



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“Júlio de Mesquita Filho”

Engenharia Industrial Meadeireira

Campus de Itapeva

**EFEITO DA TERMORRETIFICAÇÃO NA QUALIDADE DA SUPERFÍCIE E NA
INFLUÊNCIA DOS PROCESSOS ENVOLVIDOS NO PROCESSO DE LIXAMENTO
DA MADEIRA DE *Pinus elliottii* E *Corymbia citriodora***

CARLINO CARVALHO DE ALMEIDA

Itapeva, SP

2015

CARLINO CARVALHO DE ALMEIDA

**EFEITO DA TERMORRETIFICAÇÃO NA QUALIDADE DA SUPERFÍCIE E NA
INFLUÊNCIA DOS PROCESSOS ENVOLVIDOS NO PROCESSO DE LIXAMENTO
DA MADEIRA DE *Pinus elliottii* E *Corymbia citriodora***

Trabalho de Graduação apresentado no Campus Experimental de Itapeva - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como requisito para a conclusão do curso de Engenharia Industrial Madeireira.

Orientador:
Prof. Dr. Marcos Tadeu Tibúrcio Gonçalves

Itapeva, SP
2015

Almeida, Carlino Carvalho de

A447e Efeito da termorretificação na qualidade da superfície e na influência dos processos envolvidos no processo de lixamento da madeira de *Pinus elliottii* e *Corymbia citriodora* / Carlino Carvalho de Almeida. – – Itapeva, SP, 2015

89 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado – Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus Experimental de Itapeva, 2015

Orientador: Marcos Tadeu Tibúrcio Gonçalves

Banca examinadora: Júlio César Molina, Larissa Ribas de Lima
Bibliografia

1. Usinagem. 2. Madeira – Tratamento térmico. 3. Aspereza de superfície. I. Título.

CDD 674.1

CARLINO CARVALHO DE ALMEIDA

**EFEITO DA TERMORRETIFICAÇÃO NA QUALIDADE DA SUPERFÍCIE E NA
INFLUÊNCIA DOS PROCESSOS ENVOLVIDOS NO PROCESSO DE LIXAMENTO
DA MADEIRA DE *Pinus elliottii* E *Corymbia citriodora***

Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Industrial Madeireira, da Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus Experimental de Itapeva.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: _____


Prof. Dr. Marcos Tadeu Tibúrcio Gonçalves

Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus Experimental de Itapeva.

2º Examinador: _____


Prof. Dr. Júlio Cesar Molina

Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus Experimental de Itapeva.

3º Examinador: _____


Eng. Ind. Larissa Ribas de Lima

Faculdade de Ciências Sociais e Agrárias de Itapeva - FAIT

Itapeva, 03 de junho de 2015.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, eu sou grato à Deus por ter me ajudado em toda essa trajetória na minha vida, sempre me dando forças para continuar e me abençoando em tudo que eu fazia.

Agradeço à minha família pelo suporte que me deram todo esse tempo, sem pelo qual eu não estaria finalizando esse trabalho agora. Me ajudaram e me incentivaram a não desistir e buscar os meus sonhos, e por isso devo a eles eterna gratidão, já que um dos meus desejos começa a se realizar após esses cinco anos de graduação.

Aos Professores Doutores Marcos Tadeu Tibúrcio Gonçalves e Manoel Cléber de Sampaio Alves por me incentivarem a ingressar na área de pesquisa e terem me ajudado em todos os momentos de dúvidas com muita paciência e dedicação, honrando seus títulos de professores. Gostaria de agradecê-los por suas gentis recomendações na realização desse trabalho.

À Profa. Dra. Maria Angélica Martins pelas aulas maravilhosas que tive, nas quais aprendi muito e ao mesmo tempo me diverti com seu jeito descontraído de ensinar. Agradeço pelo apoio e paciência que teve comigo durante esses anos.

Ao Prof. Dr. Carlos Alberto Oliveira de Matos pelos ensinamentos da vida que aprendi, alguns com um pouco de noção, a maioria sem noção alguma, mas um ou outro que fizeram muito sentido ao decorrer da minha graduação.

Aos meus amigos da nona e oitava turmas que estiveram comigo na faculdade, fazendo com que a graduação não fosse apenas aulas aprendidas, mas sim, conhecimento e amizades construídos juntos, os quais me inspiraram e animaram a continuar, mesmo quando eu dizia que trancaria o curso.

Ao Alexandre por ser um amigão, companheiro e que sempre estava de bom humor, disseminando seu jeito “muito louco” de levar a vida. Espero que possamos manter essa amizade além dos muros da faculdade e que tenhamos muito sucesso nas nossas carreiras de engenheiros.

À minha amiga Larissa, que me ajudou muito em várias disciplinas e sempre esteve pronta a conversar e me apoiar no que eu precisasse. Sou muito grato por sua amizade e paciência.

À minha amiga Sarah pela ajuda em diversos momentos durante a graduação, inclusive na atualização do meu curriculum Lattes que deu muito trabalho para ser atualizado.

Ao meu amigo Bruno por toda ajuda com referências bibliográficas e citações de artigos.

E à Fapesp - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pela bolsa de iniciação científica concedida.

Muito obrigado a todos!

A formulação de um problema é muitas vezes mais importante do que a sua solução, a qual pode ser simplesmente uma questão de habilidade matemática ou experimental.

Albert Einstein

RESUMO

O lixamento da madeira é um dos processos mais caros na indústria e pouco se sabe sobre os fatores que influenciam na qualidade final das peças. Por esse motivo, estudos envolvendo diferentes tratamentos na madeira vêm sendo desenvolvidos, a fim de se proporcionar melhor acabamento superficial, como por exemplo a termorreificação. O objetivo deste trabalho foi verificar a influência da termorreificação da madeira antes do processo de lixamento sobre a qualidade superficial das peças. Foram utilizadas as espécies de *Pinus elliottii* e *Corymbia citriodora*. Para avaliar o efeito da termorreificação no processo de lixamento da madeira, foi comparado o acabamento superficial das madeiras lixadas com e sem tratamento térmico. O lixamento foi realizado utilizando duas granulometrias de lixa, P80 e P120, com grãos abrasivos de óxido de alumínio. O processo de lixamento foi executado mediante lixamento horizontal plano na direção paralela às fibras. Foram utilizados seis corpos de prova para cada granulometria de lixa. Inicialmente, os corpos de prova foram termorreificados à 120° C, 160° C e 200° C, por 2 horas, e em seguida foram lixados. Para a análise da qualidade superficial das peças foi empregado o parâmetro de rugosidade média. Ainda foram analisados a potência consumida, emissão acústica, planicidade, temperatura máxima durante o lixamento e imagens de superfície em microscópio. Com os resultados obtidos conclui-se que o tratamento térmico diminuiu significativamente a rugosidade da madeira de ambas espécies, facilitando o acabamento final das peças.

Palavras-chave: Madeiras de reflorestamento. Lixamento. Termorreificação. Acabamento superficial. Rugosidade média.

ABSTRACT

The sanding of wood is one of the most expensive processes in the industry and it is unknown the factors that influence the final quality of the parts. For this reason, studies involving different treatments in wood have been developed in order to provide a better surface finish, such as thermal treatments. The objective of this study was to investigate the influence of heat treatments in wood before the sanding process in the surface quality of the samples. The effects of heat treatments in wood sanding process was observed by comparing thermal treated and sanded samples with other samples that were only sanded. The species used in the study were *Pinus elliottii* and *Corymbia citriodora*. The sanding process used was a horizontal plane sanding with parallel direction to the fibers, aluminum oxide as abrasive material and two different particle size sandpaper P120 and P80. Firstly, the woods were thermal treated at 120, 160 and 200°C for two hours, and then, they were sanded and analyzed the surface quality of the parts with the parameter of roughness. For each temperature, six samples were thermal treated according to the particle size of sandpaper. It was also used six control samples for each grain size sandpaper, totaling 48 experimental units for each species under study. The effects of heat treatments in wood were analyzed by measuring the roughness, consumed power, acoustic emission, flatness, maximum temperature during sanding and analyses of images from microscope. With the results, it is concluded that the heat treatment significantly decreased the roughness of the wood of both species, which improved the surface finish of the parts.

Key words: Wood of reforestation. Sanding process. Heat treatment. Superficial finishing. Roughness (Ra).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mudanças nos principais componentes da madeira durante o processo de termorretificação.....	21
Figura 2: Cortes do <i>Pinus elliottii</i> , (a) Face tangencial, (b) Face radial, (c) Fotomicrografia com ampliação de 10 vezes	23
Figura 3: Cortes do <i>Corymbia citriodora</i> (a) Face tangencial, (b) Face radial, (c) Fotomicrografia com ampliação de 10 vezes.....	24
Figura 4: Anatomia da lixa de papel.....	26
Figura 5: Sistema de gradeação dos grãos abrasivos.....	26
Figura 6: Representação esquemática da remoção do cavaco	27
Figura 7: Grãos de óxido de Alumínio	29
Figura 8: Lixamento com uma zona de contato plana.....	30
Figura 9: Lixamento com uma zona de contato plana: rotação n.....	30
Figura 10: Comprimentos de amostragem (le).....	32
Figura 11: Parâmetro de Rugosidade Ra	33
Figura 12: Dimensões dos corpos de prova.....	36
Figura 13: Rugosímetro	37
Figura 14: Lixadeira plana.....	38
Figura 15: Rugosímetro da marca TAYLOR HOBSON, modelo Surtronic 25+.....	40
Figura 16: Transdutor de corrente modelo TRX-I/U.....	40
Figura 17: Módulo de emissão acústica (1), sensor (2) e amplificador (3).....	42
Figura 18: Câmera infravermelha utilizada na medição da temperatura.....	44
Figura 19: Imagens geradas por câmera comum e pela Câmera infravermelha FLIR SYSTEMS, modelo FLIR i5	44
Figura 20: Ilustração da tela do programa de aquisição feito no software LabView® 7.	45
Figura 21: Gráficos de interação entre granulometria de lixa e temperatura de termorretificação para a espécie <i>Corymbia citriodora</i> . (a) Rugosidade em função das temperaturas de termorretificação; (b) Rugosidade em função das granulometrias de lixa.	49
Figura 22: Distribuição da rugosidade média das amostras de <i>Corymbia citriodora</i> , lixadas com diferentes lixas e diferentes temperaturas de termorretificação. (a) Rugosidade média devida às diferentes granulometrias de lixa; (b) Rugosidade média para as diferentes temperaturas. Diferentes letras representam diferença significativa (P-valor<0,05) entre grupos.	50
Figura 23: Gráficos de barras com desvios padrões para as granulometrias de lixa e temperaturas de termorretificação para a espécie <i>Corymbia citriodora</i> . (a) Rugosidade em função das temperaturas de termorretificação; (b) Rugosidade em função das granulometrias de lixa.	51
Figura 24: Gráficos de interação entre granulometria de lixa e temperatura de termorretificação para a espécie <i>Pinus elliottii</i> . (a) Rugosidade em função temperatura de termorretificação aplicada às amostras; (b) Rugosidade em função das granulometrias de lixa.....	53
Figura 25: Gráficos de barras com desvios padrões para as granulometrias de lixa e temperaturas de termorretificação para a espécie <i>Pinus elliottii</i> . (a) Rugosidade em função da temperatura dada às amostras; (b) Rugosidade em função das granulometrias de lixa. ..	54
Figura 26: Distribuição da rugosidade média das amostras de <i>Pinus elliottii</i> , lixadas com diferentes lixas e diferentes tratamentos térmicos. (a) Rugosidade média devida às	

diferentes granulometrias de lixa; (b) Rugosidade média para os diferentes tratamentos térmicos e temperatura controle. Diferentes letras representam diferença significativa (P-valor<0,05) entre grupos.	55
Figura 27: Gráficos de interação entre granulometria de lixa e temperatura de termorreificação para a espécie <i>Pinus elliottii</i> . (a) Rugosidade em função das temperaturas de termorreificação; (b) Rugosidade em função das granulometrias de lixa.	56
Figura 28: Gráficos de barras com desvios padrões para as granulometrias de lixa e temperaturas de termorreificação para a espécie <i>Pinus elliottii</i> . (a) Rugosidade em função das temperaturas de termorreificação; (b) Rugosidade em função das granulometrias de lixa.	57
Figura 29: Amostras lixadas com granulometria P80: (a) <i>C. citriodora</i> a 25° C. (b) <i>C. citriodora</i> a 120° C. (c) <i>C. citriodora</i> a 160° C. (d) <i>C. citriodora</i> a 200° C. (e) <i>P. elliottii</i> a 25° C. (f) <i>P. elliottii</i> a 120° C. (g) <i>P. elliottii</i> a 160° C. (h) <i>P. elliottii</i> a 200° C.	83
Figura 30: Interação entre granulometria de lixa e temperatura de termorreificação para a espécie <i>C. citriodora</i> . (a) Emissão acústica em função das temperaturas de termorreificação; (b) Emissão acústica em função das granulometrias de lixa.	59
Figura 31: Distribuição da emissão acústica produzida pelas amostras <i>Corymbia citriodora</i> , lixadas com diferentes lixas com diferentes temperaturas de termorreificação. (a) Emissão acústica devida às diferentes granulometrias de lixa; (b) Emissão acústica devida às temperaturas de aquecimento e temperatura controle. Diferentes letras representam diferença significativa (P-valor<0,05) entre grupos.	60
Figura 32: Gráficos de barras com desvios padrões para as granulometrias de lixa e temperaturas de termorreificação para a espécie <i>C. citriodora</i> . (a) Emissão acústica em função das temperaturas de termorreificação; (b) Emissão acústica em função das granulometrias de lixa.	61
Figura 33: Interação entre granulometria de lixa e temperatura de termorreificação para a espécie <i>P. elliottii</i> . (a) Emissão acústica em função das temperaturas de termorreificação; (b) Emissão acústica em função das granulometrias de lixa.	63
Figura 34: Distribuição da emissão acústica produzida pelas amostras <i>P. elliottii</i> , lixadas com diferentes lixas com diferentes temperaturas de termorreificação. (a) Emissão acústica devida às diferentes granulometrias de lixa; (b) Emissão acústica devida às temperaturas de aquecimento temperatura controle. Diferentes letras representam diferença significativa (P-valor<0,05) entre grupos.	64
Figura 35: Interação entre granulometria de lixa e temperatura de termorreificação para a espécie <i>Corymbia citriodora</i> . (a) Potência consumida em função das temperaturas de termorreificação; (b) Potência consumida em função das granulometrias de lixa.	66
Figura 36: Interação entre granulometria de lixa e temperatura de termorreificação para a espécie <i>P. elliottii</i> . (a) Potência consumida em função das temperaturas de termorreificação; (b) Potência consumida em função das granulometrias de lixa.	68
Figura 37: Distribuição da potência consumida pelas amostras <i>P. elliottii</i> , lixadas com diferentes lixas com diferentes temperaturas de termorreificação. (a) Potência devida às diferentes granulometrias de lixa; (b) Potência devida às temperaturas de aquecimento temperatura controle. Diferentes letras representam diferença significativa (P-valor<0,05) entre grupos.	69
Figura 38: Interação entre granulometria de lixa e temperatura de termorreificação para a espécie <i>Corymbia citriodora</i> . (a) Planicidade em função das temperaturas de termorreificação; (b) Planicidade em função das granulometrias de lixa.	71
Figura 39: Gráficos de barras com desvios padrões para as granulometrias de lixa e temperaturas de termorreificação para a espécie <i>Corymbia citriodora</i> . (a) Planicidade em função das	

