precisão com a medição da rugosidade, tendo em vista que a rugosidade é um parâmetro de maior preocupação para outros materiais não engenheirados e não para madeira maciça. Não há notificações de que se utilize continuamente a realização de medições da rugosidade da madeira através de rugosímetros de agulha, perfilômetros ópticos, imagens técnicas obtidas de câmeras de vídeo, pneumática, ultrassom e microscopia, estes são alguns equipamentos que permitem as medições da rugosidade da superfície da madeira.

Faccio (2002) descreve com sua revisão da literatura sobre processos de usinagem, que as superfícies analisadas nos processos de engenharia são realizados por contato direto, através de apalpador de um perfilômetro ou de um rugosímetro. Uma das rugosidades mais antigas utilizadas é a rugosidade média Ra, a mesma é representada pelo desvio padrão de um perfil da linha média da rugosidade. A Figura 27 representa o parâmetro de rugosidade Ra. Matematicamente a rugosidade média pode ser expressa por equação 1:

$$R_a = \frac{1}{l_n} \int_0^{l_n} |y(x)| dx \quad (1)$$

Figura 25 - Ilustração do Parametro de Rugosidade Ra



Fonte: FACCIO, 2003.

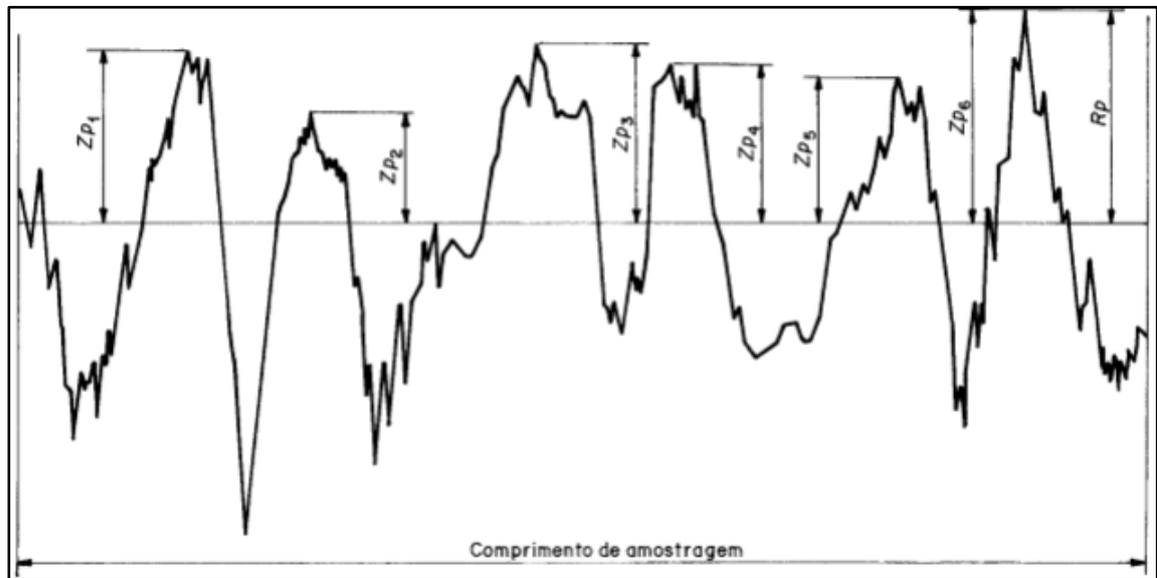
Segundo Piratelli Filho (2011), a rugosidade R_a é a mais utilizado parâmetro, sendo um dos mais comuns processos de fabricação, presente na maioria dos equipamentos são utilizados nas indústrias no controle contínuo da rugosidade na linha de produção, em superfícies de sucos de usinagem direcionados, por exemplo em fresamentos, torneamentos entre outros, também usados para finalidades em acabamentos estéticos.

O espaçamento entre picos também é um dos parâmetros de rugosidade, dado pelo comprimento medido quantidade de pico contados. As indústrias de chapas metálicas fazem grande utilização deste parâmetro, visando diretamente a condição afetada, sendo ela a aparência, conformabilidade do produto acabado e sua função.

De acordo com a norma ABNT NBR 4287/2002 a rugosidade R_t rugosidade total condiz com a altura máxima do perfil, o mesmo foi padronizado nas condições de R_z , sendo a soma da altura máxima dos picos do perfil (ver Figura 28) com as profundidades máxima do pico do perfil (Figura 29).

Esta rugosidade R_t permite a avaliação de todo o comprimento de amostragem. Utilizados em superfícies de vedação, transmite a deterioração máxima vertical da peça, contribui para o parâmetro da rugosidade R_a , a maioria dos países utiliza tal parâmetro. (PIRATELLI FILHO, 2011).

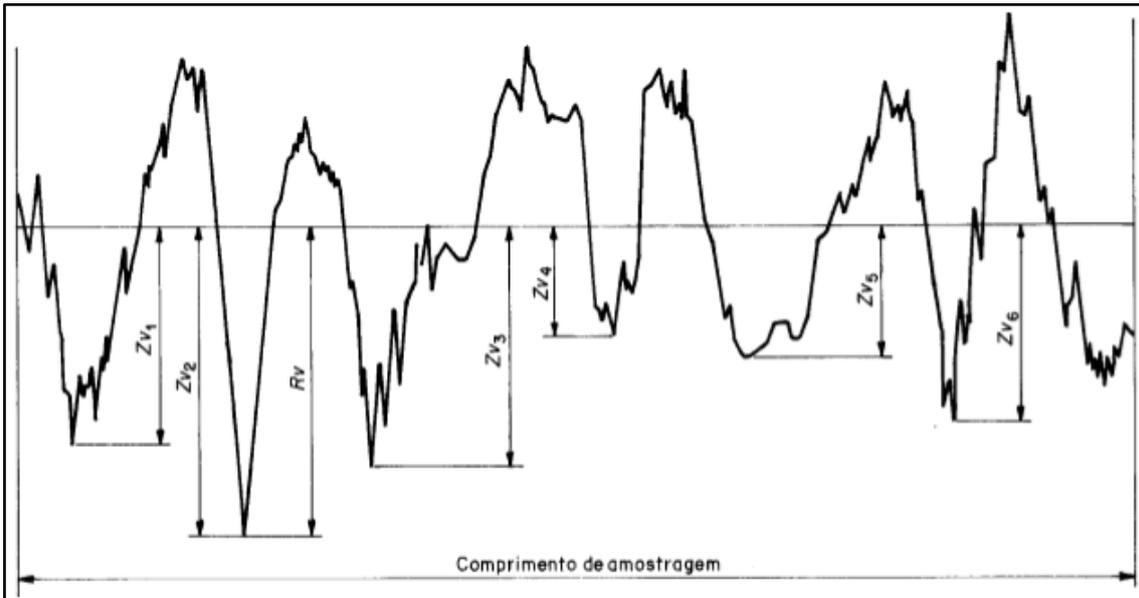
Figura 26 - Altura máxima dos picos máximos



Fonte: ABNT NBR 4287/2002.

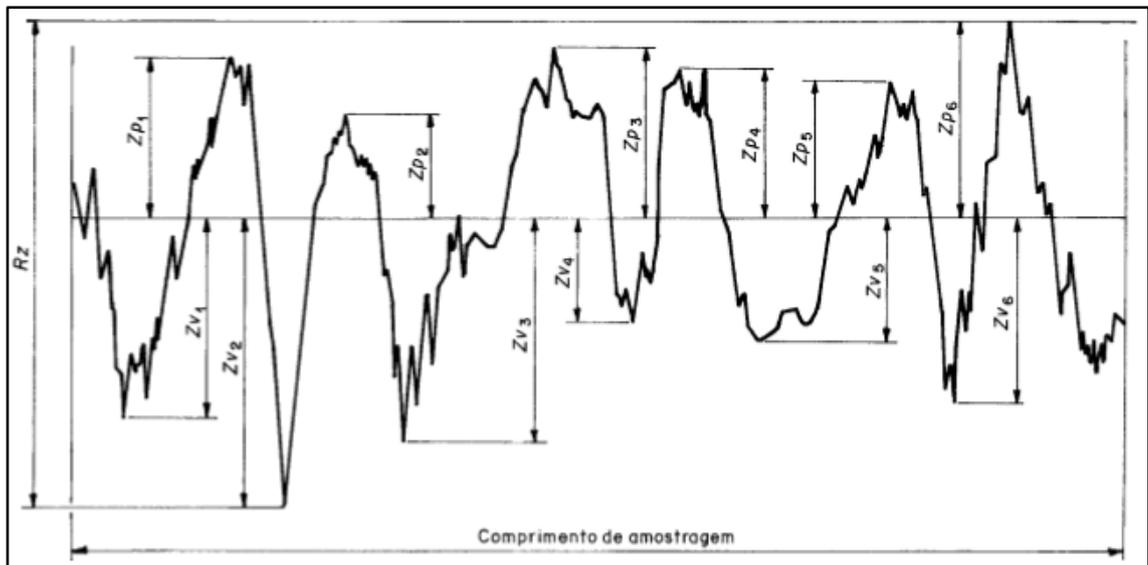
Figura 27 - Profundidade máxima do vale do perfil

Fonte: ABNT NBR 4287/2002



A Figura 30 ilustra o comprimento de amostragem na avaliação do parâmetro rugosidade R_t .

Figura 28- Altura total do perfil



Fonte: ABNT NBR 4287/2002.

3.6. Emissão Sonora

Processos industriais, carros, equipamentos, entre outros emitem sons que em muitos casos podem ser prejudiciais à saúde humana. De acordo com Fernandes (2005) toda sensação auditiva desagradável pode ser chamada de ruído, o qual fisicamente é definido como todo fenômeno acústico não periódico, sem componentes harmônicos definidos.

Ainda segundo o mesmo autor os ruídos podem ser classificados em três tipos:

- Ruídos contínuos: possuem variação de nível de intensidade sonora muito pequena em função do tempo. São ruídos característicos de bombas de líquidos, motores elétricos, engrenagens, entre outros.

- Ruídos flutuantes: estes apresentam grandes variações de nível em função do tempo. Gerados por trabalhos manuais, afiação de ferramentas, soldagem, o trânsito de veículos, entre outros, ou seja, são ruídos mais comuns nos sons diários.

- Ruídos impulsivos, ou de impacto: podem ser definidos como aqueles ruídos que, em um intervalo de tempo muito pequeno, apresentam altos níveis de intensidade sonora. São resultantes de explosões e impactos, como rebidadeiras, impressoras automáticas, britadeiras, prensas, entre outros.

Segundo a Organização Mundial de Saúde (WHO, 1999), o organismo consegue se adaptar com facilidade à um ruído de 50 dB mesmo que ele possa perturbar. Já um nível de 55 dB pode ocasionar estresse. O nível de 70 dB é considerado como o nível do desgaste do organismo, podendo aumentar a probabilidade de infecções, entre outros distúrbios característicos. À um nível de ruído de 80 dB há a ocorrência de liberação de endorfinas, causando a sensação de prazer momentâneo, enquanto que 100 dB pode causar perda de audição.

Portanto, a emissão sonora deve ser muito bem controlada, já que pode ocasionar problemas à saúde das pessoas a ela expostas.

Bastos et al 2010, diz que os ruídos tem afetado diversas pessoas. Este tipo de poluição tem causado muitos problemas provocando até mesmo neuroses agudas. Entre muitos distúrbios que a poluição sonora provoca, citou capacidade de concentração, perda auditiva permanente ou temporária, baixo rendimento, nervosismo, cansaço, tensão, ansiedade entre tantos outros, visto os dados

alarmantes, pronunciou a necessidade de pesquisas monitorando estes ruídos visando a minimização, e o controle desta poluição sonora.

3.7. Vibração

O acabamento superficial de uma peça de madeira maciça, ou de um painel de madeira, pode ser influenciado negativamente se o equipamento (lixadeira) estiver com uma vibração excessiva. Toledo (2013) afirma que a vibração está relacionada ao desgaste de ferramentas de corte e falhas de componentes de máquinas, avaliando experimentalmente ou industrialmente. Componentes estes que apresentam defeitos como elétricos, mecânicos (nas correias, engrenagens e rolamentos) e pela falta de manutenção destes equipamentos (alinhamento e balanceamentos).

Segundo Silva (2006) devido a captura dos sinais de vibração pode-se identificar possíveis falhas, assim identificando e acompanhando o decorrer do processo, realizando os possíveis reparos se necessário. Essas medições quando atingirem valores acima do limite aceitável no determinado processo, o mesmo indica o momento de manutenção da máquina. Tal medição é denominada Monitoração de tendência, onde a mesma consente o planejamento dos reparos de madeira preventiva. Esta manutenção já vem sendo aplicada desde os anos 70. A implantação do programa de Monitoração de tendência, tem o breve retorno econômico, seu investimento é rapidamente absorvido, pelo resultado positivo em economia das empresas que utilizam este sistema, devido a possibilidade de intervenções no planejamento de manutenção, chegando em 75% a economia em manutenção das empresas. Levando em consideração o alto custo que as empresas têm relacionados a manutenção, geradas certamente pela falta de acompanhamento ou descuido do operador, existem métodos para contribuir economicamente, principalmente em tempo da ferramenta ou equipamento. O método de Manutenção Preditiva também conhecida como Manutenção pela Condição, onde este realiza o intervalo fixo de medições dos parâmetros operacionais, transferindo a manutenção de intervalos fixos, sendo um dos principais parâmetros operacionais medidos em neste método a vibração. Enquanto as máquinas ainda estiverem trabalhando dentro dos parâmetros

aceitáveis não há necessidade de intervenções, por isso há periodicidade o acompanhamento desta e outras variáveis de saída.

Os equipamentos rotativos exibem maior concentração de vibração. O parâmetro vibração está submetido a uma resposta de excitação, como por exemplo, motores elétricos, á combustão, a asa de um avião em voo, eixo de compressos centrífugo, as molas de um vagão de trem, uma estrutura exposta á ação do vento, etc.

O monitoramento pode ser realizado para verificar problemas ou para aumentar a produtividade industrial, que é concretizado sem interromper o funcionamento da máquina, utilizando sensores de vibração que são conhecidos por acelerômetros piezoelétricos. Sensores estes que são fundamentados no efeito piezo elétrico dos cristais de quartzo que gera em 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).

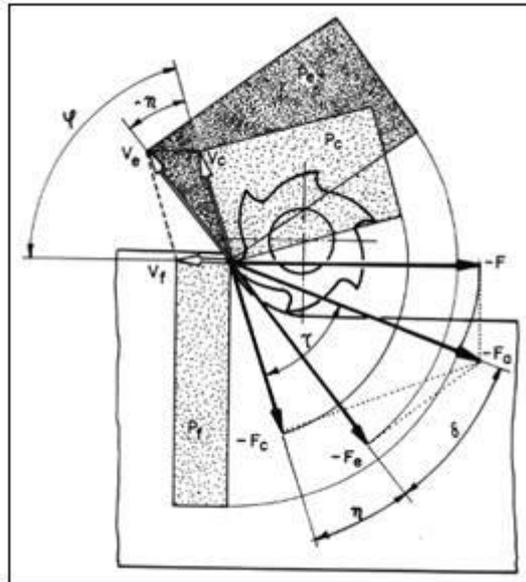
Segundo Varanda *et. al* (2010) que avaliou a influência de quatro velocidades de corte e três conjuntos de granulometrias de lixa no processo de lixamento de peças roliças de *Eucalyptus grandis* processadas através do lixamento tubular perpendicular as fibras. O parâmetro vibração obteve menor intensidade para a maior velocidade (28,1 m.s⁻¹).

Quando analisamos do ponto de vista do operador destes equipamentos que emitem vibrações, pode-se salientar a portaria Nº 25 de 29 de Dezembro de 1994 que estabelece a classificação dos principais riscos ocupacionais em grupos. Segundo o MTE (Ministério de Trabalho e Emprego, 1994) a vibração está classificada como riscos físicos (Grupo 1- verde). Uma metodologia utilizada para evitar ou diminuir as consequências das vibrações é o revezamento do operador que estão expostos ao risco, diminuindo o tempo de exposição.

3.9. Potência

Segundo a Norma ABNT NBR 12545/1991 o produto das componentes de velocidade com as componentes das forças de usinagem ativas na direção das velocidades correspondente, estas originam a potência de usinagem. A Figura 31 ilustra através de superfícies retangulares estes produtos.

Figura 29 - Superfícies retangulares



Fonte: ABNT NBR 12545/1991

A potência efetiva é o resultado da velocidade efetiva de corte com a força efetiva, segue abaixo a Equação 2 que a representa.

$$P_e = V_e \cdot F_e \quad (2)$$

A potência de corte mais a potência de avanço também originam a potência efetiva conforme a Equação 3.

$$P_e = P_c + P_f \quad (3)$$

Potência de corte é o produto da velocidade de corte com a força de corte (FERRARESI, 1977).

Para mensurar a potência de corte no processamento da madeira, somente instrumentação dos processos de usinagem não são suficientes, sendo necessário realizar medições experimentais para que possibilite a determinação da propriedade

de resistência ao corte de cada espécie de madeira, seguidos de condições pré-estabelecidas de umidade, geometria da ferramenta e direcionamento das fibras. (GONÇALVES, 2002)

A potência consumida no lixamento é um dos tipos de esforços de usinagem. Estudos indicam que a potência aumenta linearmente com a pressão exercida, também é influenciada pela direção de corte, velocidade do volante e força de corte (VARASQUIM *et al.*, 2011).

Segundo Jemielniak (1999), sensores de potência medem a potência de acionamento do fuso e corrente alternada (C.A.).

O consumo de energia é uma questão de suma importância em diversas áreas por causa do seu alto custo e ao esforço em âmbito mundial para reduzir o mesmo. De acordo com o estudo desenvolvido por Saloni *et al.* (2001), este consumo aumenta linearmente com o aumento da pressão da lixa.

Ratnasingham *et al.* (2002), analisaram o lixamento da espécie *Havea brasiliensis* na lixadeira de banda larga, no qual, eles variaram alguns parâmetros do equipamento com intuito de obter melhores respostas de saída, como por exemplo, um menor consumo de potência. E eles concluíram que com o aumento da velocidade de alimentação e a velocidade da lixa têm-se um maior consumo de potência.

Em um estudo realizado para verificar as variáveis que influenciam na taxa de remoção de material, na rugosidade e no consumo de potência durante o processo de lixamento de duas diferentes espécies (*Acer saccharum* e *Pinus Strobus*), Saloni *et al.* (2005), verificou que, o consumo de potência permaneceu estável para a mesma pressão e velocidade independentemente da espécie da madeira e abrasivos utilizados. Javorek *et al.* (2006), também concluíram que a espécie da madeira utilizada no processo não influencia no consumo de potência, porém, a pressão e a direção de corte têm importância significativa na potência de corte.

Varasquim (2009), analisou a influência da velocidade de corte no processo de lixamento do *Eucalyptus Grandis* e observou que a granulometria de lixa influencia na potência consumida durante o processo, no entanto, esse aumento não foi proporcional ao aumento da granulometria utilizada (P80 - P100 - P120).

3.9. Temperatura

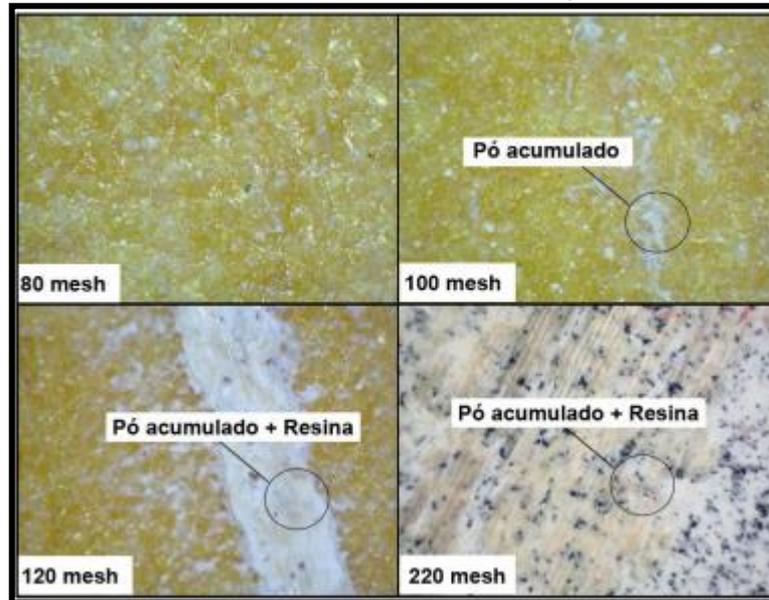
Gonçalves (2002) cita Koch (1964) evidenciando que há interações entre a temperatura da peça, teor de umidade, ângulo de saída e espessura do cavaco, que limita a verificação experimental separadamente deste fator.

A temperatura da madeira não exerce influência alguma com relação aos esforços de corte. (GONÇALVES, 2002)

A temperatura é mais um fator que influenciar diretamente no processo de lixamento, quando sua intensidade não é a ideal, causando alterações na fibras da madeira, promovendo queda em sua resistência, podendo ela ser mecânica ou física. Esteticamente também a temperatura influencia neste processo de usinagem, gerando queima da superfície, assim interferindo na aplicação de materiais no processo de acabamento, como por exemplo impedindo a absorção dos produtos na superfície da madeira. (SALONI, 2007)

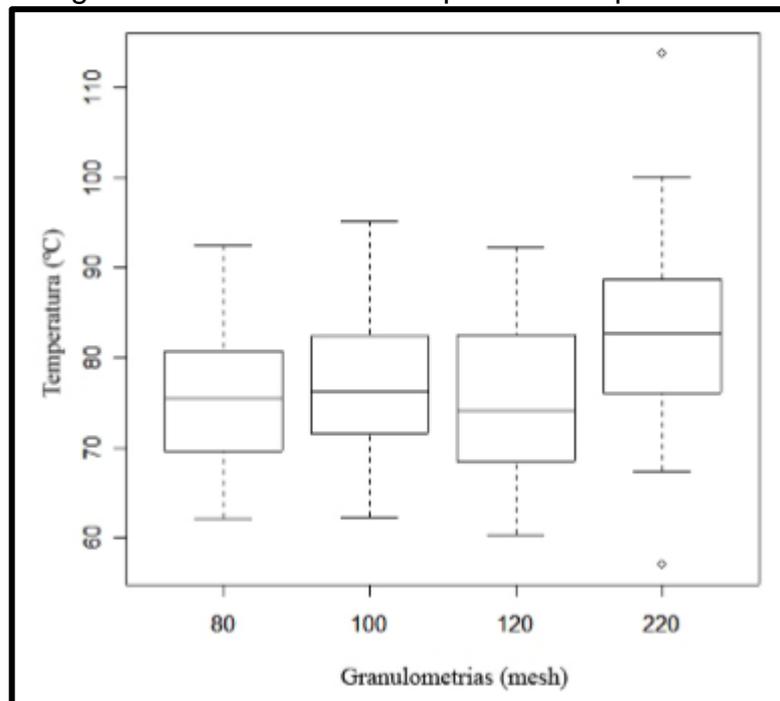
Para granulometrias maiores onde os grãos são mais finos, há um aumento de temperatura, devido a maior quantidade de grãos por polegada na lixa em contato com a madeira. Ocorre um incrustamento na lixa, como pode-se observar na Figura 32, impossibilitando a remoção de material, incrustamento este ocorrido através dos extrativos do material como é o caso da madeira de pinus por exemplo com a resina entre outros extrativos juntamente com parte do material removido, assim reduzindo a taxa de remoção, e aumentando a temperatura relativamente no processo de lixamento. Para o *Pinus elliottii* no processo de lixamento, com granulometrias menores cujo tamanho de grão abrasivo é maior, há espaços maiores entre os grãos onde armazenam o material removido não se prejudicando com a resina liberada pela madeira de pinus, desta forma não ocorre o incrustamento, nem elevação na temperatura, desvantagem que ocorre com os grãos abrasivos menores, incrustando mais facilmente devido à falta de espaço entre os grãos. Na Figura 33 podemos observar o aumento de temperatura no processo de lixamento conforme ocorre a diminuição dos grãos abrasivos. (SANTIAGO, 2011)

Figura 30 - Acumulo de material no abrasivo no processo de lixamento



Fonte: SANTIAGO (2011)

Figura 31 - Influência da granulometria sobre a temperatura no processo de lixamento



Fonte: SANTIAGO, 2011.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste tópico estão apresentados os materiais utilizados no ensaio bem como a metodologia.

4.1. Produção Corpos de Prova

Os corpos de prova foram fabricados no Laboratório de Processamento da Madeira no Campus Experimental da UNESP de Itapeva. As condições de preparação dos corpos de prova foram idênticas de maneira a não influenciar o processo de lixamento eo acabamento superficial. Após a preparação do desdobro inicial, as peças com dimensões de 1000 x 30 x 60 mm foram aplainadas em duas faces de referência em uma plaina da marca ROCCO modelo PMS 350, reduzidas nas dimensões (largura e espessura) em uma plaina desengrossadeira da marca BALDAN modelo DGR4 e serradas em uma esquadrejadeira da marca VERRY modelo LIFE nas dimensões finais. A Figura 34 ilustra os processos de usinagem realizados na segunda etapa.

Os corpos de prova foram preparados para que o lixamento acontecesse na direção paralela às fibras com relação aos planos de corte (tangencial e radial) aleatoriamente distribuídos, e para o sentido perpendicular às fibras ajustou-se o suporte da lixadeira. As dimensões finais dos corpos de prova foram 30 x 54 x 23 mm, onde são ilustradas na Figura 35. As peças foram ensaiadas com teor de umidade de 12%.

Figura 32 - Diagrama do processo de usinagem

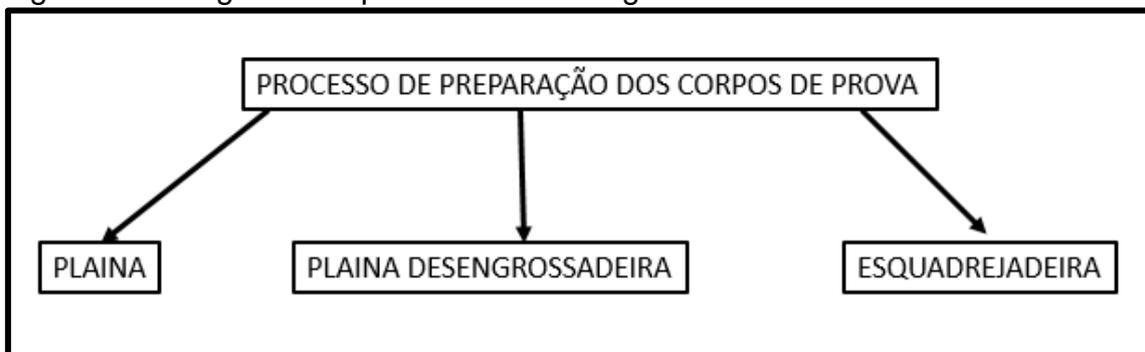
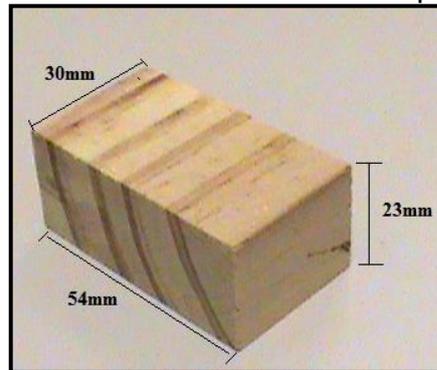


Figura 33 - Tamanho ilustrativo do corpo de prova



Fonte: SANTIAGO, 2011

4.2. Determinação do teor de umidade

O teor de umidade foi realizado através do método gravimétrico da seguinte forma. Mediu-se a massa inicial (m_i) do corpo de prova, após a determinação da massa inicial, colocou-se o corpo de prova na câmara de secagem, com temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Durante a secagem a massa do corpo de prova foi medida a cada 6 h, até que ocorreu uma variação, entre duas medidas consecutivas, menor ou igual a 0,5%. Esta massa foi considerada como a massa seca (m_s). Conhecida a massa seca (m_s) do corpo de prova, determinou-se a umidade à base seca de acordo com a Equação 4. Esta determinação foi realizada de acordo com a norma NBR 7190 para comprovação que a madeira entrou em equilíbrio com ambiente em aproximadamente 12% UE.

$$U_{(\%)} = \frac{(m_i - m_s)}{m_s} \times 100 \quad (4)$$

Onde: $U_{(\%)}$ = porcentagem de umidade base seca;

m_i = massa de amostra úmida, em gramas;

m_s = massa de amostra seca, em gramas.

4.3. Análise Física da Madeira

4.3.1. Determinação da densidade aparente

A densidade aparente foi determinada segundo a norma NBR 7190/1997. O procedimento consiste em determinar a massa do corpo de prova em uma balança com precisão de 0,01 g e medir o seu volume. Para medição do volume do corpo de prova utilizou-se um paquímetro mecânico da marca Mitutoyo com precisão de 0,05mm. A densidade aparente (D_{ap}) é massa específica convencional, definida pela razão entre a massa e o volume do corpo de prova com teor de umidade de 12% (UE), sendo dada pela Equação 5

$$D_{ap(12\%)} = \frac{m_{12\%}}{V_{12\%}} \quad (5)$$

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

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

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

4.3.2. Determinação da densidade básica

A densidade básica da madeira é definida como a relação entre o peso de uma amostra seca em estufa e o seu volume verde ou saturado de água. Essa determinação seguiu o método da balança hidrostática, segundo norma ABNT NBR 7190/1997. Os corpos de prova foram acondicionados em uma caixa com água até a sua saturação completa. Após a saturação, pesaram-se as amostras imersas (m_i) em uma balança hidrostática. Removeu-se a água superficial dos corpos de prova, e pesaram-se as amostras saturadas (m_v) na mesma balança.