temperaturas de termorreificação; (b) Planicidade em função das granulometrias de lixa	72
Figura 40: Interação entre granulometria de lixa e temperatura de termorreificação para a espécie <i>Pinus elliottii</i> . (a) Planicidade em função das temperaturas de termorreificação; (b) Planicidade em função das granulometrias de lixa	74
Figura 41: Distribuição da planicidade das amostras de <i>Pinus elliottii</i> , lixadas com diferentes lixas e diferentes tratamentos térmicos. (a) Planicidade devida às diferentes granulometrias de lixa; (b) Planicidade devida aos diferentes tratamentos térmicos e temperatura controle. Diferentes letras representam diferença significativa (P-valor<0,05) entre grupos.	74
Figura 42: Gráficos de barras com desvios padrões para as granulometrias de lixa e temperaturas de termorreificação para a espécie <i>Pinus elliottii</i> . (a) Planicidade em função das temperaturas de termorreificação; (b) Planicidade em função das granulometrias de lixa.	75
Figura 43: Interação entre granulometria de lixa e temperatura de termorreificação para a espécie <i>Corymbia citriodora</i> . (a) Temperatura máxima no lixamento em função das temperaturas de termorreificação; (b) Temperatura máxima no lixamento em função das granulometrias de lixa	77
Figura 44: Gráficos de barras com desvios padrões para as granulometrias de lixa e temperaturas de termorreificação para a espécie <i>Corymbia citriodora</i> . (a) Temperatura máxima no lixamento em função das temperaturas de termorreificação; (b) Temperatura máxima no lixamento em função das granulometrias de lixa.	78
Figura 45: Interação entre granulometria de lixa e temperatura de termorreificação para a espécie <i>Pinus elliottii</i> . (a) Temperatura máxima no lixamento em função das temperaturas de termorreificação; (b) Temperatura máxima no lixamento em função das granulometrias de lixa.	80
Figura 46: Distribuição da Temperatura máxima no lixamento das amostras de <i>Pinus elliottii</i> , lixadas com diferentes lixas e diferentes tratamentos térmicos. (a) Temperatura máxima devida às diferentes granulometrias de lixa; (b) Temperatura máxima devida às diferentes temperaturas de termorreificação e temperatura controle. Diferentes letras representam diferença significativa (P-valor<0,05) entre grupos	81
Figura 47: Gráficos de barras com desvios padrões para as granulometrias de lixa e temperaturas de termorreificação para a espécie <i>Pinus elliottii</i> . (a) Temperatura máxima no lixamento em função das temperaturas de termorreificação; (b) Temperatura máxima no lixamento em função das granulometrias de lixa.	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comprimento de amostragem (“ <i>cut-off</i> ”)	32
Tabela 2- Variáveis de entrada e parâmetros de saída.....	39
Tabela 3: Características técnicas do transdutor de corrente TRX-I/U	41
Tabela 4: Características técnicas do amplificador	43
Tabela 5: Valores de médias e desvios padrões para rugosidade nas diferentes condições de lixamento do <i>Corymbia citriodora</i>	48
Tabela 6: Valores de médias e desvios padrões para rugosidade nas diferentes condições de lixamento do <i>Pinus elliottii</i>	52
Tabela 7: Valores de médias e desvios padrões para emissão acústica nas diferentes condições de lixamento do <i>Corymbia citriodora</i>	58

SUMÁRIO

1	Introdução.....	14
2	Objetivos	16
2.1	Geral	16
2.2	Específicos.....	16
3	Revisão Bibliográfica.....	17
3.1	Trabalhos sobre lixamento de madeira realizados no Campus de Itapeva	17
3.2	Termorretificação da madeira.....	19
3.2.1	Mudanças químicas na madeira.....	20
3.2.2	Mudanças nas propriedades físicas e mecânicas	21
3.3	A espécie de madeira <i>Pinus elliottii</i>	23
3.4	A espécie de madeira <i>Corymbia citriodora</i>	24
3.5	O processo de lixamento e o material abrasivo	25
3.5.1	Grão abrasivo: óxido de alumínio (Al_2O_3).....	28
3.5.2	Lixamento plano de madeiras.....	29
3.6	Medição da rugosidade.....	30
3.6.1	Medição da rugosidade pela da linha média.....	31
3.6.2	Rugosidade média (Ra)	33
3.7	Medição da potência de usinagem.....	33
3.8	Medição da emissão acústica.....	34
4	Material e métodos.....	36
4.1	Preparação das amostras	36
4.2	Termorretificação e lixamento das amostras	37
4.3	Aparato de ensaios.....	38
4.4	Variáveis dos ensaios e parâmetros de medição.....	39
4.5	Descrição dos parâmetros de medição.....	39
4.5.1	Medição da rugosidade média (Ra).....	39
4.5.2	Aquisição da potência de lixamento	40
4.5.3	Aquisição da emissão acústica	42
4.5.1	Planicidade das peças	43
4.5.1	Análise do aquecimento das peças durante o lixamento	43
4.5.1	Programa de aquisição de dados.....	45

4.5.1	Imagens microscópicas.....	46
4.5.2	Delineamento experimental e tratamento estatístico dos dados	46
5	Resultados e Discussão	47
5.1	Rugosidade média (Ra)	47
5.1.1	Corymbia citriodora.....	47
5.1.2	Pinus elliottii.....	51
5.2	Emissão acústica.....	58
5.2.1	Corymbia citriodora.....	58
5.2.1	Pinus elliottii.....	61
5.3	Potência consumida	65
5.3.1	Corymbia citriodora.....	65
5.3.2	Pinus elliottii.....	67
5.4	Planicidade das peças	70
5.4.1	Corymbia citriodora.....	70
5.4.2	Pinus elliottii.....	72
5.5	Temperatura máxima das peças.....	76
5.5.1	Corymbia citriodora.....	76
5.5.2	Pinus elliottii.....	79
5.5.3	Imagens Microscópicas	83
6	Conclusão	84
6.1	Sugestões para trabalhos futuros	84
7	Referências Bibliográficas	86
7.1	Potência consumida	Error! Bookmark not defined.
7.2	Planicidade das peças	Error! Bookmark not defined.
7.3	Temperatura máxima durante o lixamento	Error! Bookmark not defined.

1 INTRODUÇÃO

O processo de lixamento da madeira é muito utilizado em diversos setores da indústria, e tem o intuito de diminuir as imperfeições das peças e aumentar a qualidade superficial. Está presente em indústrias moveleiras, painéis, beneficiamento da madeira, entre outras, e uma de suas funções é eliminar os danos causados pelos processos de usinagem que antecedem o lixamento. Este processo é um dos mais caros, e após a sua aplicação tem-se uma superfície mais adequada e de menor rugosidade para a aplicação de produtos químicos, o que garante uma maior penetração e uniformidade do produto de acabamento na madeira. Há diversos métodos de lixamento da madeira, como lixamento plano horizontal e vertical; mas pouco se conhece sobre o efeito de tratamentos que possam facilitar e/ou melhorar a qualidade do lixamento, como por exemplo os tratamentos térmicos na madeira.

O aquecimento da madeira é um processo antigo, de fácil execução e barato que é apontado por diversos pesquisadores como benéfico a várias propriedades deste material. Os diversos estudos que tratam a termorreificação vêm buscando entender a influência deste tratamento sobre várias propriedades da madeira como: resistência ao cisalhamento, compressão paralela, flexão estática, tração normal e perpendicular, dureza Janka, adesividade, molhabilidade, higroscopicidade, envelhecimento, envernizamento, colorimetria, apodrecimento, estabilidade dimensional, perda de massa, densidade básica, e retratibilidade.

Há estudos que mostram que a termorreificação atua no controle de pragas como cupins e diminui o ataque de fungos. Porém, pouco se conhece sobre os efeitos desses tratamentos sobre os processos de usinagem e acabamento. Alguns trabalhos apontam que a qualidade superficial de peças usinadas sofre alterações quando o material a ser usinado é tratado termicamente. Destaca-se que não há trabalhos que caracterizem o efeito da termorreificação com enfoque na qualidade superficial, emissão acústica e aquecimento das peças durante o processo de lixamento.

Com isso, fez-se importante analisar neste trabalho a influência da termorreificação da madeira antes do lixamento plano na qualidade superficial das peças através do parâmetro rugosidade média (R_a). Também foi avaliado o consumo de potência nas diferentes condições de lixamento e a emissão acústica produzidas. Paralelamente, outros parâmetros foram analisados, como o aquecimento máximo das amostras durante o lixamento, a planicidade das

peças após os ensaios de lixamento e termorreificação, além dos efeitos da termorreificação em madeiras com diferentes densidades (coníferas e folhosas) no lixamento horizontal plano.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Verificação da influência da termorretificação da madeira antes do processo de lixamento sobre a qualidade superficial das peças.

2.2 Específicos

- Analisar a qualidade superficial através do parâmetro de rugosidade média (Ra);
- Analisar a emissão acústica produzida durante o lixamento;
- Avaliar o consumo de potência nas diferentes condições de lixamento;
- Analisar o aquecimento máximo das amostras durante o lixamento;
- Avaliar a planicidade das peças após os ensaios de lixamento e termorretificação;
- Avaliar a qualidade superficial por imagens microscópicas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Trabalhos sobre lixamento de madeira realizados no Campus de Itapeva

Varasquim (2009), analisou a influência da velocidade de corte, da granulometria das lixas e da carga aplicada no processo de lixamento do *Eucalyptus grandis* com corte perpendicular às fibras. Teve como variáveis de saída a qualidade superficial (medido através da rugosidade Ra) e os esforços de corte analisados através da força tangencial e da potência de lixamento. Com isso, observou que a lixa que obteve menor esforço de lixamento foi aquela com gramatura P100. As melhores rugosidades foram obtidas nos ensaios onde se obteve as menores forças e potências de corte, concluindo que a qualidade final é inversamente proporcional a força e potência de lixamento.

Para entender a influência e a interação da granulometria de lixa, velocidade de corte e pressão sobre o acabamento superficial, Santiago (2011), analisou o processo de lixamento plano da madeira de *Pinus elliottii*, processado paralelo às fibras. No experimento foram utilizados quatro tipos de granulometria de lixa, três velocidades de corte e três pressões, com seis repetições para cada combinação. Com isso o autor pode observar que para o acabamento superficial apenas a granulometria de lixa e a pressão influenciaram significativamente.

Bortoluci (2012), estudou as influências da granulometria das lixas e do desgaste dos grãos abrasivos no lixamento plano de *Pinus elliottii* e *Corymbia citriodora* feito paralelo às fibras. Ele utilizou neste experimento lixa de carbetto de Silício (SiC) com três diferentes granulometrias (P80, P100 e P120). Observou assim que as lixas desgastadas proporcionaram melhor acabamento superficial devido à alta fiabilidade do SiC, no qual, após o desgaste os grãos abrasivos formaram arestas de corte nos grãos menores, tendo um comportamento semelhante às lixas de maiores granulometrias.

Fonseca (2012), verificou a influência da granulometria e do desgaste dos grãos abrasivos de óxido de alumínio no processo de lixamento plano de duas espécies de madeira (*Pinus elliottii* e *Eucalyptus sp*) através das seguintes variáveis: força de corte, potência consumida e a rugosidade superficial das peças lixadas. De acordo com os resultados obtidos,

a rugosidade superficial foi influenciada pela granulometria de lixas (sem desgaste), sendo que o mesmo não ocorreu para as lixas desgastadas.

Leite (2013), estudou o processo de lixamento do *Pinus elliottii*, utilizando as lixas de carbetto de silício e óxido de alumínio, com o objetivo de comparar o comportamento destas através das variáveis de saída presentes no processo (força, potência, emissão, vibração, desgaste, granulometria da lixa e suas consequências no acabamento superficial da peça). O lixamento foi realizado paralelo as fibras utilizando 03 granulometrias diferentes de lixa (P80, P100 e P120). Com os resultados pode-se observar que as peças lixadas com óxido de alumínio tenderam a apresentar maior força, potência e emissão. No entanto, obteve menor vibração no processo de lixamento. Em relação ao acabamento superficial a lixa que obteve melhor resultado foi a de carbetto de silício na granulometria P120. Nas demais granulometrias (P80 e P100) não houve diferença significativa da lixa de óxido de alumínio.

Lima (2013), estudou os efeitos da variação do teor de umidade da madeira no processo de lixamento utilizando duas espécies diferentes (*Pinus elliottii* e *Corymbia citriodora*), três granulometrias de lixas (P80, P100 e P120) e três faixas de umidade ($7\% \pm 2$, $12\% \pm 2$ e $17\% \pm 2$). Em seu trabalho a autora concluiu que a umidade de $12\% \pm 2$ apresentou maiores vantagens no lixamento entre as duas espécies de madeira, levando em consideração a energia gasta e o tempo necessário para secar as peças. A umidade de 12% não diferiu significativamente da umidade de 7% em todos os parâmetros analisados (rugosidade superficial, emissão acústica, potência consumida e temperatura máxima).

Varasquim (2014), em sua tese, observou a influência do tipo abrasivo sobre a rugosidade da madeira. Para isso realizou o lixamento plano do *Corymbia citriodora* e do *Pinus elliottii*, utilizando três tipos de grãos abrasivos (óxido de alumínio, carbetto de silício e óxido de zircônio) e três granulometrias de lixa (P80, P100 e P120). Assim observou que as amostras que obtiveram menores valores foram as lixadas com grãos abrasivos de óxido de alumínio com lixas com granulometria P80 e P100, em relação a P120. Porém a que obteve melhor resultado quanto à rugosidade foi a lixa de carbetto de silício.

3.2 Termorreificação da madeira

A madeira pode ser retificada termicamente de diversas maneiras, como na presença de oxigênio ou nitrogênio, com pressão ou sem, dentre outros. Os efeitos do processo de aquecimento dependerão de qual tipo de tratamento foi dado ao material. Todas as madeiras tratadas termicamente podem ser coladas ou pintadas e também podem ser utilizadas na fabricação de móveis, pisos, portas, componentes de janelas entre outros (IBACH, 2010).

De acordo com Rapp (2001), um dos processos de termorreificação mais utilizados na Europa é dividido em 3 etapas:

- 1) Período de aumento de temperatura. Aquecimento preliminar de 100 a 150°C por até 48 horas.
- 2) Período de real termorreificação (temperatura constante entre 150 a 240°C), de 30 minutos até 4 horas.
- 3) Período de resfriamento e estabilização da madeira, por até 24 horas.

As espécies de madeira comuns de serem termorreificadas na Europa é o *Pinus silvestris*, *Picea abies* e *Betula verrucosa*. Segundo o autor, a termorreificação deve ser feita diferentemente para cada tipo de madeira, por causa das diferenças químicas e estruturais de cada espécie. Geralmente coníferas são tratadas termicamente mais agressivamente que folhosas, pois as folhosas possuem mais tensões e se não forem termorreificadas suavemente elas podem rachar e ser danificadas. Coníferas são termorreificadas para serem utilizadas em ambientes externos onde se faz necessário a alta resistência aos altos teores de umidade. Já as folhosas, quando termorreificadas, são usadas em ambientes internos, como por exemplo, em móveis de cozinha onde se necessita de diferente coloração da madeira e alta qualidade superficial (RAPP, 2001).

Boonstra (2008), estudou em sua tese o processo de tratamento térmico da madeira com duas etapas: a primeira etapa chamada de hidrotermólise, na qual a madeira é aquecida entre 150° C a 180° C em ambiente aquoso e em alta pressão. Na segunda etapa do processo, a madeira é aquecida novamente em temperaturas de 150° C a 190° C, porém em atmosfera seca. Segundo Boonstra (2008) e Rowell (2006), a propriedade da madeira que mais é beneficiada

com a termorreificação é a higroscopicidade. Também é melhorada a resistência da madeira aos ataques biológicos e aumentada a estabilidade dimensional.

O Pinus é um ótimo material para ser termorreificado. Frequentemente essa árvore quando tratada termicamente é utilizado em ambientes externos porque tem alta estabilidade dimensional e resistência à umidade. O único problema em se termorreificar coníferas é que a resina sai das peças e pode então danificar o equipamento. Entretanto, quando a resina é retirada, muitas outras aplicações podem ser feitas com a madeira termorreificada (RAPP, 2001).