Em seguida, secaram-se os corpos de prova com temperatura de $103^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, até que ocorreu uma variação, entre duas medidas consecutivas, menor ou igual a 0,5%, obtendo-se a massa seca (m_s). A densidade básica foi determinada através da Equação 6.

$$D_b = \frac{m_s}{m_v - m_i} \quad (6)$$

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

m_s = massa de amostra seca, em kg;

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

m_i = massa de amostra saturada imersa em água, em kg.

4.5. Lixamento

A seguir serão descritos os componentes do banco de ensaio de lixamento, os valores das variáveis predefinidas do processo de lixamento, os métodos de cálculo empregados para obtenção dos valores das variáveis mensuradas, a forma de acondicionamento dos abrasivos e o planejamento experimental estabelecido para execução do experimento.

4.5.1. Descrição do banco de ensaio

O banco de ensaio é composto por uma lixadeira plana com um suporte adaptado para fixação do corpo de prova.

Utilizou-se lixadeira plana de marca BALDAN[®], modelo LFH-2, sendo suas características descritas na Tabela 5 abaixo.

Tabela 5 - Características técnicas da lixadeira plana.

Lixadeira plana	
Dimensão da Mesa	530 x 160 mm
Diâmetro do disco de lixa	250 mm
Rotação do disco de lixa	2580 rpm
Inclinação da mesa do disco	45°
Dimensão da fita de lixa	1480 x 150 mm
Posição de trabalho	0-90°
Potência do motor	1 CV
Peso líquido aproximado	78 kg

A lixadeira plana tem um suporte em aço ABNT 1010, juntamente com um pistão onde estão acoplados na mesma, com um auxílio de um dispositivo para sustentação dos corpos de prova, acionado através de sistema pneumático, para que ocorra o processo de lixamento de cada amostra. A Figura 36 representa a lixadeira plana.

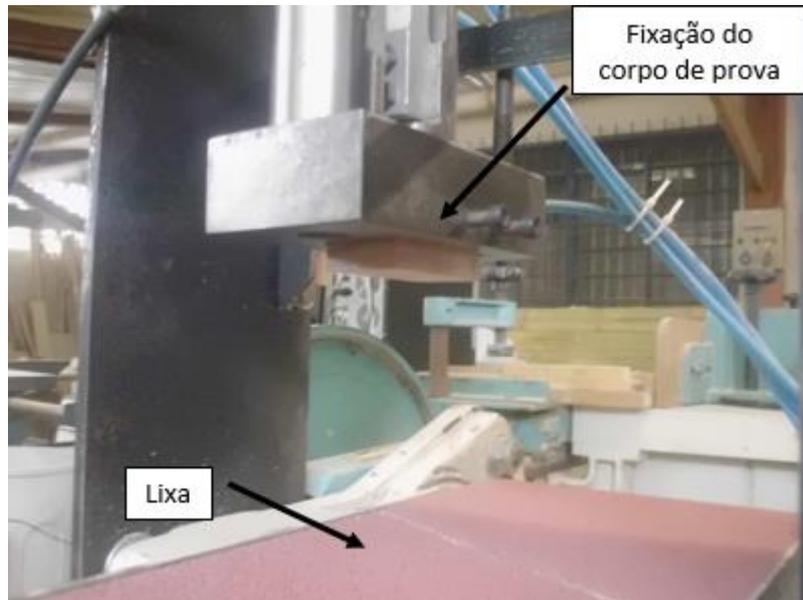
Figura 34- Banco de ensaio



Fonte: Autor

As lixas utilizadas no experimento foram climatizadas e acondicionadas de acordo com a norma NBR 14960/2003. Colocaram-se as lixas em um armário devidamente climatizado para que se pudessem atender as condições ideais que correspondem: 40 – 50% de umidade relativa com 15 – 29°C de temperatura ambiente. O abrasivo utilizado no experimento foi o óxido de alumínio. As granulometrias aplicadas foram P30, P40, P80, P100, P120, P220, P320, P400 e o fabricante da lixa corresponde à empresa NORTON SAINT- GOBAIN abrasivos. A Figura 37 ilustra a fixação do corpo de prova.

Figura 35 - Suporte com o corpo de prova



Fonte: Autor

Acionou-se o sistema pneumático para cada amostra a ser lixada, permitindo-se que cada corpo de prova fosse lixado até um limite de 2mm para análise das variáveis, onde foram captados os dados necessários, posteriormente ocorreu-se o retorno do pistão com a peça lixada, processo repetido para todo o ensaio.

4.5.2. Condições de lixamento pré-estabelecidas

Aplicou-se o método de TAGUCHI (L16) para delineamento do experimento. Utilizou-se este método devido a robustez do método e por permitir uma otimização de recursos relativos aos ensaios. Foram realizadas três repetições para cada condição ensaiada.

Para este ensaio utilizou-se três fatores, sendo eles espécie de madeira, grão abrasivo e sentido de corte. No fator espécie utilizou-se dois níveis. Para os grãos abrasivos 8 níveis, e sentido, dois níveis. A Figura 38 representa as combinações de lixamento para o presente trabalho.

Tabela 6 - Delineamento de Taguchi

Tamanho de Graõ	Espécies	Sentido de corte
1	1	1
1	2	2
2	1	1
2	2	2
3	1	1
3	2	2
4	1	1
4	2	2
5	1	1
5	2	2
6	1	1
6	2	2
7	1	1
7	2	2
8	1	1
8	2	2

4.5.4. Sistema e monitoramento da potência e vibração

Para captação dos dados foi-se necessário a utilização de um sistema de aquisição por meio do software comercial Labview®. Onde através de sensores conectados a lixadeira e ao computador, pode-se acompanhar, controlar e armazenar os dados através do software.

Os dados coletados através dos sensores foram armazenados em arquivos individuais, de acordo com cada variável capturada.

Para a potência consumida no processo de lixamento, utilizou-se um sensor de efeito HALL de marca LEM e modelo AT50B10 acoplado aos fios do motor, cujo formato de alicate, conforme Figura 39.

Figura 37 – Sensor de potência



Fonte: Autor

O sensor em função da corrente elétrica que passa por uma das fases do motor gera uma saída proporcional de 0 a 10 Volts de Corrente Contínua (VCC) que precisa ser convertida para ampéres. Através da Equação 7 para a transformação do dado adquirido em volts para ampéres.

$$I = U_{cc} * 5/4 \quad (7)$$

I = corrente de uma das fases em ampéres;

U_{cc} = tensão de corrente contínua em volts.

Substituindo o valor da corrente, o valor da tensão de fase do motor da lixadeira e o fator de potência (0,92) do motor, obtêm-se a Equação 8 e 9 para cálculo da potência:

$$P_c = I \times U_f \times F_p \times \sqrt{3} \quad (8)$$

P_c = potência consumida, em watts;

I = corrente alternada de uma das fases, em ampéres;

U_f = tensão de uma das fases, em volts;

F_p = fator de potência.

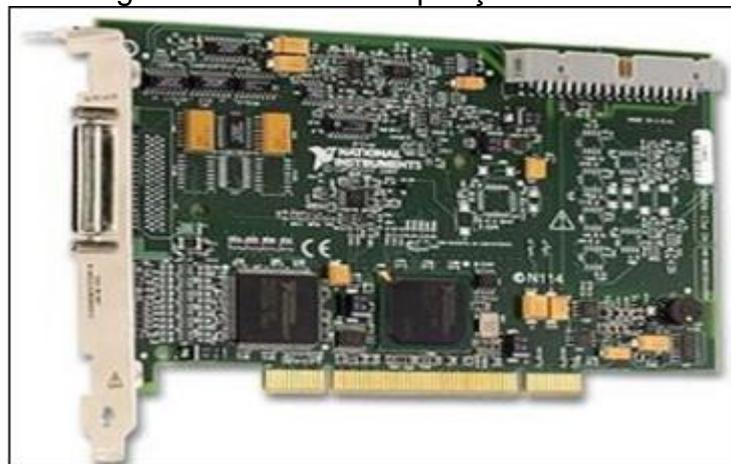
$$P_c = U_{cc} * 5/4 * 0,92 * 220 * \sqrt{3} \quad (9)$$

Para a captação da vibração foi utilizado um sensor piezelétrico marca Vibro Control, modelo TV100 cujo sinal elétrico foi convertido para vibração através da Equação 10.

$$V = \frac{25 * V_{CC}}{8} \quad (10)$$

Para captação dos dados, o sensor de potência foi acoplado a uma placa de aquisição de dados de marca National Instruments, modelo NI PCI 6220 ilustrado na Figura 40, desta forma transformando os sinais analógicos em sinais digitais assim o software instalado no computador interpreta os dados capturados.

Figura 38 - Placa de aquisição de dados



Fonte: Autor

4.5.4. Emissão sonora

Realizou-se medições com um decibelímetro da marca MINIPA – modelo MSL - 1310, Faixa dinâmica 32dB~130dB, Precisão de +/- 1.4 dB (sobre as condições de referência de 94dB à 1 kHz), resolução 0.1dB, Faixa de frequência 31.5Hz a 8 kHz onde o mesmo capturou os níveis de som durante o processo de lixamento, em

decibel. O decibelímetro foi mantido a um metro do contato da lixa com a peça. O decibelímetro utilizado está ilustrado na Figura 41

Figura 39 - Decibelímetro



Fonte: Autor

4.5.5. Rugosidade

Para medição da rugosidade superficial utilizou-se um rugosímetro da marca MAHR, modelo M300 C – RD18C2, utilizando *cut-off* de 2,5 mm. Foram realizadas três medidas por peça ensaída, totalizando 9 medição por condição. A medição foi realizada ao sentido perpendicular de corte. A Figura 42 ilustra o rugosímetro utilizado.

Figura 40 - Medição de rugosidade através do rugosímetro



Fonte: Autor

4.5.6. Temperatura

A câmera infravermelha utilizada foi da marca FLIR SYSTEMS®, modelo FLIR i3 e as medições coletadas foram registradas pelo Software ThermaCAM™ QuickReport da FLIR Systems, versão 1.1 de 2007.

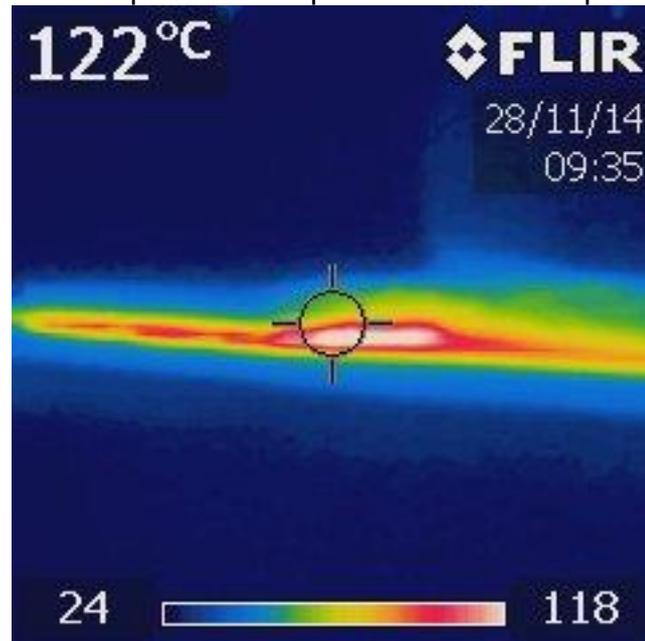
As imagens geradas em JPEG foram capturadas no momento em que a temperatura atingiu seu ponto máximo. As capturas ocorreram tanto para os corpos de prova de pinus bem como para os de eucalipto. Na Figura 43 ilustra a câmera e a Figura 44 ilustra a imagem da captura de uma das imagens do ensaio.

Figura 41 - Câmera Termográfica



Fonte: Autor

Figura 42 - Imagem da captura de temperatura durante o processo de lixamento



Fonte: Autor

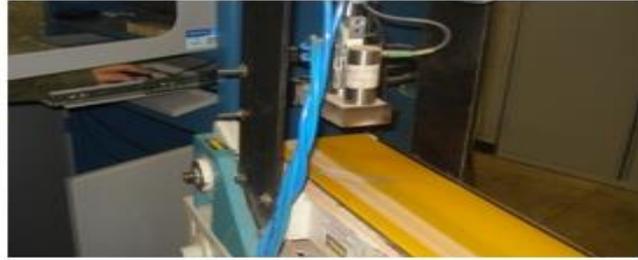
4.6. Processo de Lixamento

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Processamento da Madeira da UNESP de Bauru/SP.

Foram realizados os ensaios com os corpos-de-prova de pinus e eucalipto.

Utilizou-se as oito granulometrias de lixas, P30 (1), P40(2), P80 (3), P100 (4), P120 (5), P220 (6), P320 (7) e P400 (8). Realizou-se nos sentidos perpendicular e paralelo às fibras, no processo de lixamento plano. Onde realizou-se o processo de lixamento com velocidade fixa de 12m/min e e pressão específica de 1 kg/cm². A Figura 45 ilustra os procedimentos dos ensaios.

Figura 43 - Ilustração dos procedimentos dos ensaios



Fonte: Autor

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando para granulometria de lixa a tabela 7.

Tabela 7 - Nomenclatura Granulometria de Lixa

Granulometria de lixa							
P30	P40	P80	P100	P120	P220	P320	P400
1	2	3	4	5	6	7	8

Para espécie de madeira considerar tabela 8, e para sentido de corte considera tabela 9.

Tabela 8 - Nomenclatura para espécie de madeira.

Espécie de Madeira	
Pinus elliottii	Eucalyptus saligna
1	2

Tabela 9 - Nomenclatura para sentido de corte.

Sentido de corte	
Paralelo	Perpendicular
1	2

Densidade básica e aparente encontradas experimentalmente para as madeiras de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus saligna*.