3.2.1 Mudanças químicas na madeira

Boonstra (2008) relata que na etapa úmida do processo de termorreificação (hidrotermólise), hemiceluloses são despolimerizadas por reações de hidrólise em monômeros e oligômeros. Ocorre também a quebra de cadeias laterais, que são arabinoses e galactoses, seguido por quebras em cadeias principais, como xiloses, glicoses e manoses. São formados alguns aldeídos durante o aquecimento da madeira, principalmente formaldeído, que posteriormente proporcionarão a formação de ácidos acéticos. Esses ácidos contribuem para a decomposição de polissacarídeos da madeira (NAVI e SANDBERG, 2012). Na segunda etapa da termorreificação, ocorre a cristalização da celulose devido a degradação de celulose amorfa, e também a condensação da lignina, aumentando assim o número de ligações cruzadas e a resistência da madeira à umidade. Entretanto, os autores ressaltam que estas reações químicas dependem diretamente do tempo de aquecimento e temperatura escolhida no processo.

Yildiz *et al.*, (2006), constataram que a celulose resiste por mais tempo à degradação térmica de sua estrutura do que a hemicelulose. A termorreificação provoca um aumento relativo no teor de lignina da madeira e diminuição nos teores de holocelulose e de α -celulose, indicando a sua degradação pelo tratamento térmico (POUBEL *et al.*, 2013).

De acordo com Navi e Sandberg (2012), a maioria dos extrativos presentes na madeira são extraídos durante a termorreificação. Porém, alguns novos compostos podem ser formados durante a degradação das paredes celulares da madeira, os quais saem do material juntos com alguns extrativos voláteis. A Figura 1 apresenta resumidamente as reações químicas que ocorrem na madeira durante o seu aquecimento

Figura 1: Mudanças nos principais componentes da madeira durante o processo de termorretificação



Fonte: Adaptado de Navi e Sandberg (2012)

3.2.2 Mudanças nas propriedades físicas e mecânicas

Brito *et al.* (2006) realizaram um estudo de termorretificação da madeira de *Eucalyptus grandis* nas temperaturas de 120° C, 140° C, 160° C, 180° C e 200° C. O objetivo do trabalho foi analisar os efeitos de tratamentos térmicos na densidade básica e retratibilidade da madeira. Os autores concluíram que nenhuma das temperaturas estudadas provocou alguma mudança na densidade básica da madeira. Entretanto, para a temperatura de 200° C houve uma diminuição significativa de 25% na sua retratibilidade.

Segundo Moura & Brito (2008) a termorretificação da madeira aumenta a estabilidade dimensional do material, promove melhor resistência aos fungos, e também diminui a higroscopicidade significativamente.

Araújo (2010) termorretificou diversas espécies de madeira, incluindo *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus sp*, em temperatura ambiente, 180, 200 e 220°C. Os tratamentos duraram 1 hora após a estabilização da temperatura. Para todas as espécies foi constatado a diminuição do equilíbrio higroscópico, enquanto a densidade básica só foi afetada nas temperaturas de 200 e 220°C.

Gunduz, Aydemir e Karakas (2009) realizaram tratamentos térmicos na madeira de *Wild Pear* em três diferentes temperaturas (160° C, 180° C a 200° C) e com três diferentes tempos de tratamento (3, 5 e 7 horas). Os autores perceberam que o aumento do tempo e da temperatura de tratamento melhoraram as propriedades físicas de inchamento e absorção de água da madeira. Entretanto, diminuíram as suas propriedades mecânicas de flexão estática e

compressão. Com isso foi concluído que até a temperatura de 180° C houve uma melhora nas propriedades físicas da madeira e uma pequena diminuição nas suas propriedades mecânicas.

Segundo Araújo (2010) a termorretificação não apresenta aumento significativo na dureza Janka de diferentes espécies de madeira. Em 2008, Moura e Brito estudaram os efeitos da termorretificação das madeiras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Eucalyptus grandis* nas propriedades mecânicas e de acabamento dessas madeiras. Os tratamentos térmicos foram feitos na presença e ausência de oxigênio nas temperaturas de 140, 160, 180 e 200° C. As amostras depois de termorretificadas foram lixadas em granulometrias de lixa de 80, 100 e 120 mesh. Segundo os autores, houve diminuição das propriedades mecânicas das madeiras, e com isso o lixamento teve maior penetração dos grãos abrasivos. O parâmetro rugosidade média foi aumentado nas amostras termorretificadas significativamente.

Poubel *et. al.* (2013) conduziram um estudo no qual avaliou-se o efeito da termorretificação nas propriedades físicas da madeira normal e de compressão de *Pinus caribea*. O tratamento foi realizado nas temperaturas de 200° C e 220° C durante 2 horas. Os resultados mostraram que houve redução na umidade de equilíbrio, no inchamento e nas contrações da madeira normal e de compressão após o tratamento em ambas as temperaturas.

Salca e Hiziroglu (2014) estudaram a influência do tratamento térmico na dureza e na rugosidade de quatro espécies de madeira: *Alnus glutinosa* L., *Quercus falcata* Michx., *Pinus taeda* L. e *Liriodendron tulipifera*. Os tratamentos foram realizados nas temperaturas de 120° C e 190° C, e nos tempos de exposição de 3h e 6h. Os autores chegaram à conclusão que o tratamento térmico melhorou a qualidade da superfície de todas as espécies de madeira, entretanto diminuiu a sua dureza.

Kacikova *et. al.* (2013) estudaram a influência do tratamento térmico nas propriedades químicas e mecânicas e nos padrões de cor da madeira de “*abeto norueguês*”. Foi realizado o tratamento térmico nas temperaturas de 113, 134, 158, 187, 221, 237, 253, e 271°C durante 90 minutos. Com os resultados obtidos pôde-se perceber que houve um aumento na coloração marrom da madeira, ficando cada vez mais escura, conforme se aumentava a temperatura de tratamento. Houve também o aumento da temperatura que ocasionou uma maior perda de massa e um aumento na cristalinidade total da celulose e no teor de lignina e extrativos. Entretanto, houve uma diminuição no grau de polimerização da celulose e nos teores de

hemicelulose e celulose, juntamente com uma diminuição no módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE).

Silva e Molina (2014), estudaram os efeitos de tratamentos térmicos nas propriedades de resistência e rigidez da madeira de *Eucalypto citriodora*. Em seu trabalho, os autores utilizaram amostras de madeira termorretrificadas à 160, 180, 200, 220 e 240° C com taxa de aquecimento de 0,033 °C.min⁻¹. As variáveis analisadas foram: resistência à compressão paralela às fibras, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras, módulo de resistência da madeira à flexão, módulo de elasticidade à flexão, resistência à tração paralela às fibras e cisalhamento paralelo às fibras da madeira. Os resultados obtidos demonstraram que não houve evidência significativa de que a termorretrificação influencia na rigidez dessa madeira. Entretanto, constataram queda significativa na resistência do material.

3.3 A espécie de madeira *Pinus elliottii*

O *Pinus elliottii* é uma madeira de reflorestamento típica de regiões do norte, sul e sudeste do Brasil, mas presente também em alguns outros países, como nos Estados Unidos.

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 1989), a madeira de *Pinus elliottii* é uma espécie muito suscetível ao ataque de cupins, fungos manchadores, emboloradores e apodrecedores, brocas marinhas, entre outros. Entretanto, é uma madeira fácil de se tratar com preservantes químicos. Sabe-se ainda que o Pinus apresenta ótima usinabilidade, ou seja, é fácil de se trabalhar. Possui facilidade em desdobro, aplainamento, desenrolamento, lixamento e de muito bom acabamento superficial. A Figura 2 apresenta os diferentes cortes do *Pinus elliottii*, na face tangencial e radial, e a fotomicrografia ampliada 10 vezes de sua superfície.

Figura 2: Cortes do *Pinus elliottii*, (a) Face tangencial, (b) Face radial, (c) Fotomicrografia com ampliação de 10 vezes



Fonte: Adaptado de IPT (1989)

Segundo IPT (1989) esta madeira possui baixa densidade básica, aproximadamente 400 Kg/m^3 , e por isso é macia ao corte. Sua resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}) à 15% de umidade é de aproximadamente 31,5 MPa. O módulo de elasticidade do *Pinus elliottii* (E_{c0}) de madeira verde é de 8846 MPa.

O *Pinus elliottii* é utilizado em diversos setores, como na construção civil, mobiliário e outros utensílios encontrados no cotidiano. Na construção civil pode ser usado para fins estruturais, como ripas, guarnições, forros, rodapés, fôrmas para concreto, pontaletes, dentre outros. No mobiliário, é aplicado em móveis estândar, e também partes internas de inúmeros móveis. Em outras aplicações encontram-se o uso de lâminas, chapas, palitos, bobinas, embalagens e cabos em geral (IPT, 1989).

O *Pinus elliottii* também pode ser usado como lenha e para a extração da resina, que após a sua destilação, obtém-se o breu e a terebintina, muito utilizados na indústria de papel e tintas, respectivamente (LOUPPE *et al.*, 2008).

3.4 A espécie de madeira *Corymbia citriodora*

O *Corymbia citriodora* (ex *Eucalyptus citriodora*) é uma madeira de reflorestamento encontrada em muitos estados do Brasil, como Bahia, Espírito Santo, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Pará, Pernambuco, São Paulo, entre outros. Há também a produção dessa madeira em outros países, como por exemplo África do Sul, Quênia, Portugal, Indonésia, China, Tailândia (IPT, 1989).

A Figura 3 apresenta os diferentes cortes do *Corymbia citriodora*, na face tangencial e radial, e a fotomicrografia ampliada 10 vezes de sua superfície.

Figura 3: Cortes do *Corymbia citriodora* (a) Face tangencial, (b) Face radial, (c) Fotomicrografia com ampliação de 10 vezes



Fonte: Adaptado de IPT (1989)

O *Corymbia citriodora* (ex. *Eucalyptus citriodora*) é uma espécie caracterizada por possuir porte médio a grande, com média de 50 metros de altura e 1,2 metros de DAP (diâmetro altura do peito), com pouca folhagem e uma ótima forma de tronco. É comum a incidência de bifurcações nestas árvores devido às deficiências nutricionais em solos pobres. Esta folhosa, por sua vez, regenera-se bem através de brotações das cepas (INSTITUTO DE ESTUDOS E PESQUISAS FLORESTAIS, 2012).

De acordo com o IPT (1989), esta madeira possui alta densidade básica ($\rho_{bas} = 867 \text{ kg/m}^3$) e boa durabilidade. Sua resistência média à compressão paralela às fibras à 15% de umidade é de 62,8 MPa. O módulo de elasticidade média do *Corymbia citriodora* (E_{co}) de madeira verde é de 15867 MPa.

Lemos *et al.* (2012) estudaram a variação das propriedades físicas da madeira de *Corymbia citriodora* e os resultados mostraram que a densidade básica da espécie em estudo apresentou pouca variação entre as posições cerne/alburno e no sentido longitudinal, obtendo no cerne valores entre (0,575 e 0,598 g.cm^{-3}) e no alburno entre (0,600 e 0,634 g.cm^{-3}). A contração volumétrica da madeira do cerne apresentou variações significativas no sentido longitudinal e entre o cerne/alburno.

A madeira de *Corymbia citriodora* pode ser utilizada em diversas áreas, como na construção civil, na forma de postes, cruzetas, dormentes, vigas, caibros; em assoalhos, como tacos; mobiliário, em diferentes tipos de móveis e revestimentos; e em utilidades gerais, como cabos de ferramentas e embarcações (IPT, 1989).

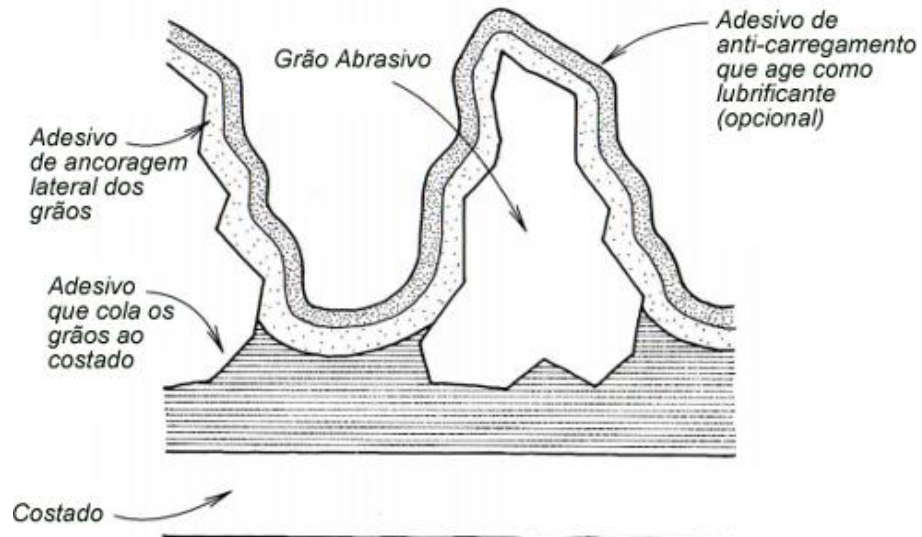
3.5 O processo de lixamento e o material abrasivo

Como já dito, o lixamento (usinagem por grãos abrasivos) é um dos processos mais caros na indústria madeireira. Este processo é difícil de ser caracterizado e analisado por causa da natureza aleatória e distribuição dos grãos na lixa. No caso de lixamento de materiais heterogêneos como a madeira, a complexidade do processo aumenta e muitas variações devem ser consideradas (SALONI *et al.*, 2010).

No processo de lixamento a superfície da madeira é nivelada, eliminando danos provenientes do processamento mecânico realizado, tornando possível a aplicação de produtos químicos (tintas, seladores, etc.). A lixa utilizada neste processo é constituída de grãos

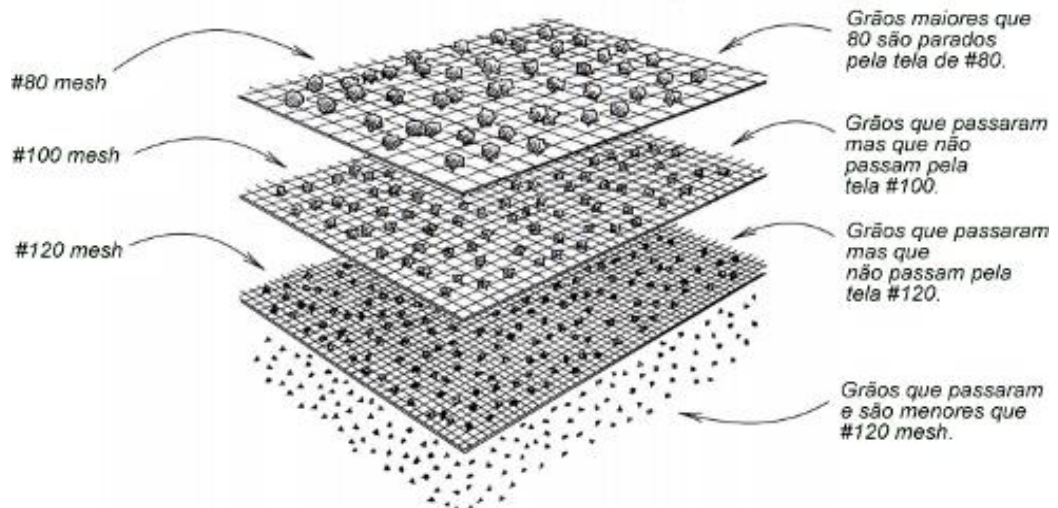
abrasivos alicerçado em uma matriz (Figura 4). O lixamento pode ser finalizado no momento em que as cavidades deixadas pela lixa no material tornam-se invisíveis a olho nu. Estas cavidades são proporcionais ao tamanho do grão usado (Figura 5).

Figura 4: Anatomia da lixa de papel



Fonte: Adaptado de Nagyszalanczy (1997)

Figura 5: Sistema de gradeação dos grãos abrasivos

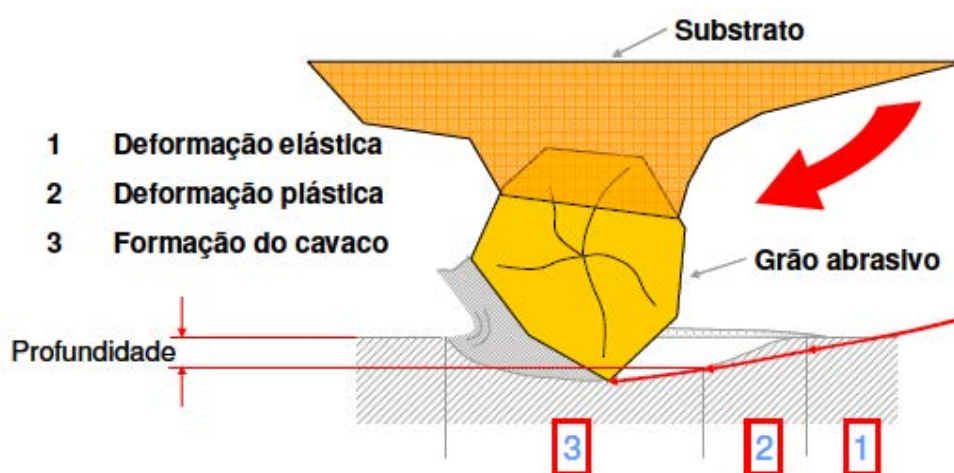


Fonte: Adaptado de Nagyszalanczy (1997)

Segundo Hendaro *et al.*, (2011), muitas indústrias moveleiras têm problemas no departamento de acabamento da madeira. O maior problema no lixamento da madeira ocorre pelo fato do material possuir grande variabilidade entre espécies e também condições ambientais.

De acordo Gonçalves *et al.* (2010), durante o processo de lixamento a formação de cavaco através do uso de abrasivo é efetuada em um primeiro instante, pelo contato grão-peça dando início a deformação elástica. Posteriormente ocorre a deformação plástica e, por fim, o corte e saída do cavaco (Figura 6).

Figura 6: Representação esquemática da remoção do cavaco



Fonte: Gonçalves *et al.* (2010)

A usinagem por abrasão melhora a superfície da madeira, sendo este processo imprescindível quando este material for passar por uma posterior etapa de envernizamento ou pintura por exemplo. Um bom lixamento assegura uma melhor penetração e uniformidade do produto aplicado no material. No entanto, um problema intrínseco ao lixamento de madeira é o fato de existir heterogeneidade nesta matéria-prima (espécie, diferentes densidades, dureza, orientação das fibras, tamanhos de poros, divergência entre madeira jovem e velha), fazendo com que, seja necessária a troca de lixas para diferentes tipos de madeira. Muitas indústrias de móveis não se atentam a esses fatores, e acabam utilizando o mesmo procedimento para todas as espécies de madeira usadas (HENDARTO *et al.*, 2013).

Tibúrcio (2009) realizou a medição e análise do acabamento superficial da madeira de eucalipto na usinagem de torneamento cilíndrico e lixamento. O autor investigou a influência da velocidade de avanço no torneamento cilíndrico em conjunto com o processo de lixamento tubular vertical sobre a rugosidade média. Neste experimento foram utilizadas diferentes velocidades de avanço do torno, espécies de eucalipto e conjuntos de granulometria de lixas de óxido de alumínio. O autor concluiu que para os três conjuntos de lixas empregadas, o conjunto de lixas de granulometrias 80 e 120 mesh, para desbaste e acabamento, respectivamente, foi aquele que apresentou o melhor desempenho quanto ao acabamento superficial para as duas espécies de eucalipto.

Porankiewicz *et. al.*, (2010) estudou as variáveis dependentes e independentes do processo de lixamento plano para criação de um modelo estatístico que descrevesse a resistência específica da lixa ($N.cm^{-2}$), remoção de material por tempo ($g.cm^{-3}.min^{-1}$) e a velocidade de alimentação ($mm.min^{-1}$). Os autores propuseram que as variáveis resistência específica da lixa, remoção de material e velocidade de alimentação são uma função da granulometria da lixa, pressão específica, ângulo de lixamento em relação às fibras, densidade e propriedades mecânicas da madeira. Com relação à remoção específica de material notaram uma forte influência da pressão, ou seja, quanto maior a pressão maior a remoção de material. Com relação à granulometria da lixa notou-se uma redução na remoção de material para granulometrias mais finas.

3.5.1 Grão abrasivo: óxido de alumínio (Al_2O_3)

O óxido de alumínio (Al_2O_3) foi descoberto por Ernst Moyta em 1984, e dentro dos abrasivos este material tem uma importância que se compara de forma análoga, ao que o aço representa para o metalurgista. A industrialização de Al_2O_3 se iniciou através da fundição de bauxita (minério com alto teor de alumina) (NUSSBAUM,1988).

Segundo Zacarias (2012), o Al_2O_3 é utilizado em lixas de folha, cinta e disco, sendo ele, o mais popular de todos os grãos abrasivos. Este material é comercializado em várias granulometrias, o qual possui como característica, um bom equilíbrio entre dureza, afiação, e resistência. Além disso, devido à sua forma em cunha, permite que o grão penetre em madeiras densas sem que ocorra a ruptura do mesmo.

Para Juan (1992) *apud* Moura e Hernández (2006) e Taylor *et al.* (1999) *apud* Moura e Hernández (2006) o óxido de alumínio é o mais adequado para o lixamento da madeira devido a sua durabilidade e ao acabamento proporcionado a peça. Os grãos deste material são pontudos (Figura 7) e mais eficientes quando se trata da remoção de materiais (KWH Mirka Ltda, 2013).

Figura 7: Grãos de óxido de Alumínio

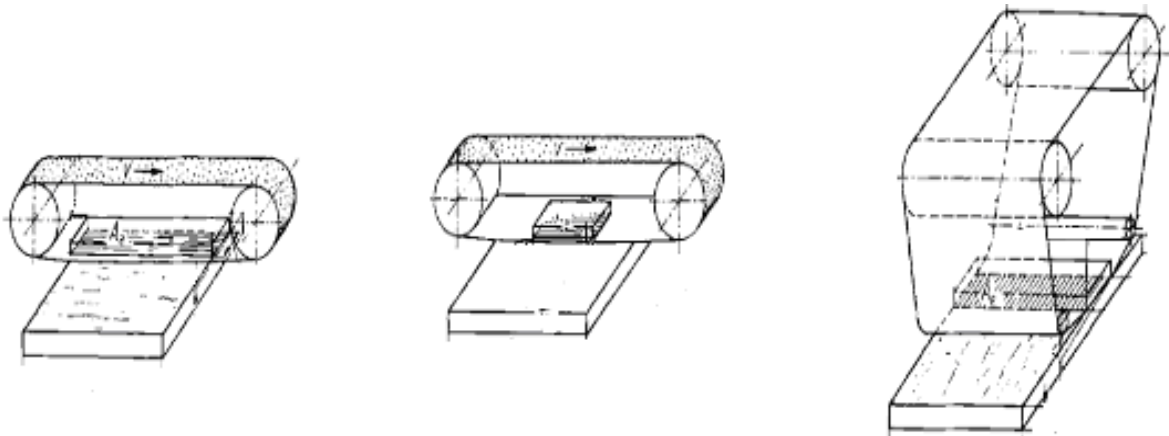


Fonte: KWH Mirka Ltda (2013)

3.5.2 Lixamento plano de madeiras

Quando o lixamento é feito em uma área de contato plana (Figura 8) entre a cinta da lixa e da peça de trabalho, a lixa, passa na área de envolvimento plana ou pelo membro de suporte da lixa. Elementos de apoio são usados nas chapas, de pressão, das vigas e nas sapatas com pressão. A pressão pode ser aplicada mecânica ou manualmente. A velocidade de corte para o processo de lixamento é uma variável operacional chave (PAHLITZSCH, 1970).

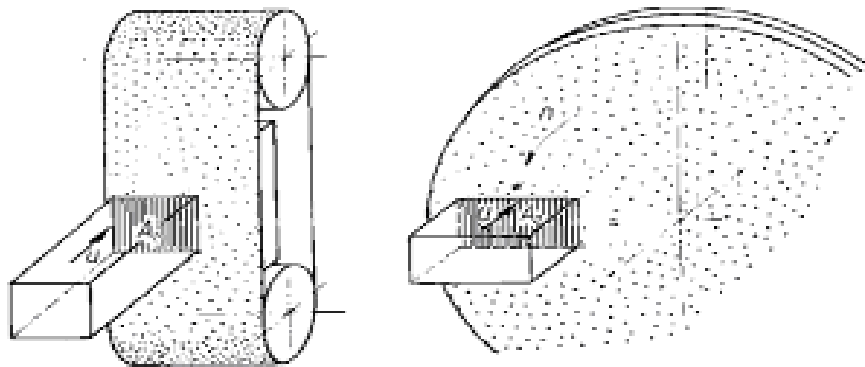
Figura 8: Lixamento com uma zona de contato plana



Fonte: Pahlitzsch (1970)

Para o caso de peças de lixamento menores, são usados como mostrados na Figura 9. Nessa, a alimentação da peça de trabalho é perpendicular ao plano da fita ou disco. Uma desvantagem da lixadeira de disco, é que a velocidade de corte do disco na parte central muda, com relação às da velocidade da borda (PAHLITZSCH, 1970).

Figura 9: Lixamento com uma zona de contato plana: rotação n .



Fonte: Pahlitzsch (1970)

3.6 Medição da rugosidade

A rugosidade é caracterizada pelas irregularidades existentes em uma superfície usinada. Estas irregularidades podem ser determinadas através das dimensões dos picos e vales, produzidos durante as operações de usinagem ou por propriedades estruturais anatômicas na

superfície do material. Os parâmetros Ra, Rz e Rmax são os mais usuais para definir a qualidade superficial. Esta qualidade é influenciada por diversos fatores que podem estar relacionados tanto com as condições de usinagem (velocidade de corte e ângulo de inclinação da ferramenta) como com as propriedades da madeira (teor de umidade, densidade, número e distribuição do diâmetro interno de traqueídes e vasos) (MAGOSS, 2008).

De acordo com o sistema superfície-textura proposto por Marian *et al.* (1958) apud Budakci (2007), a estrutura anatômica causa um primeiro grau de textura (diâmetro dos vasos e traqueídes e espessura as células). Um segundo grau é proporcionado devido ao processo de usinagem (marcas e dentes das serras e ondulações formadas por plainas). E um terceiro grau é devido aos resultados das variações no processo de usinagem (vibração, desalinhamento e ferramentas sem afiação adequada).

Há diversos instrumentos para medir a rugosidade de diferentes superfícies, tais como: o perfilômetro stylus, perfilômetro óptico, luz ultra-óptica e análise de imagens usando a câmera de vídeo. Estes equipamentos são desenvolvidos para medição de materiais como plástico e metal. Porém, não há um dispositivo específico para medição de superfícies de madeira, devido à complexidade deste material, já que o mesmo, não possui uma estrutura anatômica homogênea. Os métodos tradicionais para medição de qualidade superficial incluem abordagens visuais e táteis. Entretanto, apenas a comparação bruta é possível, fazendo com que informações específicas sobre a superfície não sejam quantificadas. (HENDARTO, 2006).

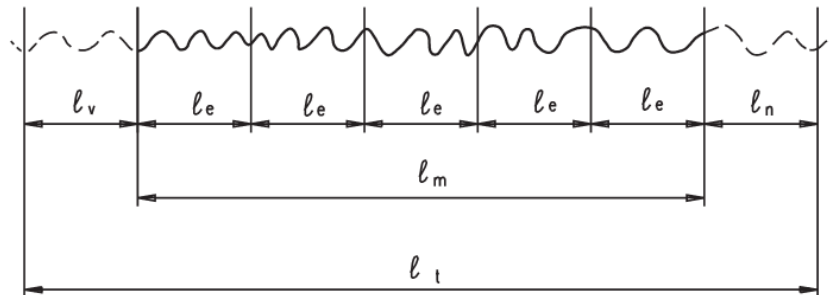
Varanda et al. (2010) estudou a influência da velocidade de corte perpendicular às fibras e às granulometrias das lixas na qualidade superficial de peças roliças de *Eucalyptus grandis* processadas através de lixamento tubular. Através dos resultados os autores concluíram que em todas as velocidades de lixamento analisadas, o conjunto de lixas 100-120 mesh resultou no menor valor de rugosidade média, ou seja, foi o conjunto de lixas que proporcionou o melhor acabamento superficial aos corpos de prova.

3.6.1 Medição da rugosidade pela da linha média

De acordo com a norma ABNT NBR 4287: (2008), o comprimento de amostragem na madeira (l_e) é o comprimento em direção ao eixo X e o comprimento de avaliação (l_m) é o comprimento em direção ao eixo X que pode conter um ou mais l_e . O l_e é utilizado para

identificar as irregularidades do perfil avaliado. É recomendado que o l_m seja de cinco vezes o comprimento de amostragem, como é mostrado na Figura 10.

Figura 10: Comprimentos de amostragem (l_e)



Fonte: ABNT NBR 6405 (1988)

- l_e : comprimento de amostragem (“*cut-off*”);
- l_m : comprimento de avaliação;
- l_t : comprimento total de medição;
- l_v : comprimento para atingir a velocidade de medição do apalpador;
- l_n : comprimento para parada do apalpador.

Os valores de l_v e l_n são descartados depois da medição, pois correspondem aos estágios de aceleração de desaceleração do rugosímetro.

O “*cut-off*” foi determinado de acordo com a norma ABNT NBR 6405 (1988), como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: Comprimento de amostragem (“*cut-off*”)

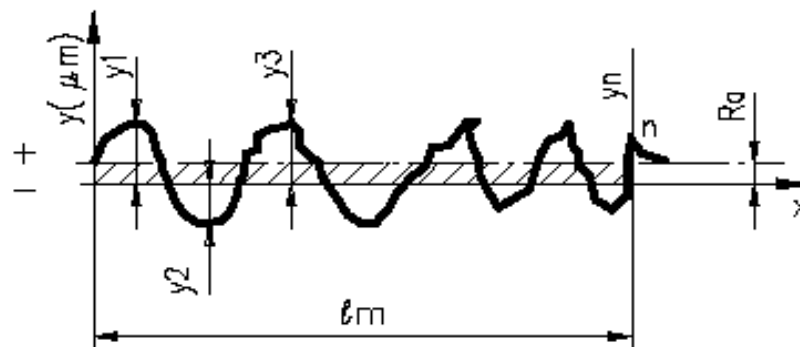
Rugosidade Média R_a (μm)	Mínimo Comprimento (l_e) “ <i>cut-off</i> ” (mm)
De 0 até 0,1	0,25
Maior que 0,1 até 2,0	0,8
Maior que 2,0 até 10,0	2,5
Maior que 10,0	8

Fonte: ABNT NBR 6405: (1988)

3.6.2 Rugosidade média (Ra)

A rugosidade média (Ra) é a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas no comprimento da amostragem (Figura 11). Este valor é o mais utilizado pela indústria entre os parâmetros de amplitude, sendo ele, disponível em instrumentos mais simples. No entanto, para identificação de algumas características da superfície ele não é suficiente (MACHADO *et al.*, 2009).

Figura 11: Parâmetro de Rugosidade Ra



Fonte: Carpinetti *et al.* (1996)

3.7 Medição da potência de usinagem

Potência de corte é o produto da velocidade de corte com a força de corte (FERRARESI, 1977). Para calcular a potência de corte, é necessário determinar a pressão específica de corte, a qual representa a resistência da madeira à usinagem. Quando esta potência torna-se conhecida, é possível otimizar o processo, pois, possibilita a utilização do material até seu máximo rendimento. Ela varia de acordo com a espécie, densidade, teor de umidade, direção de corte, entre outros (GONÇALVES, 2000).

Experimentalmente, a potência de usinagem pode ser mensurada durante um processo, através da tensão e da corrente elétrica consumida. A tensão pode ser obtida através do uso de volímetros e para a corrente pode-se utilizar amperímetros em série. No entanto, pode haver problemas de intrusão em máquina-ferramenta. Os dispositivos de Efeito Hall evitam este tipo de problema, colocados externamente aos cabos elétricos (MACHADO *et al.*, 2009).