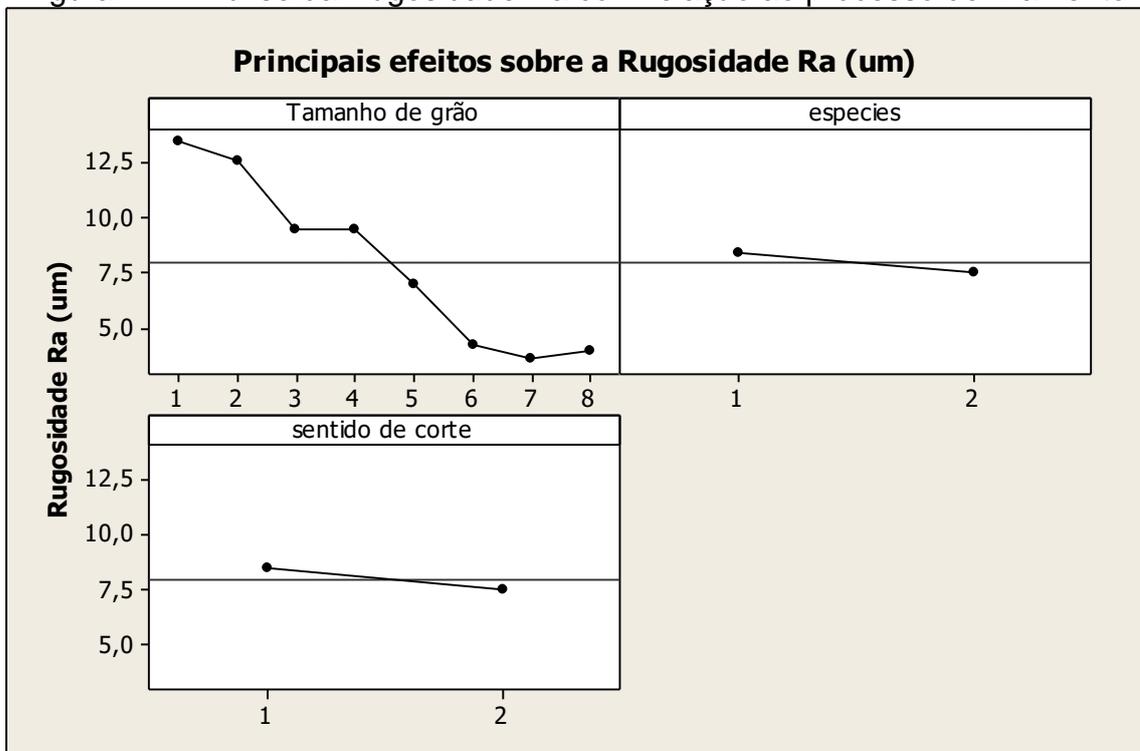
Tabela 10 - Densidade média básica e aparente das madeiras de *Eucalyptus saligna* e *Pinus Elliottii*.

Madeira	Densidade Básica (D_{bm}) $kg.m^3$	Densidade Aparente ($D_{apm, 12\%}$) $kg.m^3$
<i>Eucalyptus Saligna</i>	712,5	945
<i>Pinus Elliottii</i>	355,9	463,83

5.1. Rugosidade Ra

O ajuste que proporcionou menor rugosidade média (Ra) no lixamento das espécies *Pinus elliottii* e *Eucaliptos saligna*, de acordo com a análise gráfica, foi o tamanho de grão nos níveis 6 (220), 7 (320) e 8 (400), a espécie no nível 02 (pinus) e o sentido de corte no nível 02 (perpendicular) (Figura 46). Porém foi possível verificar através da análise de variância (Tabela 6) que o único fator que apresentou diferença significativa no processo de lixamento foi o tamanho do grão (P-valor < 5%).

Figura 44 - Análise da Rugosidade Ra com relação ao processo de lixamento



Pela análise gráfica da razão S/N (sinal ruído) (Figura X), é possível observar que a mesma combinação que resultou em uma menor rugosidade média também apresentou uma menor variabilidade. No entanto, dentre os três fatores, somente o tamanho de grão apresentou diferença significativa, de acordo com a análise de variância para o sinal ruído (Tabela 11).

Figura 45 - Análise da Rugosidade Ra Sinal Ruído para o processo de lixamento

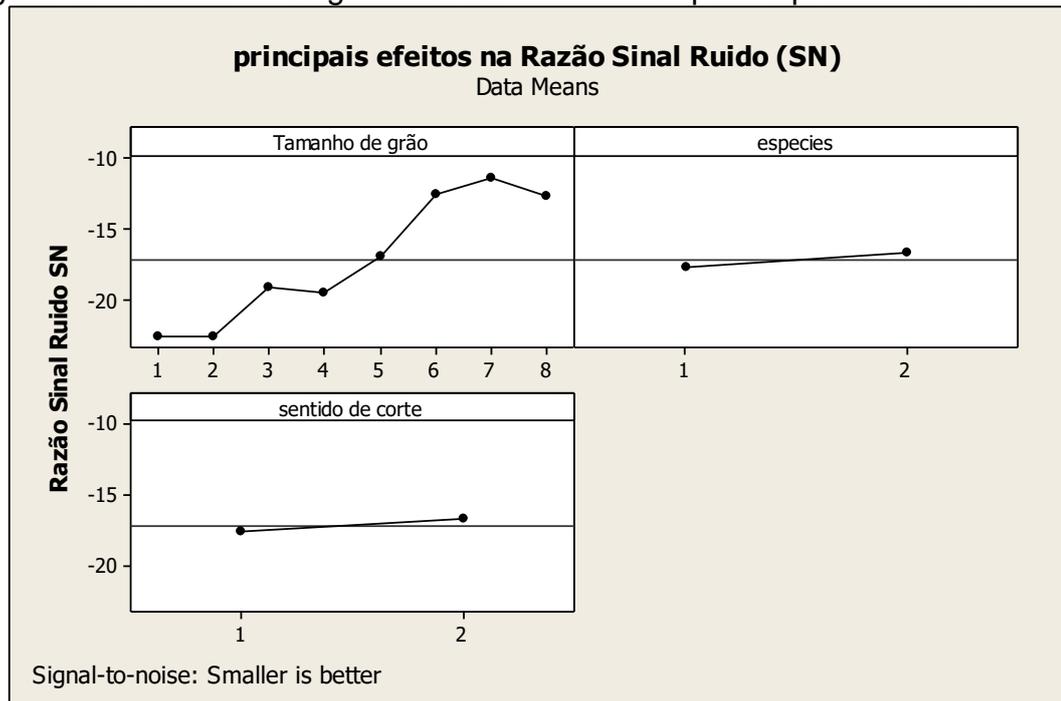


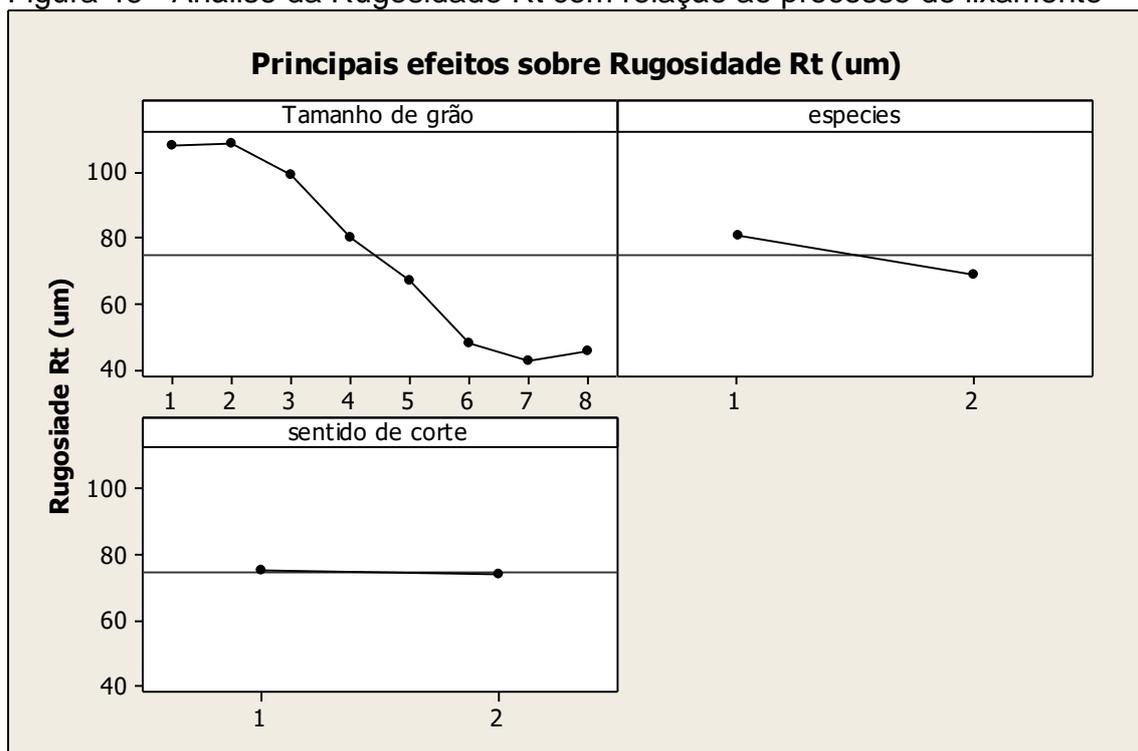
Tabela 11: Análises de variância para a rugosidade média

Análise de Variância para as médias					
Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos quadrados	Quadrados médios (ajustado)	F-valor	P-valor
Tamanho do grão	7	212,763	30,3947	5,10	0,032
Espécies	1	0,729	0,7293	0,12	0,738
Sentido de corte	1	4,257	4,2568	0,71	0,430
Erro residual	6	35,727	5,9545		
Total	15	253,476			
Análise de Variância para o Sinal Ruído					
Tamanho do grão	7	288,625	41,232	10,28	0,006
Espécies	1	1,818	1,818	0,45	0,526
Sentido de corte	1	5,127	5,127	1,28	0,301
Erro residual	6	24,061	4,010		
Total	15	319,631			

5.2. Rugosidade Rt

O ajuste que proporcionou menor rugosidade total (Rt) às peças lixadas foi o tamanho de grão nos níveis 6, 7 e 8 (P220, P320 e P400), espécie no nível 2 (pinus) e sentido de corte no nível 2 (perpendicular) (Figura 48). Entretanto, de acordo com a análise de variância realizada (Tabela 12), nenhum dos fatores apresentou diferença significativa (P-valor > 5%) para a Rt das peças lixadas (Tabela 12). Porém O tamanho de grão foi o mais significativo (P-valor = 7,6% e F calculado de 3,44, demonstrando que o fator é importante no lixamento de uma material como a madeira que é muito heterogêneo. O menor grão a ser utilizado é o grão 6 (220), pois ficou demonstrado que os grãos 7(320) e 8(400) não trouxeram benefícios para a qualidade da peça.

Figura 46 - Análise da Rugosidade Rt com relação ao processo de lixamento



A combinação que apresentou menor variabilidade, de acordo com a análise gráfica da razão S/N (Figura 49), se diferencia da que resultou em uma menor rugosidade total em relação ao fator sentido de corte, pois no sentido paralelo houve

uma maior robustez dos dados. Porém, somente o tamanho de grão apresentou diferença significativa na análise de variância para o sinal ruído.

Figura 47 - Análise da Rugosidade Rt sinal ruído para o processo de lixamento

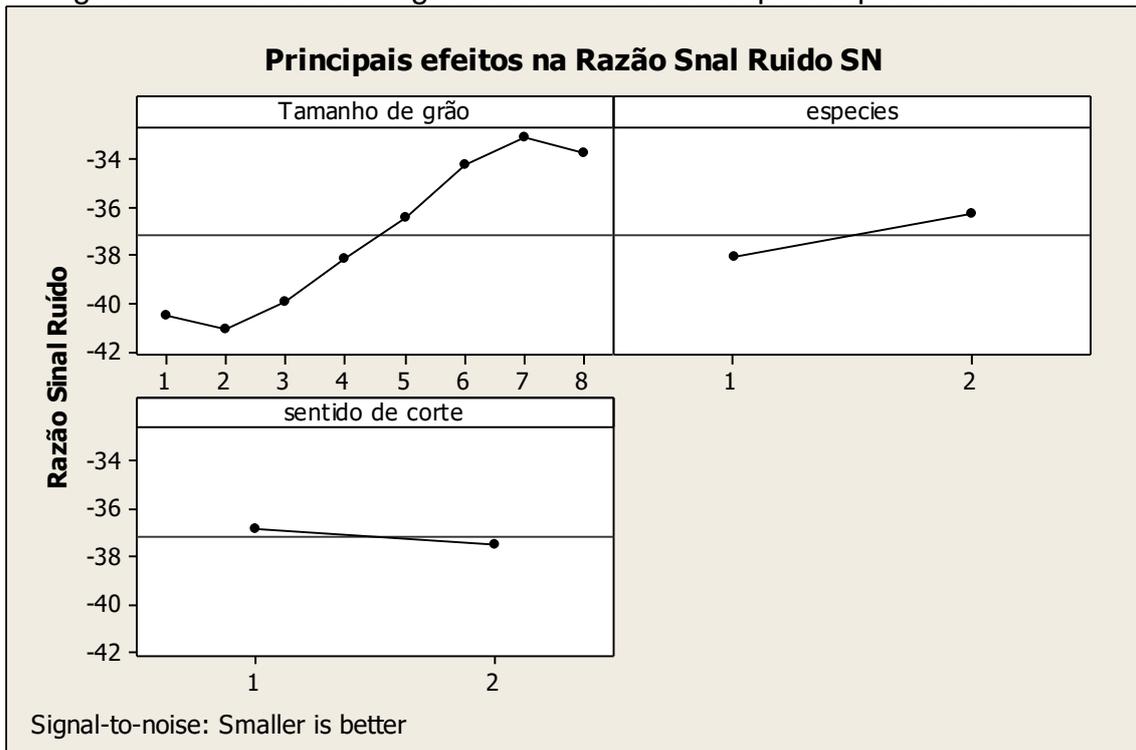


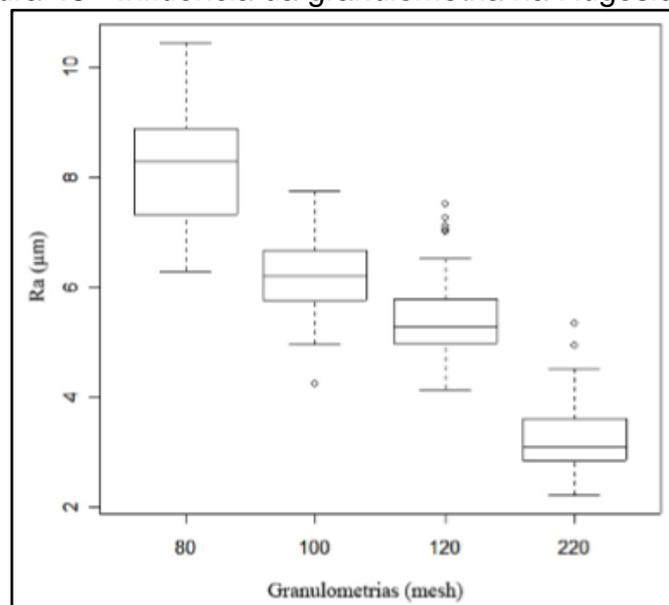
Tabela 12: Análises de variância para a rugosidade total

Análise de Variância para as médias					
Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos quadrados	Quadrados médios (ajustado)	F-valor	P-valor
Tamanho do grão	7	11033,5	1576,21	3,44	0,076
Espécies	1	587,3	587,3	1,28	0,300
Sentido de corte	1	6,7	6,7	0,01	0,908
Erro residual	6	2745,3	457,55		
Total	15	14372,7			
Análise de Variância para o Sinal Ruído					
Tamanho do grão	7	146,850	20,979	7,27	0,014
Espécies	1	12,367	12,367	4,28	0,084
Sentido de corte	1	1,729	1,729	0,60	0,468
Erro residual	6	17,325	2,887		
Total	15	178,271			

De acordo com Pinheiro (2014), o mesmo indica que se utilize o acompanhamento dos parâmetros rugosidades médias Ra e rugosidades totais Rt, visto que o parâmetro Rt é mais sensível para análise de rugosidade no processo de usinagem em madeiras.

Santiago (2011) observou que no processo de lixamento de *Pinus elliotti* que o acabamento melhora conforme a granulometria aumenta melhora. A tendência da menor rugosidade para grãos menores pode ser analisado pela Figura 50.

Figura 48 - Influência da granulometria na Rugosidade.

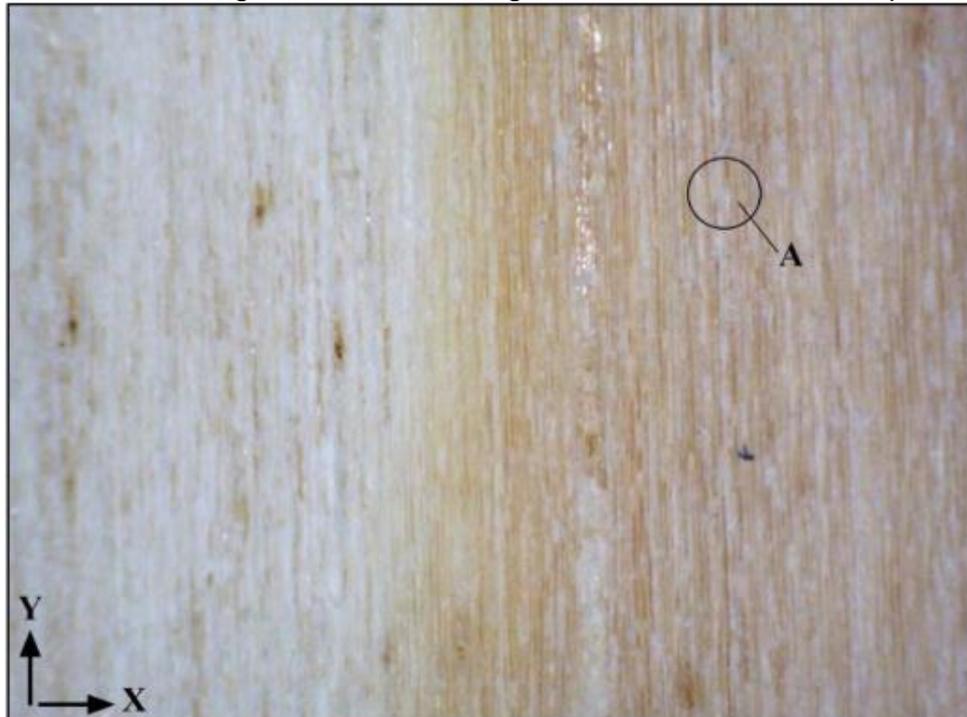


Fonte: SANTIAGO (2011).

O acabamento superficial quando utilizando lixas de grãos abrasivos maiores, geram maiores distâncias entre picos e vales, levando em consideração as características anatômicas, textura da madeira e a lixa propriamente dita. A superfície após lixada no plano tangencial e posteriormente radial com lixa de granulometrias 80 mesh foi fotografada e ampliada em 50x para que se pudesse observar as crateras formadas pelo grãos abrasivos. Há pontos escuros e claros onde indicam a presença de picos e vales, a Figura 51 e Figura 52 ilustra a superfície do material lixado, onde os círculo A são as crateras formadas no processo de lixamento. Esse aspecto mais rústico que esta granulometria de 80 mesh proporciona pertence a seus tributos, já que esta não tem função de melhoria em acabamento superficial e sim de remoção de material, crateras causadas pelo espaçamento entre os grãos abrasivos distribuídos na lixa. (SANTIAGO, 2011)

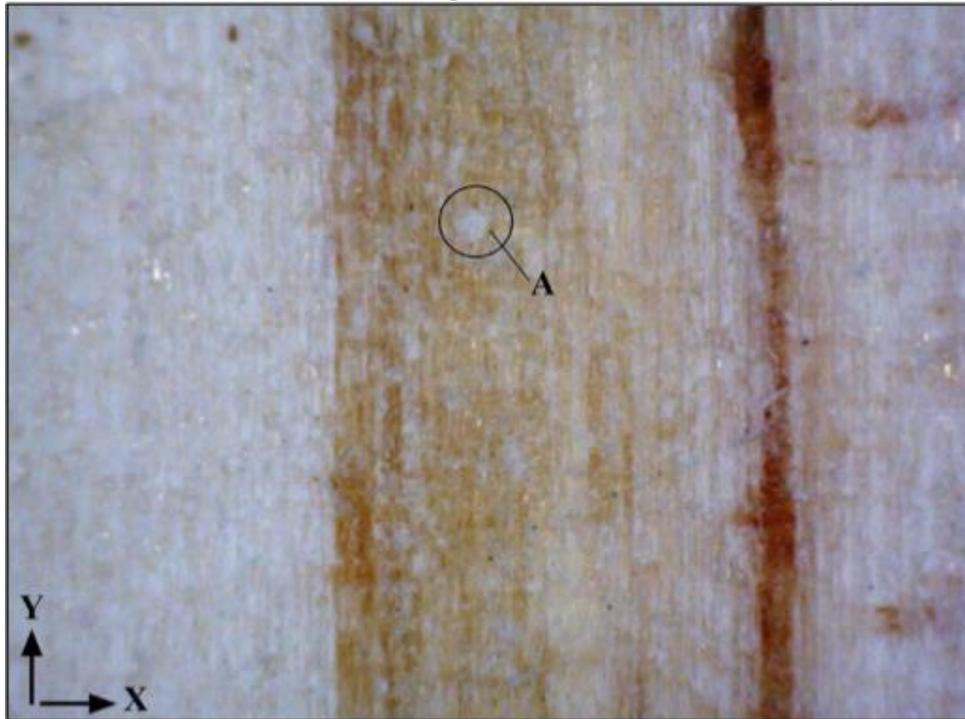
Segundo o mesmo autor o aspecto visual do material lixado obteve melhor acabamento no plano tangencial devido a distribuição das células dos raios serem diferentes em ambos os planos, sendo que no plano tangencial as células apontam de frente ao plano tornando um aspecto visual mais homogêneo, fato que ocorre ao contrário com as células do raio no plano radial, que as mesmas cruzam o plano, aparentando um aspecto visual mais heterogêneo.

Figura 49 - Plano tangencial lixado com granulometria 80 mesh ampliada 50x.



Fonte: SANTIAGO (2011)

Figura 50 - Plano radial lixado com granulometria 80 mesh ampliada 50x.



Fonte: Santiago, (2011).

Para Pinheiro (2014), trabalhando no processo de fresamento *do Pinus elliotii* estudando sentido de corte concordante e discordante, anéis de crescimento inicial e tardio e teores de umidade, relatou que a rugosidade média R_a apresentou melhor comportamento para avaliação das médias, no sentido de corte discordante. Já para maiores rugosidades R_a apresentou melhor situação no sentido de corte concordante. Também para rugosidade total R_t há uma tendência em diminuir os valores das medições das rugosidades no sentido de corte concordante.

Ainda segundo Pinheiro (2014), também verificou a influência do teor de umidade da madeira, entre as faixas de $8 \leq U < 12$, $12 \leq U < 16$ e $16 \leq U < 20$, relatando que o teor de umidade influencia no acabamento superficial levando em consideração a rugosidade, havendo uma pequena tendência ao aumento da rugosidade quando aumenta o teor de umidade do *Pinus elliotii*.

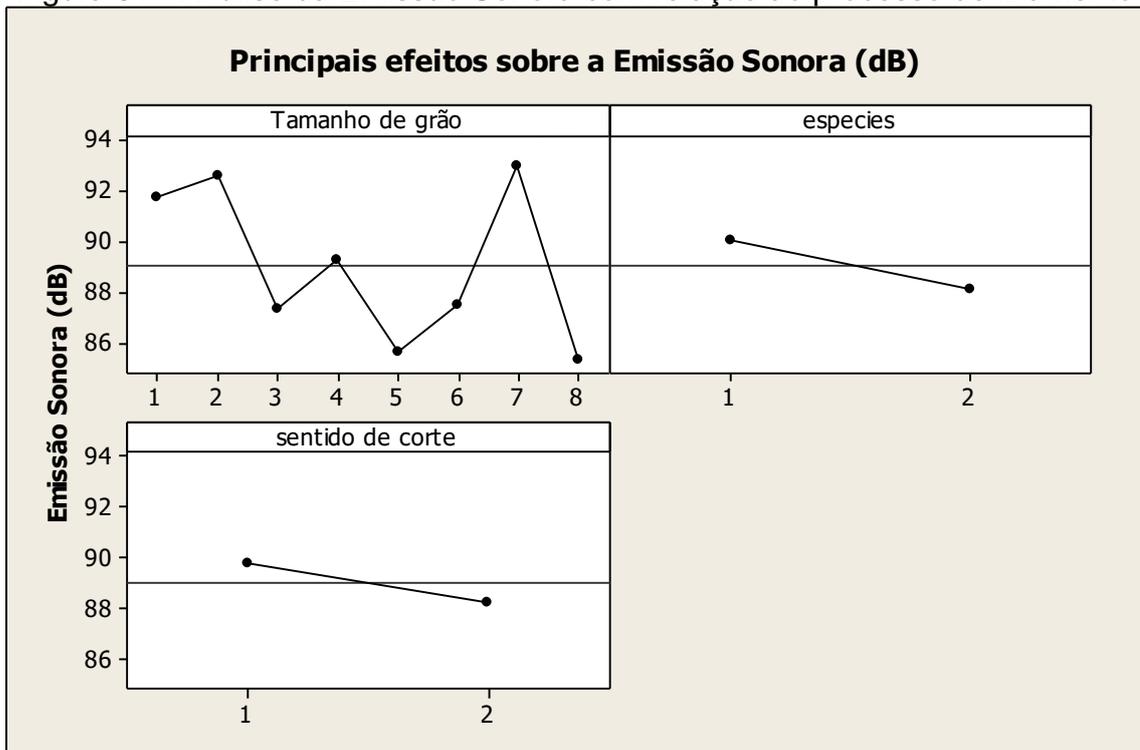
Silva (2013) através do estudo realizado para verificação da resistência da madeira de *Eucalyptus saligna* unidas por adesivo poliuretano para diferentes acabamentos de superfícies, utilizando processo de usinagem por fresamento e lixamento, onde variou velocidades de avanço e granulometria de lixas, relatou que no processo de fresamento obteve a menor rugosidade com velocidade de avanço de

15m/min, já para o processo de lixamento obteve menor rugosidade para lixa de granulometria de 220 mesh.

5.3. Emissão sonora

O ajuste que proporcionou menor emissão sonora durante o processo de lixamento, de acordo com os gráficos representados na Figura 53, foi o tamanho de grão nos níveis 5 (120mesh) e 8 (400 mesh), espécie no nível 2 (pinus) e sentido de corte no nível 2 (perpendicular). No entanto, através da análise de variância para as médias (Tabela 13) foi possível verificar que o único fator que apresentou diferença significativa no processo de lixamento foi o tamanho do grão (P-valor < 5%).

Figura 51 - Análise da Emissão Sonora com relação ao processo de lixamento



A combinação que apresentou menor variabilidade, de acordo com a análise gráfica da razão S/N (Figura 54), foi a mesma combinação que resultou em uma menor emissão sonora. Entretanto, somente o tamanho de grão apresentou diferença significativa na análise de variância para o sinal ruído (Tabela 13).

Figura 52 - Análise de Emissão Sonora sinal ruído para o processo de lixamento

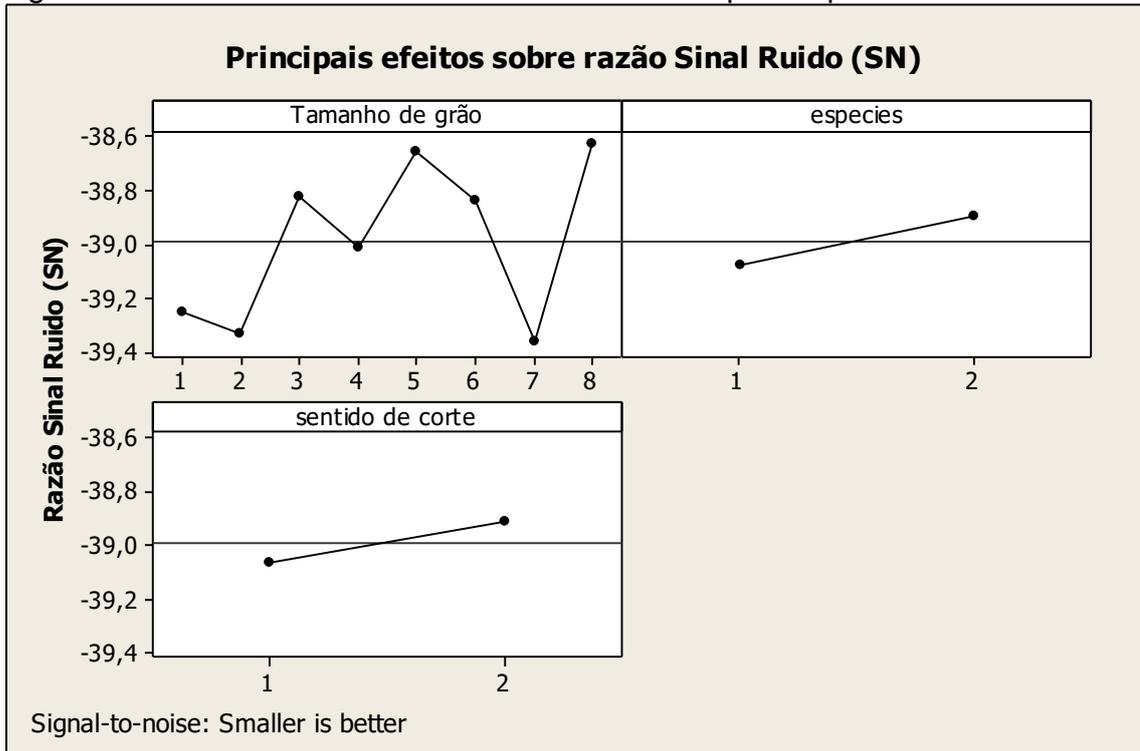


Tabela 13: Análises de variância para a emissão sonora

Análise de Variância para as médias					
Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos quadrados	Quadrados médios (ajustado)	F-valor	P-valor
Tamanho do grão	7	131,972	18,853	5,38	0,029
Espécies	1	14,822	14,822	4,23	0,085
Sentido de corte	1	9,404	9,404	2,68	0,153
Erro residual	6	21,027	3,505		
Total	15	177,226			