Fotin *et al.* (2008) investigou o consumo de potência no processo de lixamento da madeira do gênero *Birch sp* para diferentes combinações de granulometrias, velocidades de alimentação, profundidade de corte e direções de lixamento. O tipo de abrasivo utilizado foi o óxido de alumínio. As análises do consumo de potência no processo de lixamento em todas as combinações mostraram que o consumo aumenta com o aumento da velocidade de alimentação e a da profundidade de corte respectivamente.

Segundo Varanda *et al.* (2010), quanto maior a velocidade de corte durante o lixamento maior o consumo de potência para diferentes granulometrias de lixa. Em seus estudos, os autores concluíram que as velocidades de lixamento 26 e 28,1 m.s⁻¹ consumiram uma maior potência para os três conjuntos de lixas analisadas. Já a velocidade de 22,7 m.s⁻¹ consumiu a menor potência em todas as diferentes situações.

3.8 Medição da emissão acústica

Segundo Reddy e Reddy (2010) a emissão acústica (EA) refere-se às ondas de tensão geradas por processos dinâmicos no material, onde, ondas transitórias elásticas são geradas pela rápida liberação de energia a partir de fontes localizadas dentro do material. O sinal de emissão acústica é composto por deformações plásticas e elásticas que ocorrem durante a formação do cavaco e outros fenômenos. Por causa disso, o sinal de EA não pode representar o perfil de rugosidade (Souto *et. al.*, 2004). Em controvérsia, Dunegan (1998) estudou a correlação da emissão acústica com o perfil de rugosidade de peças de alumínio durante a usinagem do material. Segundo o autor, a EA pode ser utilizada para a mensuração quantitativa da rugosidade das peças usando diferentes granulometrias de lixa em seu lixamento.

De acordo com Souto *et. al.*, (2004), a emissão acústica pode ser utilizada como parâmetro de monitoramento do processo de corte de materiais, já que durante a usinagem ocorrem deformações e cisalhamento de partes internas.

A emissão acústica ocorre com a liberação de uma série de curtos impulsos de energia. A energia assim liberada se propaga como uma onda esférica e pode ser captada a partir da superfície de um material através de um transdutor de alta sensibilidade (REDDY e REDDY 2010).

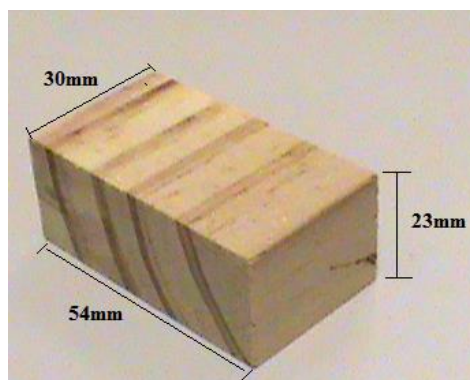
A avaliação da emissão acústica nos processos de usinagem tem sido muito estudada nos últimos anos, apresentando bons resultados tanto em pesquisas quanto na produção industrial, onde é extremamente importante conhecer os parâmetros de usinagem e suas influências sobre a peça usinada e a máquina ferramenta, como por exemplo, o desgaste da ferramenta (OLIVEIRA *et al.*, 1995).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Preparação das amostras

Os corpos de prova confeccionados foram das espécies de madeira de reflorestamento do tipo *Corymbia citriodora* ($\rho_{12\%} = 959,07 \text{ kg.m}^{-3}$, $\rho_{\text{bas}} = 731,67 \text{ kg.m}^{-3}$) e *Pinus elliottii* ($\rho_{12\%} = 554,47 \text{ kg.m}^{-3}$, $\rho_{\text{bas}} = 449,17 \text{ kg.m}^{-3}$). O *Corymbia citriodora* foi adquirido em uma serraria no município de Bauru - SP. A madeira de *Pinus elliottii* utilizada para amostragem teve origem na região Sudeste do Estado São Paulo. Todas as madeiras estavam no formato de pranchas antes de serem transformadas em unidades amostrais, com dimensões de 54 mm de comprimento, 30 mm de largura e 23 mm de espessura, como mostrado na Figura 12. Os corpos de prova foram produzidos no Laboratório de Processamento da Madeira no Campus Experimental da UNESP de Itapeva. As dimensões dos corpos de prova foram idênticas para as duas espécies, de maneira a não influenciar no processo de lixamento. As peças de *Corymbia citriodora* eram de árvores de grande porte, com diâmetro mínimo de 50 cm e idade em torno de 35 anos.

Figura 12: Dimensões dos corpos de prova conforme [ABNT NBR ...](#)



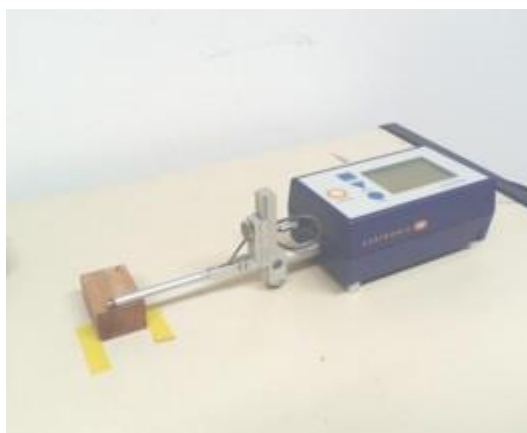
Fonte: Autoria própria

O lixamento foi realizado no Laboratório de Usinagem e Automação (LUA) em uma lixadeira horizontal plana equipada com sistema automático de posicionamento das amostras acionado pneumaticamente. As madeiras com diferentes densidades (*Pinus elliottii* e *Corymbia citriodora*) foram lixadas no sentido paralelo às fibras. Foi usado um material abrasivo (óxido de alumínio), duas granulometrias de lixas (P80 e P120), velocidade de corte de 11 m/s e pressão de lixamento de 1 kgf/cm^2 .

4.2 Termorreificação e lixamento das amostras

Antes de ser feita a termorreificação das madeiras, 36 amostras de cada espécie foram acondicionadas em estufa climatizadora modelo – 4001, marca Tecnal para que estabilizassem seus teores de umidade à 12%. Feito isso, elas foram levadas à estufa para que sofressem o processo de termorreificação. Foram aquecidos 12 corpos de prova de cada espécie, para cada temperatura (120, 160 e 200° C) por um período de 2 horas. Com as amostras termorreificadas, foram realizados os ensaios de lixamento nas peças. Os corpos de prova foram lixados paralelamente às fibras em lixadeira plana marca Baldan modelo LFH-2, utilizando sistema automático de lixamento para as duas granulometrias de lixa. Foram lixadas também 12 amostras controle na 12% de umidade e temperatura ambiente para cada espécie. Após o lixamento das amostras, as superfícies das peças foram avaliadas 6 vezes através da medida do parâmetro rugosidade Ra, no sentido perpendicular às fibras, com um rugosímetro marca Taylor Hobson 25+, (Figura 13).

Figura 13: Rugosímetro



Fonte: Autoria própria

Os efeitos da termorreificação da madeira foram avaliados através dos parâmetros: rugosidade média (Ra) [μm], potência consumida no processo [w], emissão acústica [v], planicidade das peças e aquecimento máximo das amostras no momento do lixamento.

4.3 Aparato de ensaios

O banco de ensaio é composto por uma lixadeira plana (Figura 14), com um suporte adaptado para fixação do corpo de prova e adição de massas para pressão, exaustor para captação do pó, sistema de monitoramento e aquisição de dados (composto por um painel de controle, sensores, transdutores, microcomputadores, placas, conectores, cabos e software para aquisição e manipulação de dados).

Figura 14: Lixadeira plana



Fonte: Autoria própria

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

4.4 Variáveis dos ensaios e parâmetros de medição

Foram realizados ensaios preliminares de modo a serem verificadas as condições de usinagem que o experimento seria submetido. Nesses ensaios foram definidos os fatores de entrada e seus níveis. Na Tabela 2 são descritos as variáveis de entrada e os parâmetros de saída envolvidos no processo de termorretificação e lixamento.

Tabela 2- Variáveis de entrada e parâmetros de medição

Variáveis de entrada				
Espécies de madeira		Granulometria de lixa		Temperatura (°C)
<i>Corymbia citriodora</i>		P80		Controle
<i>Pinus elliottii</i>		P120		120
				160
				200
Parâmetros de saída				
Rugosidade média	Potência consumida	Emissão acústica	Planicidade das peças	Temperatura máxima

Fonte: Autoria própria

4.5 Descrição dos parâmetros de medição

4.5.1 Medição da rugosidade média (Ra)

O parâmetro de rugosidade utilizado, valor médio “Ra” é o que melhor se ajusta aos estudos de acabamento superficial de madeiras devido à anatomia do material, conforme se constatou na revisão da literatura. O comprimento de amostragem adotado foi de 2,5 mm (cut-off), valor sugerido pela ABNT NBR 6405: 1988. O percurso de medição (lm) para cut-off 2,5 mm é de 12,5 mm, resultando na média de 5 valores adquiridos por cada medição. O range adotado no rugosímetro foi de 300 µm e o filtro considerado foi o Gaussiano Robusto.

Para a medição da rugosidade utilizou-se um rugosímetro da marca TAYLOR HOBSON, modelo Surtronic 25+, de haste de medição com ponta apalpadora cone-esférico de diamante e raio de ponta de 2 μm (Figura 15).

Figura 15: Rugosímetro da marca TAYLOR HOBSON, modelo Surtronic 25+



Fonte: Autoria própria

4.5.2 Aquisição da potência de lixamento

Para a aquisição da potência consumida no motor durante o lixamento foi usado um transdutor de corrente alternada, marca WARD modelo TRX-I/U (Figura 16). As características técnicas do transdutor de corrente alternada são apresentadas na Tabela 3.

Figura 16: Transdutor de corrente modelo TRX-I/U



Fonte: Autoria própria

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

Características técnicas do transdutor de corrente	
Dimensões	45 x 75 x 110 mm
Tensão de alimentação	24 VCC
Corrente de saída	4 - 20 mA
Tensão de saída	0 - 10 VCC
Frequência normal	50 - 60 Hz
Tempo de resposta	250 mS
Faixa de temperatura nominal	-5 até +55°C

O transdutor em função da corrente elétrica alternada de uma das fases do motor gera uma saída proporcional de 0 a 10 volts corrente contínua [VCC], que é armazenada pelo microcomputador. Através da Equação 1, o sinal adquirido em VCC à uma taxa de 400 pontos por segundo foi transformado na unidade de potência watts (w).

$$P_c = I \times U_f \times F_p \times \sqrt{3} \quad (1)$$

P_c = potência consumida, em watts;

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

U_f = tensão de uma das fases, em volts;

F_p = fator de potência.

Como o sinal adquirido pelo sistema tem uma saída proporcional em volts é necessário converter o valor de volts para ampéres. O fabricante do transdutor de corrente alternada fornece essa equação para a transformação do dado adquirido em volts para ampéres de acordo com a Equação 2.

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

I = corrente de uma das fases em ampéres;

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

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

$$P_C = \frac{U_{cc} * 0,92 * 220 * \sqrt{3}}{2} \quad (3)$$

4.5.3 Aquisição da emissão acústica

Para a aquisição da emissão acústica foi usado um módulo de emissão acústica composto por um sensor piezoelétrico e um amplificador de sinal elétrico com saída retificada em RMS (*Root Mean Square*), marca PHYSICAL ACOUSTICS CORPORATION, modelo do sensor: R15A, modelo do amplificador de sinal: 1272-1000 (Figura 17).

Figura 17: Módulo de emissão acústica (1), sensor (2) e amplificador (3)



Fonte: Autoria própria

O sinal elétrico retificado corresponde à unidade VCC e é amplamente empregado nessa grandeza para expressar a emissão acústica, não havendo transformações para outras unidades. As características técnicas do módulo de emissão acústica estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4: Características técnicas do amplificador

Características técnicas do amplificador	
Dimensões do amplificador	190,5 x 63,5 x 35 mm
Tensão de alimentação	28 VCC
Corrente de saída	4 - 20 mA
Faixa de constante disponível RMS	50 - 500 mS
Faixa de constante selecionada RMS	50 mS
Faixa de ganho disponível	0 - 40 dB
Faixa de ganho selecionada	40 dB
Massa do amplificador	350 g
Material do invólucro do sensor	Aço inox
Grau de proteção	IP 54
Frequência do sensor R15A	150 kHz
Faixa de temperatura nominal	0 até +50 °C

4.5.1 Planicidade das peças

A planicidade das peças de madeira foi mensurada com o uso de um relógio comparador. Foi deslizada a ponta de contato do relógio comparador na superfície de cada peça após o seu lixamento, e anotado o número de voltas correspondente em milímetros. Para cada amostra foram feitas 6 repetições e, por fim tratados os dados no final da análise.

4.5.1 Análise do aquecimento das peças durante o lixamento

Para fazer a captação da temperatura da peça na região de contato foi utilizada uma câmera térmica por infravermelho. Dessa forma foi possível a obtenção da temperatura na região de contato do lixamento, proporcionando estudar o comportamento do aquecimento ao longo dos ensaios.

A captação da temperatura foi realizada através de uma câmera infravermelha da marca FLIR SYSTEMS®, modelo FLIR i5 (Figura 18) e as medições coletadas foram registradas pelo Software do equipamento. A câmera foi posicionada a 90° em relação à lixa e a amostra de madeira, a uma distância de aproximadamente 1 metro.

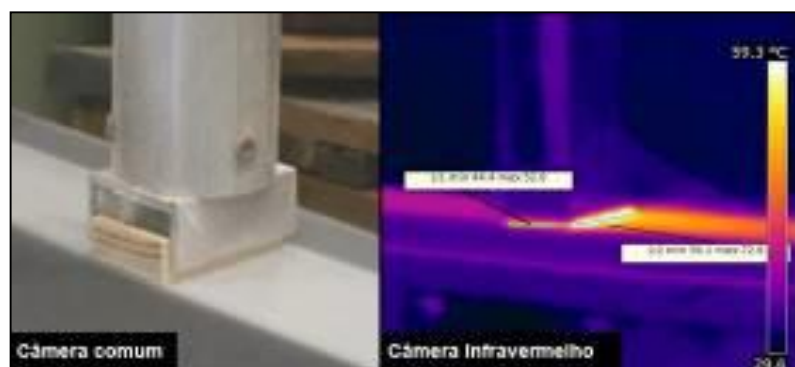
Figura 18: Câmera infravermelha utilizada na medição da temperatura



Fonte: Flir (2012)

A Figura 19 ilustra uma imagem produzida por uma câmera comum e uma outra produzida pela câmera térmica por infravermelho.

Figura 19: Imagens geradas por câmera comum e pela Câmera infravermelha FLIR SYSTEMS, modelo FLIR i5

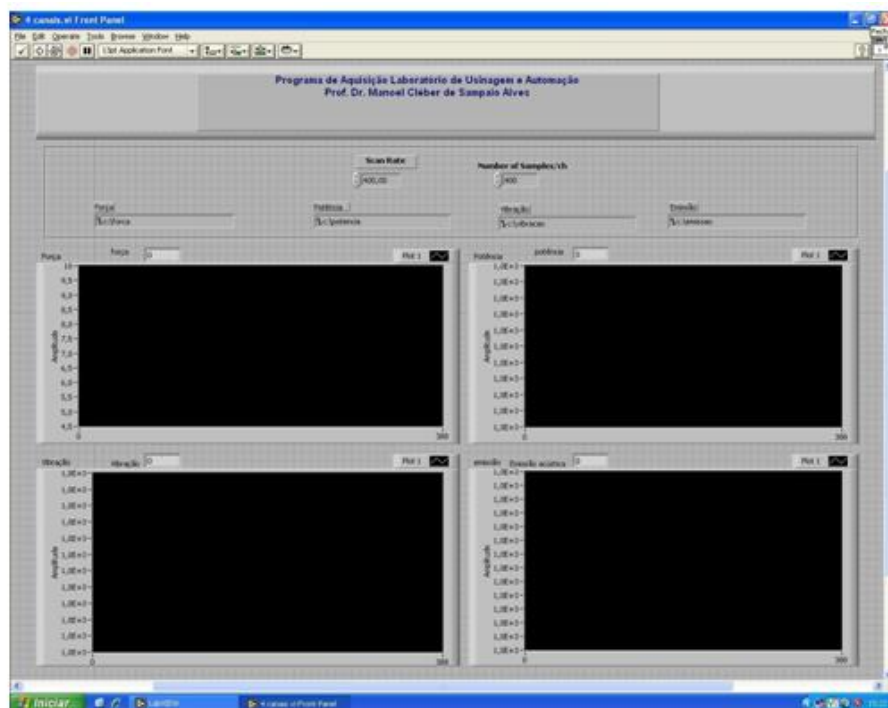


Fonte - Autoria própria

4.5.1 Programa de aquisição de dados

O programa de aquisição de dados utilizado teve a função de adquirir em tempo real os valores de potência de corte e emissão acústica. Para isso, utilizou-se a placa de aquisição de dados, marca National Instruments, modelo NI PCI 6220. A placa de aquisição de dados teve a função de receber os sinais analógicos dos sensores e transformá-los em sinais digitais para serem compilados pelo software no microcomputador. O software utilizado para captação dos dados adquiridos pelos sensores foi feito no programa LabView® 7.1 da National Instruments, onde foi elaborado um programa para adquirir os dados com uma taxa de aquisição de 400 pontos por segundo. A tela do programa de aquisição feito no software LabView® 7.1 pode ser observada na Figura 20.

Figura 20: Ilustração da tela do programa de aquisição feito no software LabView® 7.



Fonte - Autoria própria

Devido ao grande número de dados que foram adquiridos em ensaios de aquisições de dados, foram necessários tratamentos nestes arquivos de forma a filtrá-los, tornando-os

capazes de serem analisados. Foram confeccionados programas em Matlab 6.5 para filtragem dos sinais.

4.5.1 Imagens microscópicas

Foram obtidas imagens microscópicas das amostras termorretrificadas e lixadas com o auxílio de um microscópio USB Digital da marca Amscope, com aproximação 10-200X.

4.5.2 Delineamento experimental e tratamento estatístico dos dados

O delineamento experimental utilizado foi um delineamento fatorial 2X4 cruzado completo, com fator 1 sendo o tipo de lixa com 2 níveis (P80 e P120), e fator 2 a temperatura de termorretrificação com 4 níveis (Controle, 120, 160 e 200°C). Os dados foram tratados com análise de variância ANOVA (Proc Glimmix, SAS v9.2, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.). Testes de comparação múltipla de Tukey entre as granulometrias de lixas e temperaturas de termorretrificação foram feitas utilizando-se Tukey HSD.

O modelo estatístico adotado foi um modelo fatorial, como mostrado a seguir:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Onde:

y_{ijk} é o efeito do i -ésimo nível do fator Lixa, j -ésimo nível do fator Temperatura e k -ésima repetição;

μ é uma constante (média geral);

α_i é o efeito do i -ésimo nível do fator Lixa;

β_j é o efeito do j -ésimo nível do fator Temperatura;

$(\alpha\beta)_{ij}$ é o efeito da interação entre α_i e β_j e ε_{ijk} é o componente do erro aleatório.

(Fator Lixa), $i = 1,2$; (Fator Temperatura), $j = 1, 2, 3, 4, 5$; (unidades experimentais), $k = 1,2,3,4,5,6$.

Restrições: $\alpha_1 = \beta_1 = (\alpha\beta)_{1j} = (\alpha\beta)_{i1} = 0, \forall i, j$.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o intuito de facilitar a compreensão dos resultados, inicialmente estão apresentados os resultados obtidos com os ensaios de lixamento para os parâmetros rugosidade média, emissão acústica, potência, planicidade e temperatura máxima durante o processo. A discussão geral para cada parâmetro estudado é apresentada a seguir.

5.1 Rugosidade média (Ra)

5.1.1 *Corymbia citriodora*

Os dados utilizados para a verificação de cada uma das hipóteses a respeito da qualidade superficial do produto lixado foram os valores de rugosidade, coletados após o processo de lixamento das peças. Para se averiguar se as diferenças entre as rugosidades entre os fatores lixa e temperatura envolvidos foram significativas, utilizou-se a análise de variância ANOVA. Esta análise permite verificar se a diferença entre as médias das rugosidades associadas a cada variável é significativa. Testes de comparação múltipla de Tukey foram realizadas entre as lixas e temperaturas, a fim de se saber quais níveis apresentaram diferença significativa dos demais.

São apresentadas na Tabela 5 as médias gerais e marginais, bem como desvios e erros padrões da rugosidade nas diferentes condições de temperatura e granulometrias de lixa. Nela estão contidos também, os resultados da análise de variância para a rugosidade das amostras de *Corymbia citriodora*, em função das variáveis lixa e temperatura de termorreificação.

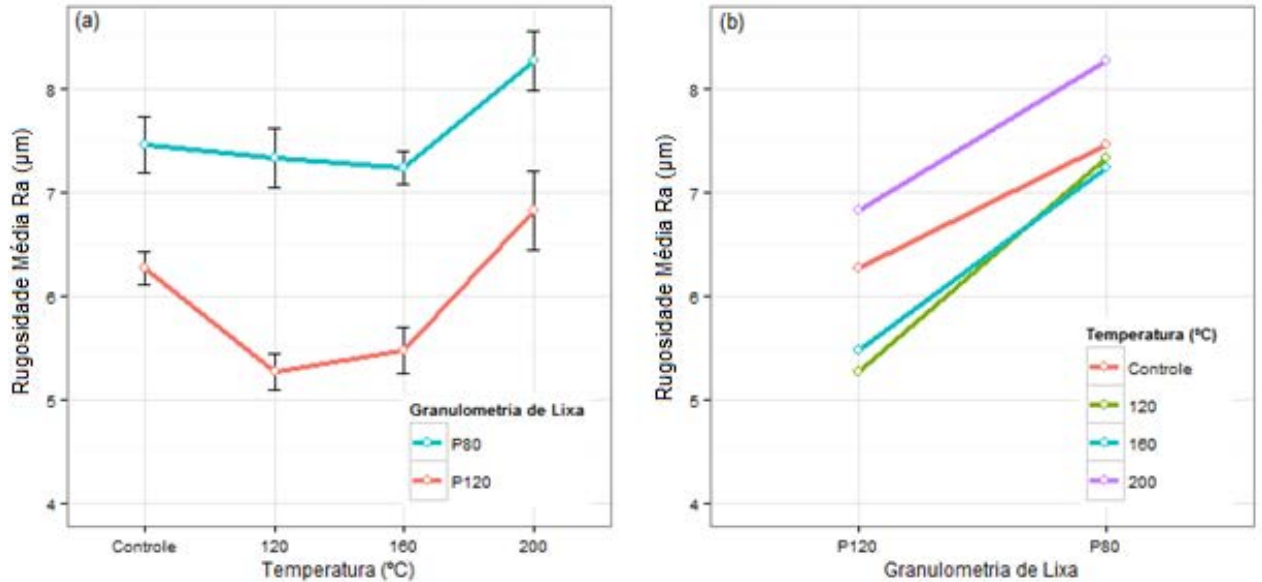
Tabela 5: Valores de médias e desvios padrões para rugosidade nas diferentes condições de lixamento do *Corymbia citriodora*.

Fator		Número de Amostras	Rugosidade	Desvio Padrão	Erro Padrão	Coeficiente de Lixa
Lixa	Temperatura (°C)		Média (μm)	(σ ²)	(σ _n)	
P80	Controle	6	7,45	0,659	0,269	8,8
	120	6	7,33	0,698	0,285	9,5
	160	6	7,23	0,383	0,156	5,3
	200	6	8,27	0,712	0,291	8,6
P120	Controle	6	6,27	0,403	0,165	6,4
	120	6	5,27	0,446	0,182	8,5
	160	6	5,47	0,546	0,223	10,0
	200	5	6,82	0,850	0,380	12,5
Média marginal de rugosidade (μm) de cada nível dos fatores						
P80	P120	Controle	120°C	160°C	200°C	
7,57	5,96	6,86	6,30	6,35	7,54	
ANOVA		GL	SQ	QM	F valor	Pr (>F)
FV						
Lixa		1	32,11	32,11	87,68	7,69e-12 *
Temperatura		3	11,26	3,75	10,25	3,44e-05 *
Lixa*Temp		3	12,91	2,72	2,144	0,316
Resíduos		40	15,38	0,37		
Total		47	71,66			

FV: Fonte de variação, GL: graus de liberdade, SQ: soma dos quadrados, QM: quadrado médio. F- e P-valores são expressos com níveis de significância *, P<0,05. Intervalos de confiança utilizados de 95%.

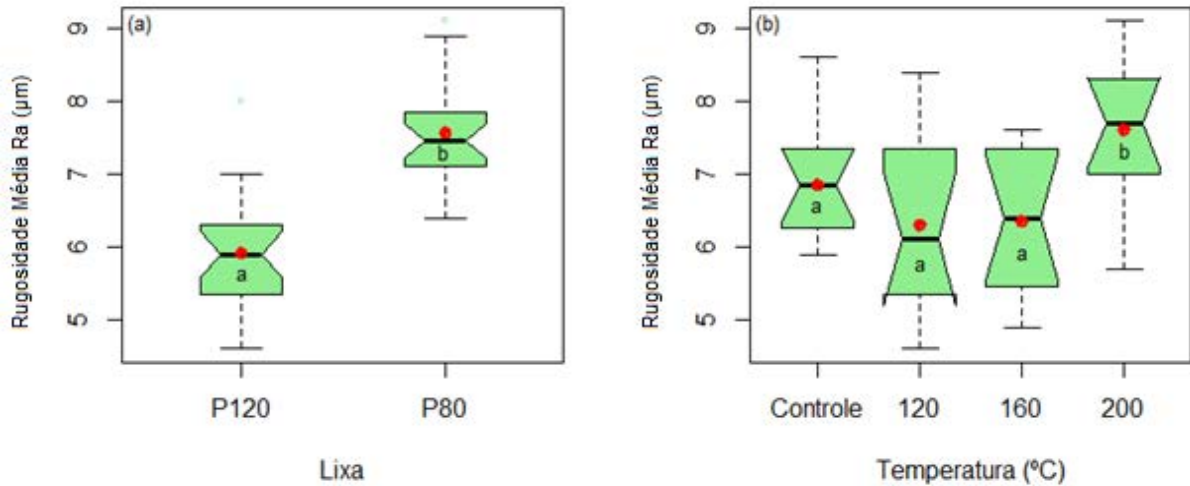
Não houve interação entre os fatores lixa e temperatura para a espécie *Corymbia citriodora* (p-valor = 0,316) com nível de significância de 5%. Por causa disso, foram analisados os efeitos principais dos fatores lixa e temperatura. A Figura 21 apresenta a relação entre os fatores, tanto para a granulometria de lixa, quanto para as temperaturas de termorreificação.

Figura 21: Gráficos de interação entre granulometria de lixa e temperatura de termorretificação para a espécie *Corymbia citriodora*. (a) Rugosidade em função das temperaturas de termorretificação; (b) Rugosidade em função das granulometrias de lixa.



Observando-se os efeitos principais, foram encontradas diferenças significativas entre as lixas utilizadas ($p\text{-valor} = 7,69\text{e-}12$) e entre as temperaturas de termorretificação ($p\text{-valor} = 3,44\text{e-}05$). A Figura 22 apresenta gráficos do tipo Boxplot e Wiskers para o conjunto de lixas e temperaturas, o qual representa claramente a distribuição dos dados, assim como as diferenças significativas entre eles. Este tipo de gráfico contém cinco linhas importantes: a linha mais abaixo representa o valor mínimo dos dados; a segunda linha representa o primeiro quartil (Q1), que é o valor que deixa 25% das observações abaixo dele; a terceira linha representa o segundo quartil (Q2) ou também chamado de mediana, o qual deixa 50% das observações abaixo dele; a quarta linha é o terceiro quartil (Q3), que deixa 75% das observações abaixo dele; e por fim, a quinta linha é o valor máximo dos dados observados. A média para cada nível desses fatores é representada pelos pontos vermelhos.

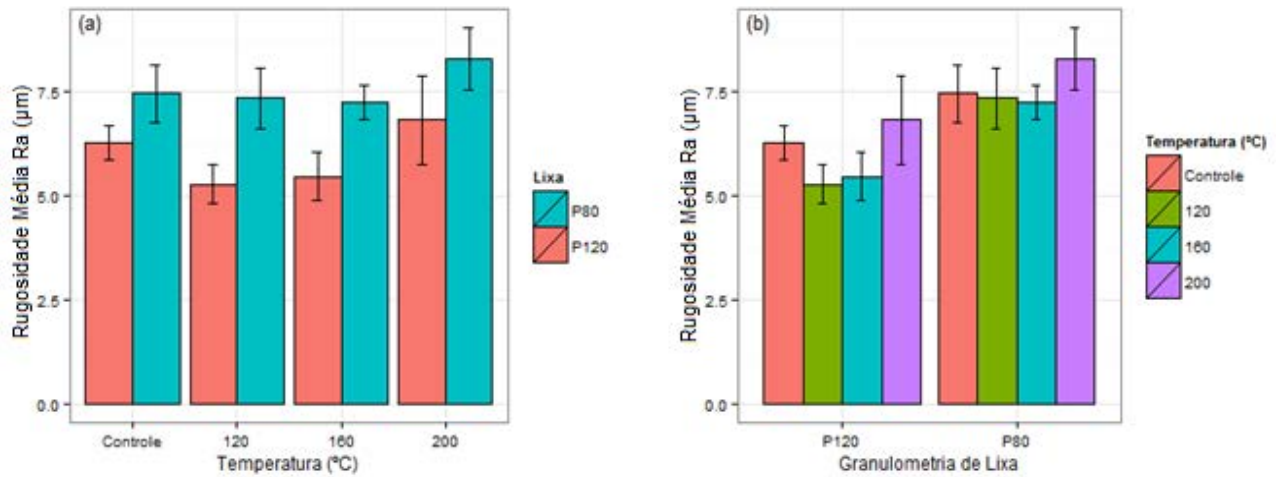
Figura 22: Distribuição da rugosidade média das amostras de *Corymbia citriodora*, lixadas com diferentes lixas e diferentes temperaturas de termorretificação. (a) Rugosidade média devida às diferentes granulometrias de lixa; (b) Rugosidade média para as diferentes temperaturas. Diferentes letras representam diferença significativa (P -valor $<0,05$) entre grupos.



Não foi encontrado diferença significativa entre as temperaturas 120 e 160°C comparadas com as amostras controle. Entretanto, esses três níveis de temperatura foram significativamente menores para o parâmetro rugosidade comparados com a temperatura de 200°C. A lixa P80 e temperatura de 200°C apresentaram maiores valores de rugosidade para esta espécie, diferindo-se significativamente dos demais.

A Figura 23 apresenta gráficos de barras com as diferentes granulometrias de lixa, e também amostras controle e termorretificadas. Acima de cada barra está contido o desvio padrão para cada combinação de lixa e temperatura com intervalos de confiança de 95%. Pode ser observado novamente a diferença entre as lixas utilizadas no lixamento e o efeito da termorretificação na madeira de *Corymbia citriodora*.

Figura 23: Gráficos de barras com desvios padrões para as granulometrias de lixa e temperaturas de termorreificação para a espécie *Corymbia citriodora*. (a) Rugosidade em função das temperaturas de termorreificação; (b) Rugosidade em função das granulometrias de lixa.



5.1.2 *Pinus elliottii*

São apresentadas na Tabela 6 apresenta as médias gerais e marginais, bem como desvios e erros padrões da rugosidade nas temperaturas de termorreificação e granulometrias de lixa. Nela estão contidos também os resultados da análise de variância para a rugosidade das amostras de *Pinus elliottii*, em função das variáveis lixa e temperatura.