Análise de Variância para o Sinal Ruído					
Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos quadrados	Quadrados médios (ajustado)	F-valor	P-valor
Tamanho do grão	7	1,24811	0,17830	5,31	0,029
Espécies	1	0,13452	0,13452	4,01	0,092
Sentido de corte	1	0,09194	0,09194	2,74	0,149
Erro residual	6	0,20145	0,03358		
Total	15	1,67601			

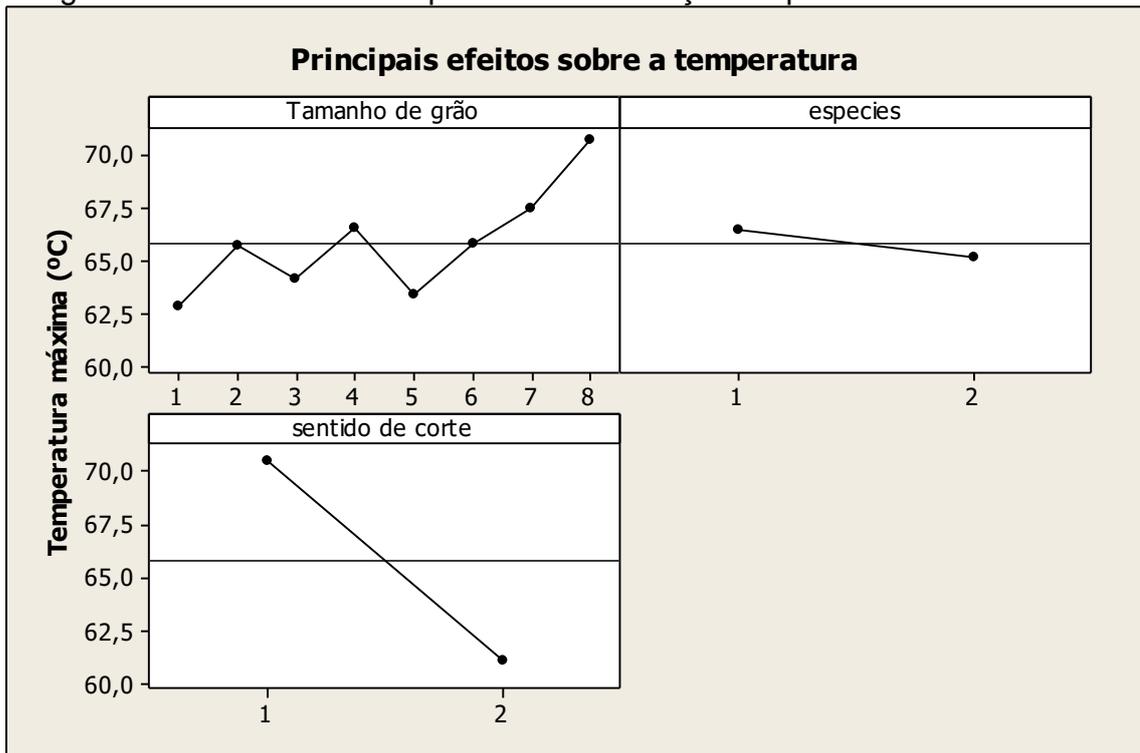
Pinheiro (2014), observou no processo de fresamento a emissão sonora obteve valores médios menores do para sentido de corte discordante onde as médias variaram de 83,475 a 91,30 dB, comparando com o processo de fresamento no sentido de corte concordante que teve as médias de emissão sonora de 97,600 a 102,60 dB. Conforme há aumento de teor de umidade a emissão sonora no processo acaba por diminuir.

Segundo Bastos et al (2010), verificando poluição sonora observados na oficina de madeira do campus de Bauru, na UNESP. Utilizaram um medidor de nível de pressão sonora digital, decibelímetro. Realizou-se medições de duas plainas desengrossadeiras e uma plaina desempenadeira, cujas ferramentas de corte desafiadas e afiadas, com as plainas ligadas e também no momento de corte. Verificou acima de 86dB, em todos as plainas utilizadas no ensaio, estando ou não afiadas, no momento de corte. Havendo necessidade da utilização de protetores auditivos, conforme a norma regulamentadora. Após as ferramentas de corte afiadas com as plainas apenas ligadas geram mais ruídos do que antes da afiação. Na realização de corte da madeira andiroba, produziu menos ruído.

5.4. Temperatura

A combinação que proporcionou menor temperatura durante o lixamento das espécies *Pinus elliottii* e *Eucaliptos saligna*, de acordo com a Figura 55, foi o tamanho de grão nos níveis 1(30 mesh) e 5 (120 mesh), a espécie no nível 02 (pinus) e o sentido de corte no nível 02 (perpendicular). Porém foi possível verificar através da análise de variância (Tabela 14) que o único fator que apresentou diferença significativa no processo de lixamento foi o sentido de corte (P-valor < 5%).

Figura 53 – Análise da Temperatura com relação ao processo de lixamento.



Pela análise gráfica da razão S/N (sinal ruído) (Figura 56), é possível observar que a mesma combinação que resultou em uma menor temperatura também apresentou uma menor variabilidade. No entanto, dentre os três fatores, somente o sentido de corte apresentou diferença significativa, de acordo com a análise de variância para o sinal ruído (Tabela 14).

Figura 54 – Análise da Temperatura – Sinal Ruído para o processo de lixamento.

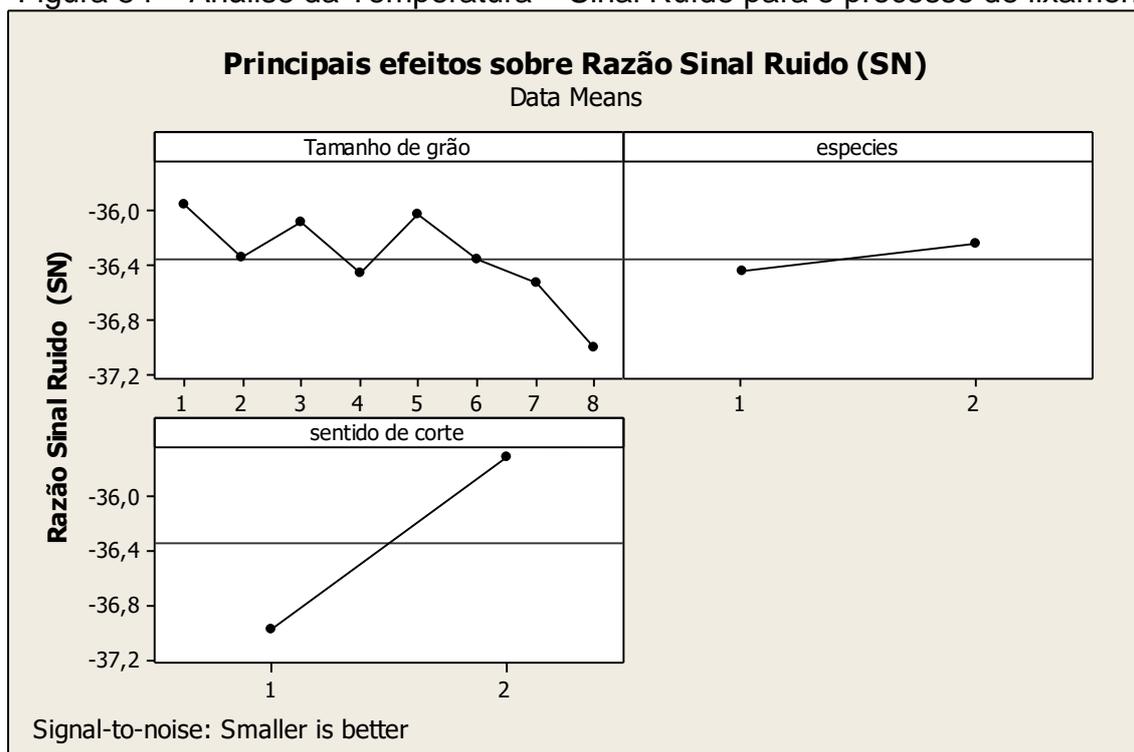


Tabela 14: Análises de variância para a temperatura

Análise de Variância para as médias					
Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos quadrados	Quadrados médios (ajustado)	F-valor	P-valor
Tamanho do grão	7	89,804	12,829	1,26	0,398
Espécies	1	7,022	7,022	0,69	0,439
Sentido de corte	1	356,580	356,580	34,94	0,001
Erro residual	6	61,228	10,205		
Total	15	514,635			
Análise de Variância para o Sinal Ruído					
Tamanho do grão	7	1,6218	0,2317	1,24	0,406
Espécies	1	0,1492	0,1492	0,80	0,407
Sentido de corte	1	6,3439	6,3439	33,83	0,001
Erro residual	6	1,1253	0,1876		
Total	15	9,2402			

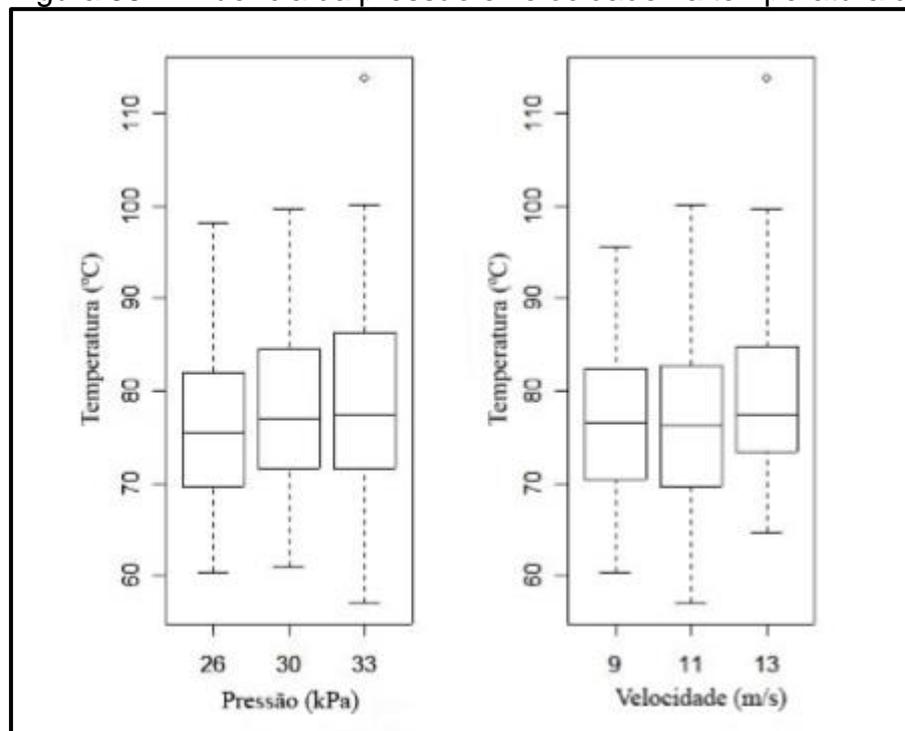
Segundo Leite (2016), obteve maior temperatura para o processo de lixamento no sentido paralelo às fibras para *Pinus elliotti*, com a lixa de carbetto de

silício com grão abrasivo de 220 mesh, para a madeira de *Corymbia citriodora* o autor relatou menor temperatura com lixa de óxido de alumínio com granulometria 80 mesh e lixamento realizado perpendicular às fibras.

Conforme a granulometria aumenta, ocorre uma tendência no aumento de temperatura, isto devido os grãos abrasivos serem menores, menores espaços vazios, aumento o contato da lixa com o material do processo, desta forma aumentando a temperatura devido o atrito gerado ente lixa e madeira. (LEITE, 2016).

Santiago (2011), verificou que a pressão e velocidade exercidas no processo de lixamento não influenciam na temperatura, como pode-se observar na Figura 57 que não houve uma tendência levando em consideração essas variáveis de saída com a temperatura analisada. O autor relata ainda que na realização dos ensaios observou que dependendo de onde a amostra foi retirado ocorria um aumento de temperatura, devido a região da madeira, podendo ser lenho tardio e juvenil, onde há diferenças de densidade, maior concentração de material.

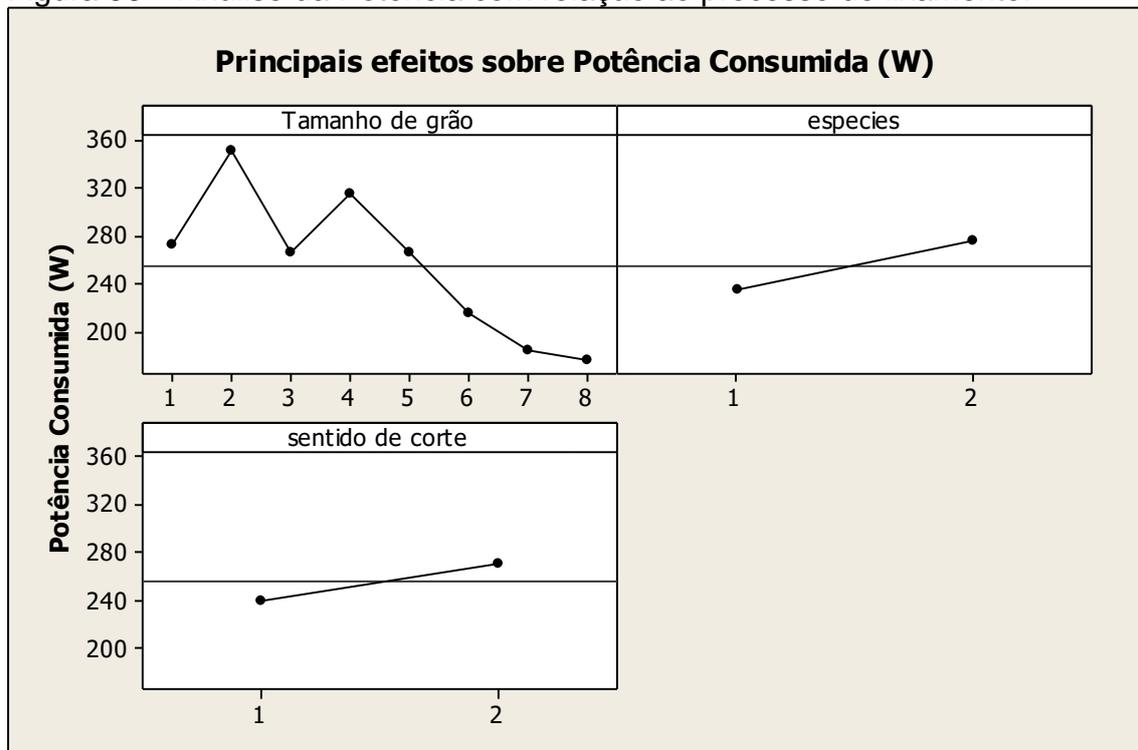
Figura 55 - Influência da pressão e velocidade na temperatura de lixamento



5.5. Potência

O ajuste que proporcionou menor potência durante o processo de lixamento foi o tamanho de grão nos níveis 7 (320 mesh) e 8 (400), espécie no nível 1 (eucalipto) e sentido de corte no nível 1 (paralelo) (Figura 58). Entretanto, de acordo com a análise de variância realizada (Tabela 11), nenhum dos fatores apresentou diferença significativa (P-valor > 5%) para a potência consumida.