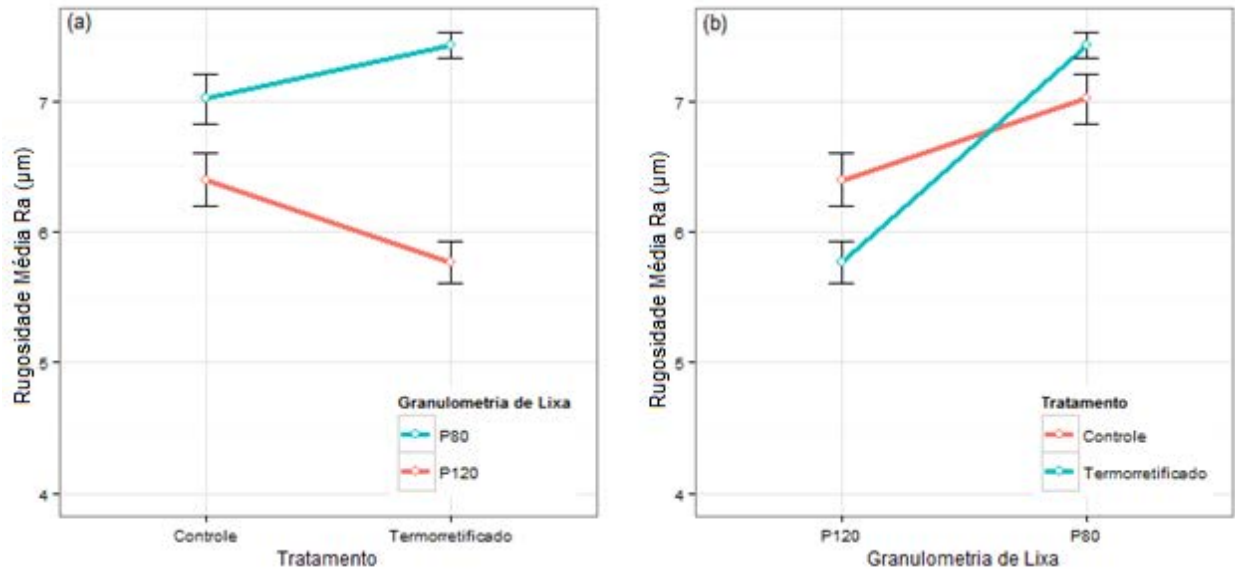
Tabela 6: Valores de médias e desvios padrões para rugosidade nas diferentes condições de lixamento do *Pinus elliottii*.

Fator		Número de Amostras	Rugosidade Média (μm)	Desvio Padrão (σ^2)	Erro Padrão (σ_n)	Coeficiente de Variação (%)
Lixa	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)					
P80	Controle	6	7,02	0,462	0,189	6,6
	120	6	7,60	0,335	0,137	4,4
	160	6	7,37	0,367	0,150	5,0
	200	6	7,32	0,567	0,231	7,7
P120	Controle	6	6,40	0,506	0,206	7,9
	120	6	5,65	1,013	0,414	17,9
	160	6	5,73	0,197	0,080	3,4
	200	6	5,92	0,605	0,247	10,2
Média marginal de rugosidade (μm) de cada nível dos fatores						
P80	P120	Controle	120 $^{\circ}\text{C}$	160 $^{\circ}\text{C}$	200 $^{\circ}\text{C}$	
7,33	5,92	6,71	6,62	6,55	6,62	
ANOVA		GL	SQ	QM	F valor	Pr (>F)
FV						
Lixa		1	23,520	23,520	76,199	8,35e-11 *
Temperatura		3	0,152	0,051	0,164	0,9201
Lixa*Temp		3	2,912	0,971	3,144	0,0355 *
Resíduos		40	12,347	0,309		
Total		47	38,931			

FV: Fonte de variação, GL: graus de liberdade, SQ: soma dos quadrados, QM: quadrado médio. F- e P-valores são expressos com níveis de significância *, $P < 0,05$. Intervalos de confiança utilizados de 95%.

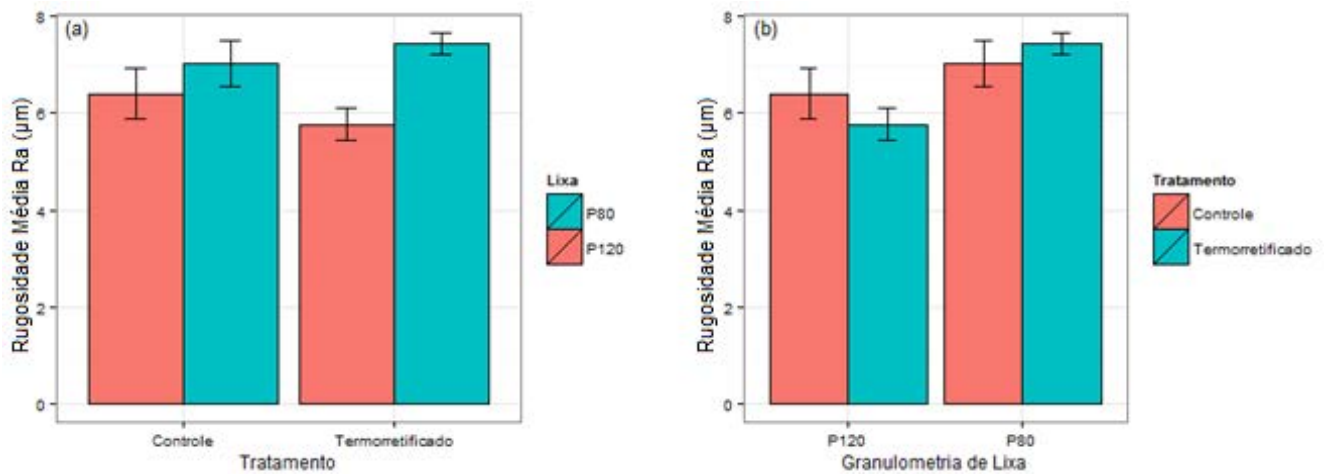
De acordo com os resultados da Tabela 6, observa-se que houve interação significativa entre os fatores lixa e temperatura para a espécie *Pinus elliottii* (p -valor = 0,0355) com nível de significância de 5%. Desta forma, foram analisados os efeitos individuais de cada nível dos fatores mostrados nas Figuras 24 e 25.

Figura 24: Gráficos de interação entre granulometria de lixa e temperatura de termorreificação para a espécie *Pinus elliottii*. (a) Rugosidade em função temperatura de termorreificação aplicada às amostras; (b) Rugosidade em função das granulometrias de lixa.



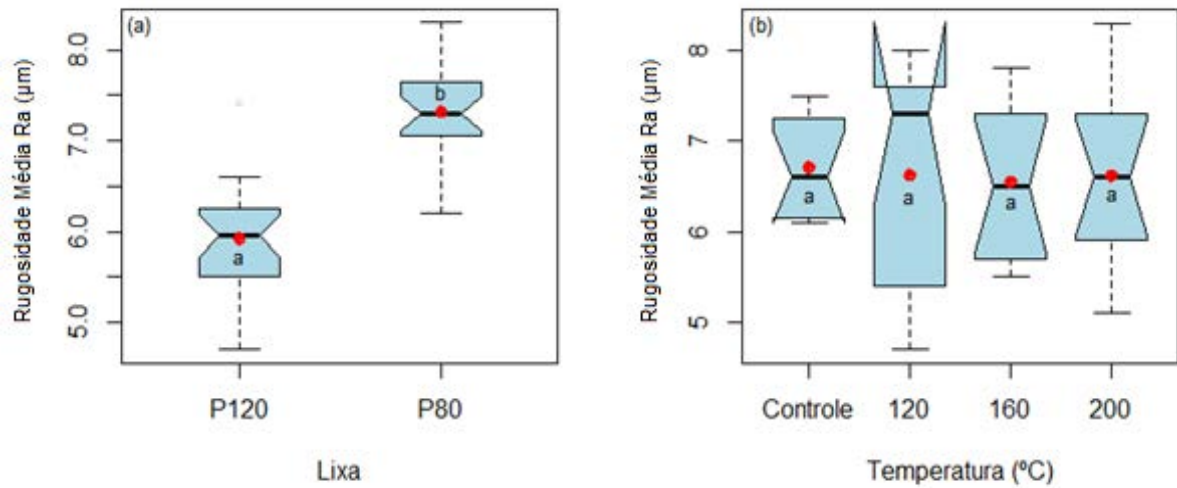
Na Figura 24a, observa-se que para a granulometria de lixa P120 as temperaturas de termorreificação provocaram uma diminuição na rugosidade das peças, comparadas com as amostras controle; o oposto aconteceu para a lixa P80, a qual teve menores valores de rugosidade nas peças que não foram termorreificadas. A interação entre os fatores lixa e temperatura, na Figura 24b, mostra que a melhor combinação seria entre a granulometria de lixa P120 e madeiras termorreificadas, na qual foram obtidos os menores valores de rugosidade média. Esse resultado pode ser justificado com o trabalho dos autores Salca e Hiziroglu (2014), os quais estudaram a influência do tratamento térmico na dureza e na rugosidade da espécie de madeira *Pinus taeda*. Os tratamentos foram realizados nas temperaturas de 120°C e 190°C, e nos tempos de exposição de 3h e 6h. Os autores chegaram à conclusão de que o tratamento térmico melhorou a qualidade da superfície da madeira, entretanto diminuiu a sua dureza. No caso do *Pinus elliottii*, a termorreificação provocou a diminuição da dureza da madeira, e com isso a granulometria de lixa P80 arrancou mais material, proporcionando maiores rugosidades. Porém, quando o abrasivo utilizado foi o de acabamento (P120) e não o de desbaste (P80), o lixamento apresentou melhor qualidade superficial nas peças.

Figura 25: Gráficos de barras com desvios padrões para as granulometrias de lixa e temperaturas de termorretificação para a espécie *Pinus elliottii*. (a) Rugosidade em função da temperatura dada às amostras; (b) Rugosidade em função das granulometrias de lixa.



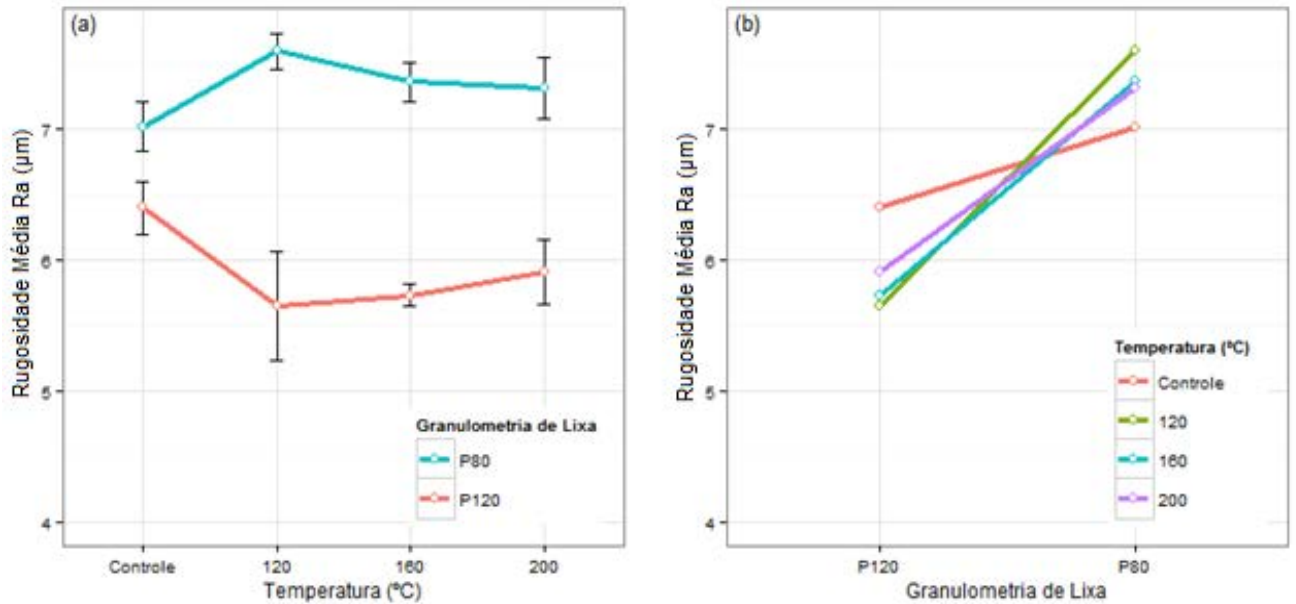
Houve diferença significativa entre as lixas utilizadas ($p\text{-valor} = 8,35e-11$), porém não diferiram-se as temperaturas de termorretificação ($p\text{-valor} = 0,9201$) com nível de significância de 5%. Muito importante ressaltar que a interação entre esses fatores ($p\text{-valor} = 0,0355$) foi significativa. A Figura 26 apresenta gráficos do tipo Boxplot e Wiskers para o conjunto de lixas e temperaturas, bem como as diferenças entre grupos representadas por diferentes letras.

Figura 26: Distribuição da rugosidade média das amostras de *Pinus elliottii*, lixadas com diferentes lixas e diferentes tratamentos térmicos. (a) Rugosidade média devida às diferentes granulometrias de lixa; (b) Rugosidade média para os diferentes tratamentos térmicos e temperatura controle. Diferentes letras representam diferença significativa (P -valor $<0,05$) entre grupos.



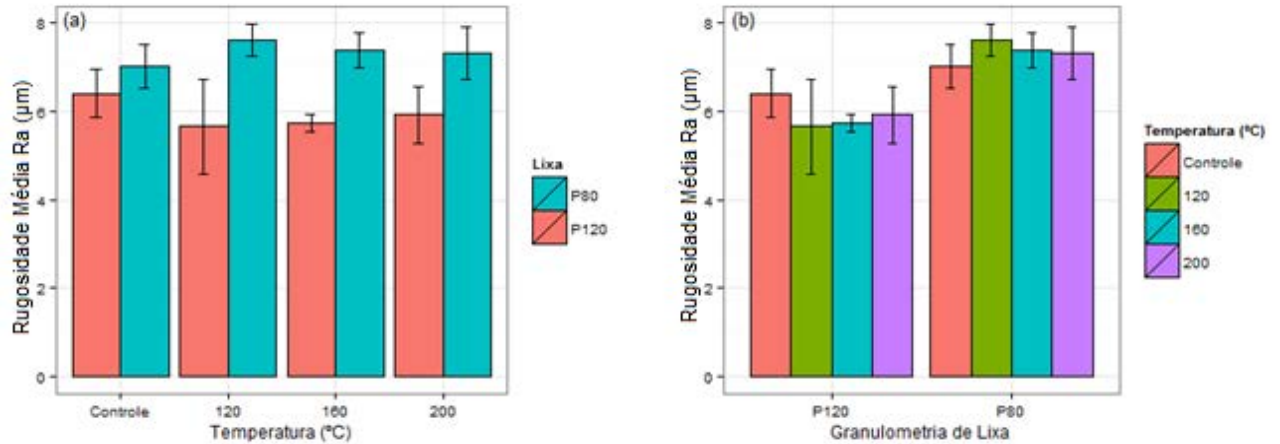
Com o intuito de se identificar qual a real efeito da termorretificação na madeira entre os diferentes níveis de temperatura abordados, foram plotados os seguintes gráficos de interação apresentados na Figura 27.

Figura 27: Gráficos de interação entre granulometria de lixa e temperatura de termorreificação para a espécie *Pinus elliottii*. (a) Rugosidade em função das temperaturas de termorreificação; (b) Rugosidade em função das granulometrias de lixa.



A Figura 30b mostra que conforme aumentou-se a temperatura de termorreificação para a lixa P80 a rugosidade da madeira diminuiu, o que resulta no melhoramento da rugosidade das peças. Entretanto, para a outra lixa, com o aumento de temperatura houve uma piora na qualidade superficial das amostras. A Figura 28 apresenta gráficos de barras com os desvios padrões para cada nível de lixa e temperatura.

Figura 28: Gráficos de barras com desvios padrões para as granulometrias de lixa e temperaturas de termorreificação para a espécie *Pinus elliottii*. (a) Rugosidade em função das temperaturas de termorreificação; (b) Rugosidade em função das granulometrias de lixa.