Figura 56 – Análise da Potência com relação ao processo de lixamento.



A combinação que apresentou menor variabilidade, de acordo com a análise gráfica da razão S/N (Figura 59), foi a mesma combinação que resultou em uma menor potência consumida. Porém, nenhum dos fatores apresentou diferença significativa na análise de variância para o sinal ruído (Tabela 15).

Figura 57 – Análise da Potência – Sinal Ruído para o processo de lixamento.

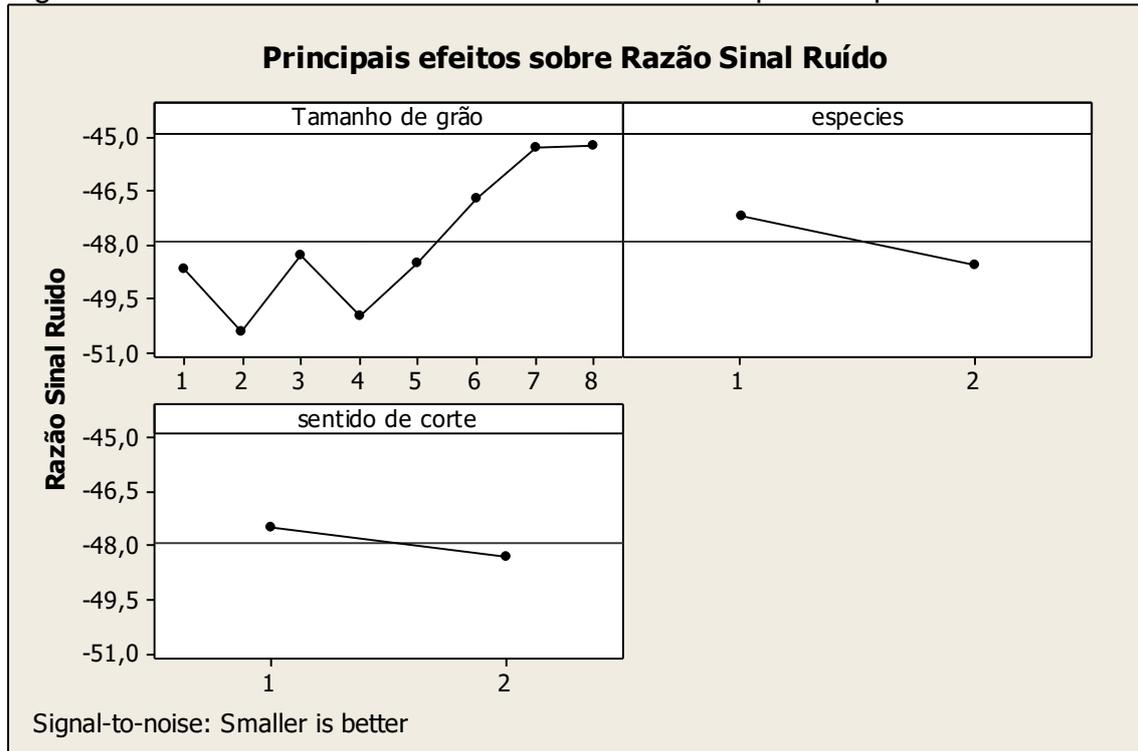


Tabela 15: Análises de variância para a potência

Análise de Variância para as médias					
Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos quadrados	Quadrados médios (ajustado)	F-valor	P-valor
Tamanho do grão	7	52314	7473	0,97	0,521
Espécies	1	6544	6544	0,85	0,391
Sentido de corte	1	4179	4179	0,54	0,488
Erro residual	6	46027	7671		
Total	15	109064			
Análise de Variância para o Sinal Ruído					
Tamanho do grão	7	54,730	7,819	0,99	0,513
Espécies	1	7,382	7,382	0,94	0,371
Sentido de corte	1	2,783	2,783	0,35	0,574
Erro residual	6	47,332	7,889		
Total	15	112,227			

Para Leite (2016), relatou que houve maior consumo de potência no processo de lixamento plano com madeira de *Pinus elliottii* no sentido perpendicular às fibras com lixa de carbetto de silício com granulometria de 120 mesh. Já o menor consumo de potência obteve para madeira de *Corymbia citriodora* onde a melhor performance realizada no lixamento plano, foi com lixa de óxido de alumínio granulometria de 80 mesh para lixamento paralelo às fibras da madeira.

Segundo Leite (2016), a granulometria influenciou no comportamento da potência, conforme o tamanho do grão diminuiu ocorreu aumento no consumo de potência, com exceção da granulometria de 220 mesh onde houve uma diminuição na potência consumida.

De acordo com Santiago (2011), a granulometria da lixa não influenciou na potência para o processo de lixamento de *Pinus elliotti*, uma das hipóteses desde fenômeno ocorre devido a densidade da madeira, por ser tratar de um softwood “mole” a tendência do maior grão remover o material menos denso facilita, desta forma não aumentando a potência. Também analisou que a velocidade de corte influencia significativamente sobre a potência consumida no processo.

Segundo Varasquim (2014), ao estudar lixamento de madeira de *Pinus elliottii* e *Corymbia citriodora* com lixas de óxido de alumínio, carbetto de silício e óxido de zircônio observou, que para a madeira de *Pinus elliotti* obteve-se menores potências consumidas durante o processo de lixamento com lixas de óxido de alumínio, ao contrário do Eucalipto citriodora onde obteve maiores valores de potência. A granulometria de 100 mesh obtiveram maiores valores de potência para as duas madeiras ensaiadas.

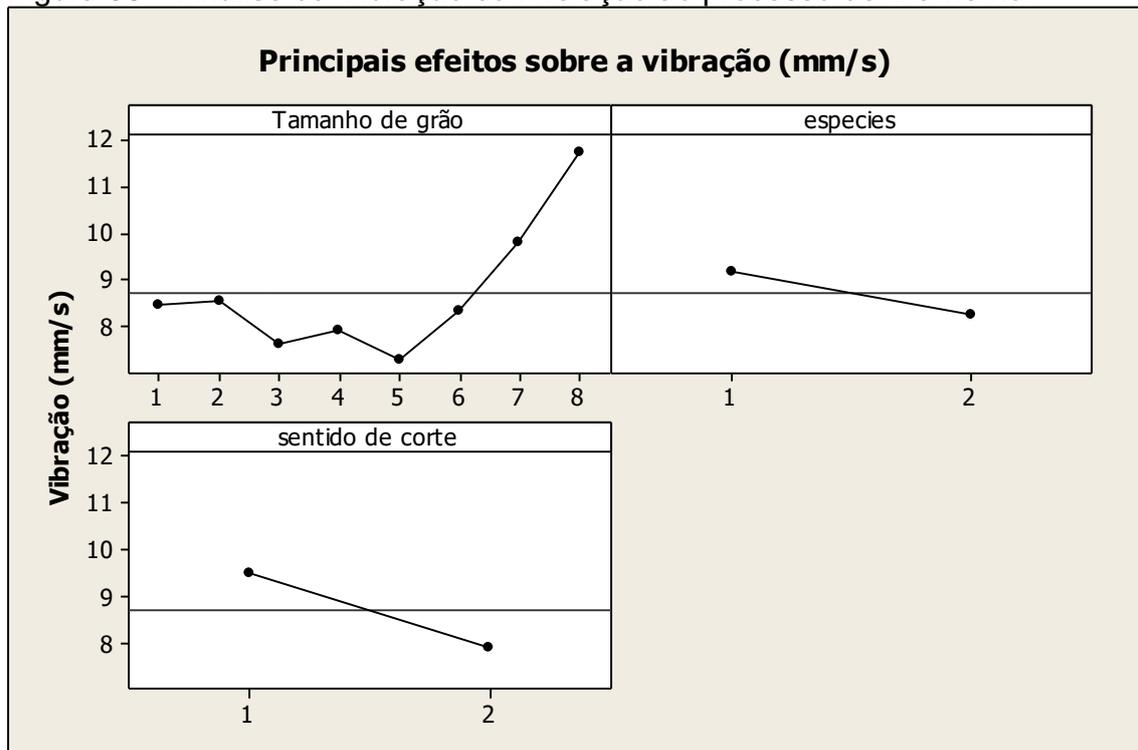
Para Zacarias (2012), realizando ensaios para analisar o processo de lixamento tubular para a madeira de *Corymbia citriodora* variando a velocidade de corte, velocidade de avanço e três conjuntos de granulometrias de lixas (P80-P100, P80-P120, P100-120), verificou que ao aumentar a velocidade de avanço aumenta-se a potência consumida no sistema para as maiores velocidades de corte. No entanto obteve-se alguma exceção podendo ser ocasionado pela densidade da madeira e por ser um material totalmente heterogêneo. O autor ainda cita Saloni et al 2005, onde o mesmo relata que se presumia que a potência aumentaria, conforme o aumento de velocidade de corte e velocidade de avanço. O maior consumo de potência obteve-se para o conjunto de lixas de granulometria 100-120 mesh, o mesmo realizou teste de

Tukey e verificou que não se diferiram estaticamente os conjuntos P80-100 E P80-120, comente o conjunto de lixas P100-120.

5.6. Vibração

O ajuste que proporcionou menor vibração durante o processo de lixamento, de acordo com os gráficos representados na Figura 60, foi o tamanho de grão nos níveis 3, 4 e 5 (P320), espécie no nível 2 (pinus) e sentido de corte no nível 2 (perpendicular). No entanto, através da análise de variância para as médias (Tabela 16) foi possível verificar que nenhum dos fatores apresentou diferença significativa na vibração produzida (P-valor < 5%).

Figura 58 – Análise da Vibração com relação ao processo de lixamento.



A combinação que apresentou menor variabilidade, de acordo com a análise gráfica da razão S/N (Figura 61), se difere do ajuste que proporcionou menor vibração em relação ao fator tamanho de grão, pois, na lixa de granulometria 100 houve uma maior robustez dos dados. Entretanto, de acordo com a análise de variância para o sinal ruído (Tabela 16), nenhum dos fatores apresentou diferença significativa.

Figura 59 - Análise da Vibração sinal ruído para o processo de lixamento

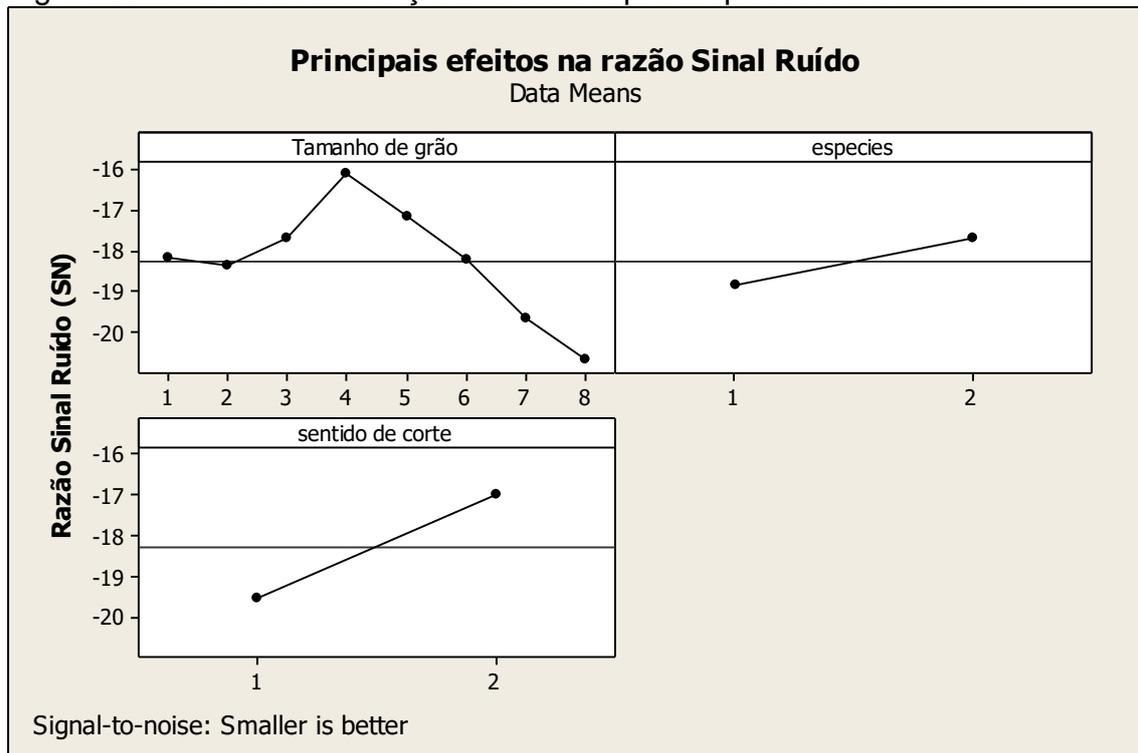


Tabela 16: Análises de variância para a vibração

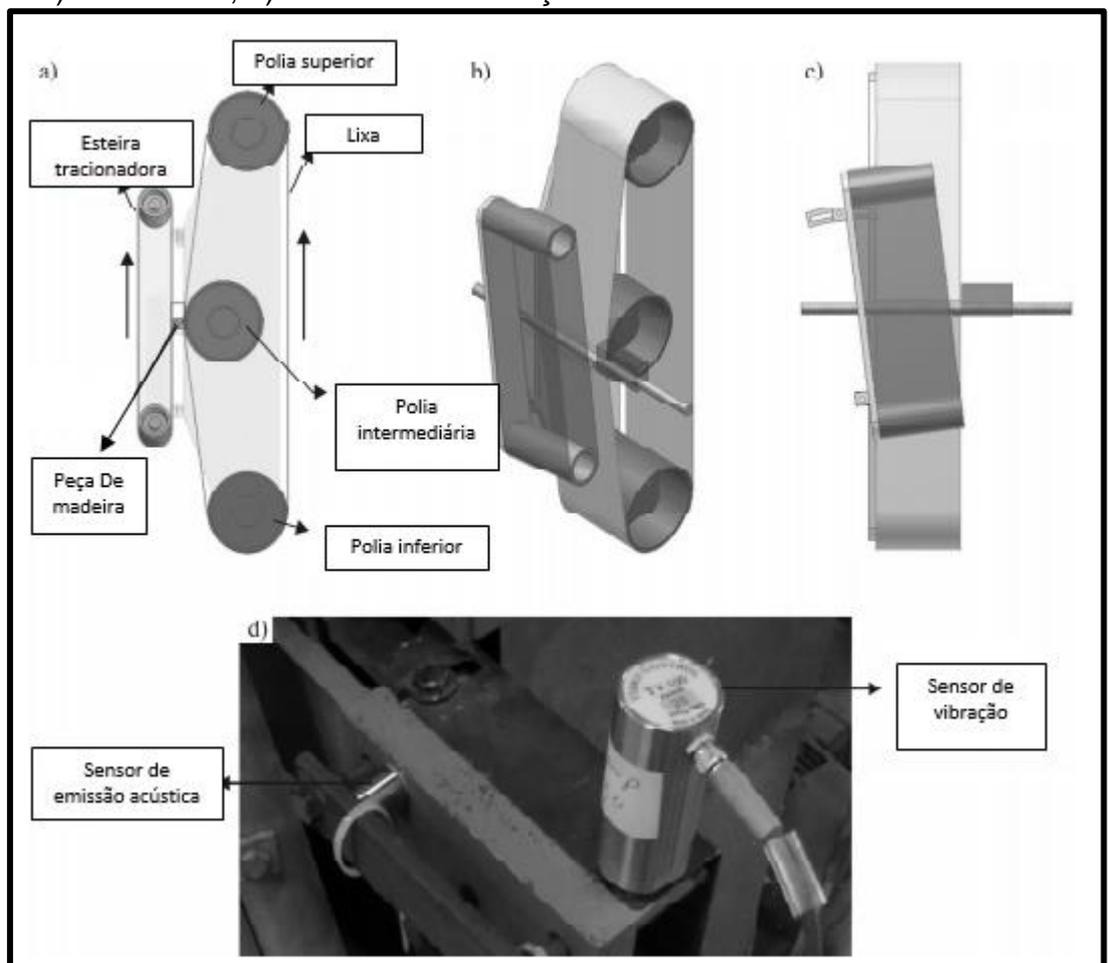
Análise de Variância para as médias					
Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos quadrados	Quadrados médios (ajustado)	F-valor	P-valor
Tamanho do grão	7	28,583	4,083	0,14	0,990
Espécies	1	3,469	3,469	0,12	0,744
Sentido de corte	1	10,460	10,460	0,35	0,575
Erro residual	6	178,198	29,700		
Total	15	220,709			
Análise de Variância para o Sinal Ruído					
Tamanho do grão	7	28,000	4,000	0,11	0,994
Espécies	1	5,462	5,462	0,16	0,707
Sentido de corte	1	25,729	25,729	0,73	0,425
Erro residual	6	210,369	35,062		
Total	15	269,560			

Para Zacarias (2012), a ferramenta de corte e tipo de usinagem estão ligados a vibração e também ao desgaste da ferramenta. Em seus ensaios realizados todos obtiveram influência significativa. Dos conjuntos de lixa que analisou em seu experimento P80-100, P80-120 e P100-120, o conjunto que teve maior valor de

vibração foi o conjunto de lixa P100-120, explicou que isso ocorreu devido a quantidade de grãos abrasivos serem menores, tem maior contato com o material desta forma gerando maior vibração para com o sistema. Pode-se ainda verificar que havendo maiores velocidades de corte ocorreu menores valores para vibrações.

Varanda et al (2010) realizou processo de lixamento tubular com lixas de óxido de alumínio de granulometria 80, 100 e 120 mesh, utilizando madeira de *Eucalyptus grandis* como ilustra a Figura 62.

Figura 60 - Funcionamento da lixadeira utilizada, b) vista em perspectiva, c) vista lateral, d) sensores de vibração e emissão acústica.



Fonte: VARANDA ET AL(2010).

Após realizando os ensaios Varanda et al 2010 utilizando combinações lixas de desbaste e acabamento 80:100 mesh, 80:100 mesh e 100:120, variando quatro velocidades de lixamento (19,5 m/s, 22,7 m/s, 26 m/s, 28,1 m/s), observou que a maior vibração ocorreu quando se trabalhou com a menor velocidade de lixamento,

e a menor vibração quando o processo ocorreu com a maior velocidade de lixamento 28,1 m/s.

Varasquim (2014) realizou processo de lixamento para as madeiras de *Corymbia citriodora* e *Pinus elliottii* onde verificou que não houve variações significativas relacionadas a variação de granulometrias com as vibrações geradas no processo. Observou que o menor valor obtido para vibração ocorreu com a lixa de granulometrias 100 mesh para ambas madeiras relatou que isto deve-se ao fato desta granulometria cortar mais do que compactar mais material, relata que com esta granulometria houve maior consumo de potência durante ao ensaio.

6. CONCLUSÃO

Realizado o processo de lixamento com lixas de óxido de alumínio para madeiras de pinus e eucalipto, variando as granulometrias de lixas, visando otimização do processo em tempo e dinheiro, pode-se fazer as seguintes observações para contribuição nas indústrias dos seguintes itens:

- ✓ A melhor configuração para rugosidade média obtida no processo, foi para a madeira de *Pinus elliottii* processada no sentido de corte perpendicular às fibras com a lixa de granulometria 220,320 e 400 mesh, sendo esta para acabamento obtendo rugosidade menor que 5 μ m.
- ✓ A rugosidade total a menor também apresentou para a configuração da madeira de pinus processada no sentido perpendicular às fibras com as granulometrias 220,320 e 400.
- ✓ Ficou demonstrado que a máxima lixa a ser usada em processos de lixamento destas espécies deve ser a lixa 6 (220) uma vez que as lixas 320 e 400 não são mais capazes de eliminar as falhas anatômicas. Isso é importante pois evita realização de mais processos sem trazer benefícios. Ficou comprovado dessa forma a hipótese levantada inicialmente nesta pesquisa.

Para indústrias que necessitam de uma menor rugosidade para aplicações de materiais de acabamento como selantes, vernizes, tintas entre outros produtos, neste estudo pode-se concluir que a madeira de *Pinus elliotti* permite uma rugosidade melhor em acabamento do que o *Eucalyptus saligna*.

- ✓ Com referência a emissão sonora a madeira de *Pinus elliotti* apresentou o menor valor de ruído, sendo lixado perpendicular às fibras e com as lixas de granulometrias 5 e 8.

O ruído no processo de lixamento para madeira de pinus proporciona uma condição aceitável de acordo com a NBR para uma jornada de serviço de 8 horas diárias, podendo ser utilizado apenas protetor auditivo do tipo plug.

- ✓ Quando analisou-se a temperatura concluiu-se que quando o processo de lixamento é realizado com granulometrias menores, com grãos abrasivos maiores a temperatura tende a diminuir, isso deve-se por existirem maiores espaços entre os grãos diminuindo o contato da lixa com a madeira, desta forma não aquecendo igualmente com lixa de grãos abrasivos menores, cuja sua área de contato é maior, desta forma aumentado a temperatura com granulometrias maiores.

Indústrias que visam apenas desbaste no processo de lixamento, podem optar por granulometrias menores, com grãos abrasivos maiores, desta forma, atingindo seu objetivo, sem prejudicar o aspecto superficial da madeira com marcas de queima, pois a lixa pode aquecer e manchar a madeira, até mesmo queimando.

- ✓ A madeira de *Eucalyptus saligna* quando processada com lixa de granulometrias 7 e 8 no sentido paralelo às fibras apresentou menor potência consumida que a madeira de *Pinus elliotti*, tendo como hipótese do pinus ter consumido maior potência pela quantidade de extrativos que o mesmo possui, principalmente os canais resiníferos, onde este último prejudica o processo de lixamento.

Se para a indústria o essencial é diminuir o consumo de potência no processos diários, pode-se trabalhar tranquilamente com as duas espécies, sugere-se que opite pela madeira de *Eucalyptus saligna*, como é o caso de indústrias de produção de camas box, onde trabalha-se com as duas madeira, e ambas apresentam boas qualidades para este produto, tendo que se preocupar apenas com o processo de secagem, para que não haja problemas estruturais, e desta forma utilizando a madeira de eucalipto assim economizando a potência no sistema de produção.

- ✓ Ao verificar os resultados da análise de vibração para o processo de lixamento concluiu-se que a madeira de pinus obteve menores valores quando lixados com granulometrias 3,4 e 5 no sentido perpendicular às fibras.
- ✓ O limite a ser lixado é o grão de granulometria 220. Os grãos de granulometria 320 e 400 não trouxeram benefícios.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6175**: Usinagem-Processos mecânicos. Rio de Janeiro, 2015.

ALVES, M. C. S., GONÇALVES, M. T. T., VARASQUIM, F. M. F. A., SANTIAGO, L. F.F., VARANDA, L. D., BIANCHI, E. C.; **Análise da influência da velocidade de corte, da granulometria da lixa e da pressão específica de corte no processo de lixamento**. VI CONEM - Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Campina Grande, Paraíba-Brasil – 2010.

BASTOS, R. S.; FERNANDES, J. C.; BONFIM, G. H. C.; NEVES, A. S.; FERREIRA, L. I., **Avaliação Ergônômica do Nível de Ruído em Máquinas de Marcenaria**. 2010. XXX ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção, São Carlos-SP-Brasil, 2010.

BARRICHELO, L.E.G.; FOELKEL, C.E.B.; TAMEZAWA, J.; BRITO, J.O. **Variação da densidade básica e composição química de madeira de Pinus elliotii e Pinus Taeda em função da idade**. Artigo Técnico – ABCP, 1975. p. 110 – 112.

BIANCHI, E. C., Processo de Usinagem por abrasão. Bauru, 2014. Notas de Aula.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO – **BNDES**. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/>> Acesso em: 03 fev.2016.

BONDUELLE A.; CRUZ C.R.; SILVA J.R.M.; **Processo mecânico da madeira**. Curitiba: UFPR, 2002. Notas de aula.

FACCIO, I., **Investigações sobre o acabamento superficial de usinagens com altíssima velocidade de corte**. Escola Politécnica - Catálogo USP – Biblioteca Digital – Teses e Dissertações, 2003 – Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18135/tde-05022016-134258/pt-br.php>> Acesso em : 27 abr. 2016.

FENGEL, D.; WEGENER, O. **Wood: chemistry, ultrastructure, reactions**. New York: Walter de Gruyter, 1984. 613p.

FERNANDES, J. C. **Acústica e ruídos**. Apostila do Departamento de Engenharia Mecânica – UNESP – Campus de Bauru, 2005. 98 p. Disponível em: <<http://www.feb.unesp.br/jcandido/acustica/apostila.htm>> Acesso em: 15 jan. 2016.

FERRARESI, D. Fundamentos da usinagem dos metais. São Paulo: Ed. EdgardBlücherLtda, 1977. p. 485.

FERREIRA, B. S.; BARREIROS, R. M.; CHARASCHI, J. C.; GEHRING JUNIOR, W., **Caracterização Anatômica da Madeira de Dinizia excelsa Ducke Proveniente da Região de Platô**. XIII Ebramem – Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estrutura de Madeira- UFES-Vitória-ES. Julho/2012.

GONÇALVES, M. T. T., **Processamento da Madeira, 1.ed. Bauru: Document Center Xerox- USC, 2000. 242p.**

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – **IBÁ**. Relatório IBÁ 2015. São Paulo, 2015.

CARBORUNDUM – **Informativo técnico nº30**– Engenharia de Aplicação- maio,2009 – Disponível em:< <http://www.carboabrasivos.com.br/uploadedFiles/SGcarboabrasivosbr/Documents/ITC030%20-%20Propriedades%20dos%20Gr%C3%A3os%20Abrasivos.pdf>> Acesso em: 10 jun.2016.

JEMIELNIAK, K., 1999, “**Commercial tool condition monitoring systems**”, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.15, No.10, pp.711-721.

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>

MTE-**Ministério do Trabalho e Emprego**. Portaria nº 25, de 29 de dezembro de 1994. Disponível em: < http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812BE914E6012BEA44A24704C6/p_19941229_25.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2015.

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

NAHUZ, Marcio Augusto Rabelo, **Brazilian and exotic timber**, Caxias do Sul, RS: Lettech Editora e Gráfica, 2007. 108p.

NOCK, H. P; RICHTER, H. G.; BURGER, L. M. **Tecnologia da madeira**. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Rurais, Universidade Federal do Paraná, 1975. 216 p.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 3ed. New York: Mc Graw-Hill, 705p. 1970.

PIRATELLI FILHO, A., **Rugosidade Superficial**. Brasília: Faculdade de Tecnologia. Laboratório de Metrologia. Departamento de Engenharia Mecânica- Universidade de Brasília (UnB), 2011.

RATNASINGHAM, 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.

RATNASINGHAM, J.; SHOLZ, F. **Wood sanding process: Na optimization perspective**. Kuala Lumpur-Malaysia. Faculty of Forestry, Universiti Putra Malaysia, Fachberich Holztechnik, Fachhochschule Rosenheim, Germany. 115p, 2004.

ROMMEL, Y. **Apostila de anatomia da madeira: Pernambuco: UFRPE, 2009**. Apostila. Disponível em: < <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAPb4AC/manual-madeira> 16 mai. 2016.

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

SILVA, D. A., **Diagnóstico de equipamentos de propulsão naval através de análise de vibração**. Rio de Janeiro, 2006, 135 p (COPPE/UFRJ, M. Sc. Engenharia Mecânica, 2006).

SILVA, R.S. **Resistência mecânica da madeira de Eucalyptus saligna unidas por adesivo poliuretano para diferentes acabamentos de superfície**. 2013. 102 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Guaratinguetá 2013.

STEMMER, C.E. **Ferramentas de corte I**. Florianópolis: Editora da UFSC. 2008. 314 p., il.

STOETERAU, R. L. et al. **Usinagem com ferramentas de geometria de corte não definida** - Retificação. 53 p., il. Disponível em: <<http://w.lmp.ufsc.br>>. Acesso em: 1. abr. 2009

SULAIMAN O.; HASHIM R.; SUBARI K.; LIANG C.K., **Effect of sanding on surface roughness of rubberwood**. Journal of Materials Processing Technology 2009; 209(8):3949-3955. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.09.009>

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

TEIXEIRA, C. R.; CASANOVA, C. A. M.; FERREIRA, D. F.; FERNANDES, J. A.; BALZARETTI, N. M, **Influência da anisotropia da madeira no desgaste das ferramentas diamantadas**. ABCM- Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas. 2011.

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

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

USDA FOREST SERVICE. **Pinus taeda**. Disponível em: <<http://www2.fpl.fs.fed.us/TechSheets/softwoodna/htmldocs/pinustaeda.html>>. Acesso em: 08 out. 2002.

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

VARASQUIM, F. M. F. A.; ALVES, M. C.S.; GONÇALVES, M. T. T.; SANTIAGO, L. F. F.; SOUZA, A. J. D. **Influence of belt speed, grit sizes and pressure on the sanding of *Eucalyptus grandis* wood**. Cerne, Lavras, v. 18, n. 2, p.231-237, 22 dez. 2011.

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

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO (UK). (BERGLUND B.; LINDVALL, T.SCHWELA D.) **Guidelines for community noise**. 1999 Disponível em: <<http://whqlibdoc.who.int/hq/1999/a68672.pdf> /> Acesso em: 12 jan. 2016.