As Figuras 28a e 28b apresentam as diferenças encontradas entre as granulometrias de lixa e também o efeito da termorreificação da madeira no processo de lixamento. As amostras termorreificadas às temperaturas mais elevadas como 160 e 200° C e lixadas com lixa P80 tiveram melhoria nas suas superfícies; todavia, o inverso ocorreu para a lixa P120 nas mesmas temperaturas, as quais proporcionaram aumentos de rugosidade às peças.

Analisando-se os resultados de rugosidade média, foi observado que os tratamentos térmicos foram benéficos às superfícies das peças de madeira para a espécie de *Pinus elliottii*, mas sem melhorias significativas para o *Corymbia citriodora*. No Pinus houve interação entre as lixas e as temperaturas de termorreificação, o que mostrou que para o conjunto de lixas P120 as peças tratadas termicamente tiveram uma redução significativa nos valores de rugosidade média. Para o *Corymbia*, não foi encontrado mudanças relevantes na qualidade superficial da madeira com termorreificação em temperaturas abaixo de 160° C. A rugosidade foi piorada significativamente com a temperatura de 200° C.

Para o Pinus, não houve diferença significativa entre as temperaturas utilizadas nos tratamentos, o que infere que não seja necessário gastar tanta energia no processo sendo que, o efeito da temperatura mais alta foi o mesmo da menor.

5.2 Emissão acústica

5.2.1 *Corymbia citriodora*

São apresentadas na Tabela 7 as médias gerais e marginais, bem como desvios e erros padrões da emissão acústica nas diferentes temperaturas de termorretificação e granulometrias de lixa. Nela estão contidos também os resultados da análise de variância.

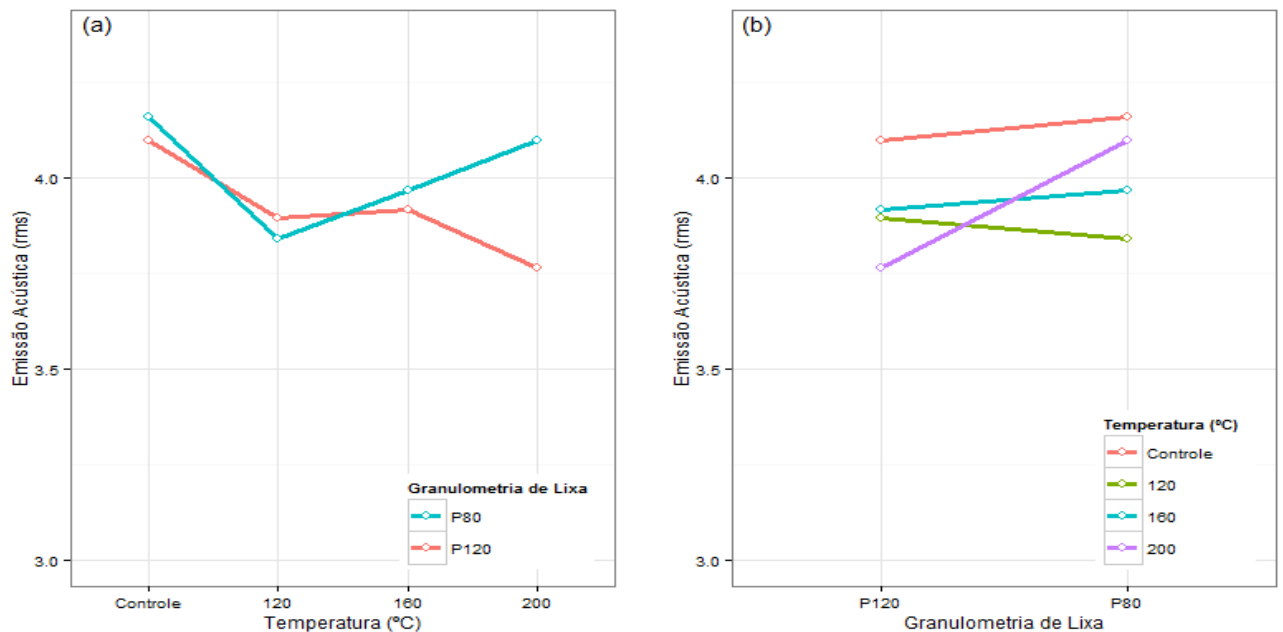
Tabela 7: Valores de médias e desvios padrões para emissão acústica nas diferentes condições de lixamento do *Corymbia citriodora*.

Fator		Número de Amostras	Emissão Acústica (rms)	Desvio Padrão (σ^2)	Erro Padrão (σ_n)	Coeficiente de Variação (%)
Lixa	Temperatura (°C)					
P80	Controle	6	4,160	0,510	0,208	12,3
	120	6	3,842	0,475	0,194	9,8
	160	6	3,966	0,310	0,127	7,8
	200	5	4,096	0,554	0,248	13,5
P120	Controle	6	4,098	0,423	0,173	10,3
	120	6	3,894	0,535	0,218	13,7
	160	6	3,917	0,294	0,120	7,5
	200	5	3,766	0,578	0,258	15,3
Média marginal de emissão acústica (rms) de cada nível dos fatores						
P80	P120	Controle	120°C	160°C	200°C	
4,016	3,919	4,129	3,868	3,942	3,931	
ANOVA		GL	SQ	QM	F valor	Pr (>F)
FV						
Lixa		1	0,088	0,08757	0,404	0,529
Temperatura		3	0,453	0,15105	0,697	0,559
Lixa*Temp		3	0,212	0,07058	0,326	0,807
Resíduos		38	8,230	0,21659		
Total		45	8,983			

FV: Fonte de variação, GL: graus de liberdade, SQ: soma dos quadrados, QM: quadrado médio. F- e P-valores são expressos com níveis de significância *, $P < 0,05$. Intervalos de confiança utilizados de 95%.

Não foi observado interação significativa entre lixa e temperatura de termorretificação para a variável de resposta emissão acústica (p -valor = 0,807), ao nível de significância de 5%. Também não foi constatado diferença significativa entre as granulometrias de lixa (p -valor = 0,529), e entre as temperaturas de termorretificação (p -valor = 0,559) com o mesmo valor de α . A Figura 30 apresenta gráficos de interação entre lixa e temperatura de termorretificação para o parâmetro emissão acústica produzido no lixamento da madeira *Corymbia citriodora*.

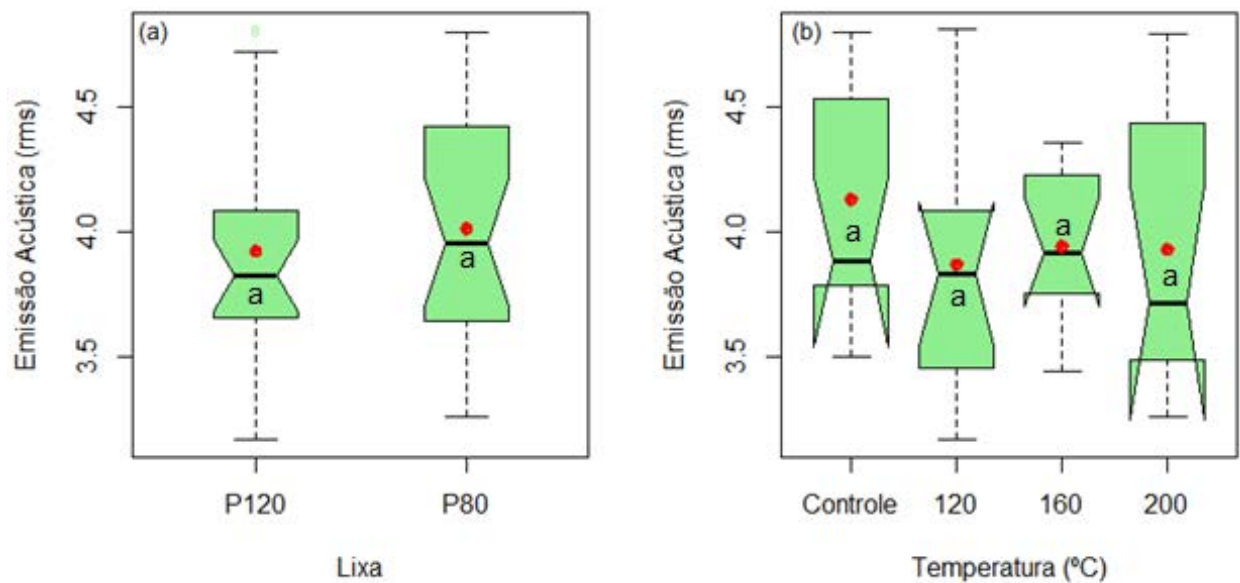
Figura 29: Interação entre granulometria de lixa e temperatura de termorretificação para a espécie *C. citriodora*. (a) Emissão acústica em função das temperaturas de termorretificação; (b) Emissão acústica em função das granulometrias de lixa.



Pode ser observado na Figura 30 que os fatores não interagiram entre si, e que tanto as granulometrias de lixa quanto as temperaturas de termorretificação também não expressaram diferenças significativas.

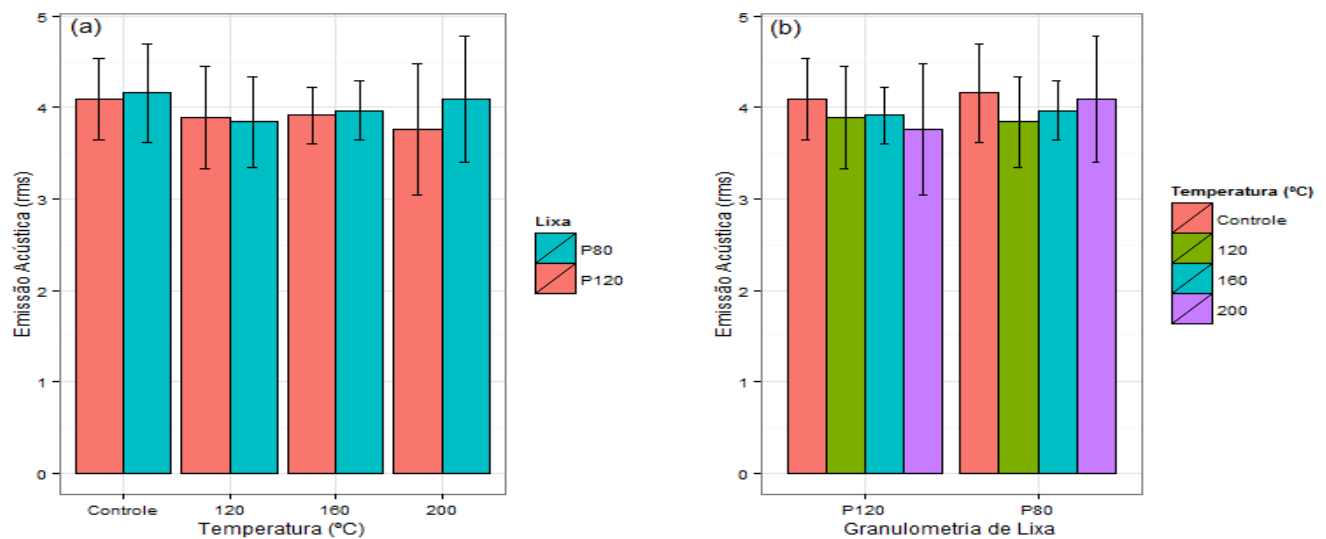
A Figura 31 apresenta gráficos do tipo box-plot para o parâmetro emissão acústica em função dos conjuntos de lixas e das temperaturas de termorretificação. Os pontos em vermelho representam os valores médios para cada nível dos fatores estudados.

Figura 30: Distribuição da emissão acústica produzida pelas amostras *Corymbia citriodora*, lixadas com diferentes lixas com diferentes temperaturas de termorretificação. (a) Emissão acústica devida às diferentes granulometrias de lixa; (b) Emissão acústica devida às temperaturas de aquecimento e temperatura controle. Diferentes letras representam diferença significativa (P-valor<0,05) entre grupos.



Como pode ser observado na Figura 31a, não houve diferença significativa entre as lixas utilizadas no lixamento, porque é clara a sobreposição dos “notches” da lixa P80 com a P120, revelando assim a similaridade das médias dessas granulometrias de lixa. O mesmo aconteceu com as temperaturas de termorretificação, como mostrado na Figura 31b. Na Figura 32 se observa novamente a pouca variabilidade dos dados de emissão acústica para essa espécie de madeira.

Figura 31: Gráficos de barras com desvios padrões para as granulometrias de lixa e temperaturas de termorretificação para a espécie *C. citriodora*. (a) Emissão acústica em função das temperaturas de termorretificação; (b) Emissão acústica em função das granulometrias de lixa.



5.2.1 *Pinus elliottii*

São apresentadas na Tabela 8 as médias gerais e marginais, bem como desvios e erros padrões da emissão acústica produzida no lixamento da madeira conífera nas diferentes temperaturas de termorretificação e granulometrias de lixa. Nela estão contidos também os resultados da análise de variância.

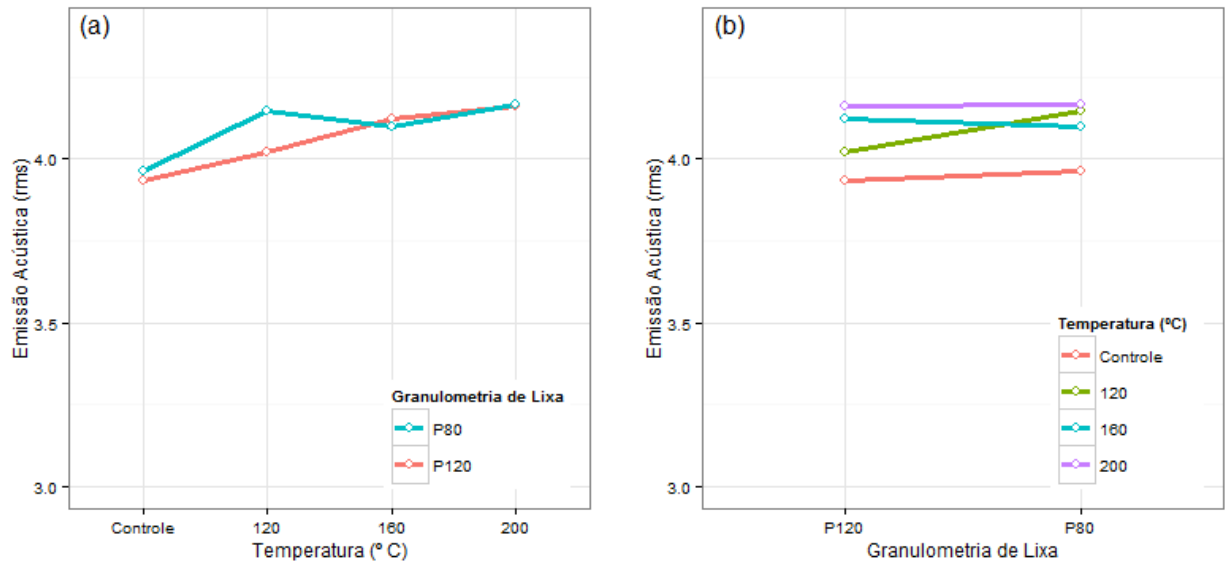
Tabela 8: Valores de médias e desvios padrões para emissão acústica nas diferentes condições de lixamento do *Pinus elliottii*.

Fator		Número de Amostras	Emissão Acústica (rms)	Desvio Padrão (σ^2)	Erro Padrão (σ_n)	Coeficiente de Variação (%)
Lixa	Temperatura (° C)					
P80	Controle	6	3,960	0,372	0,152	9,4
	120	6	4,146	0,462	0,189	11,1
	160	6	4,096	0,369	0,151	9,0
	200	6	4,168	0,290	0,119	7,0
P120	Controle	6	3,930	0,402	0,164	10,2
	120	6	4,020	0,522	0,213	13,0
	160	6	4,123	0,654	0,267	15,9
	200	6	4,162	0,406	0,166	9,8
Média marginal de emissão acústica (rms) de cada nível dos fatores						
P80	P120	Controle	120°C	160°C	200°C	
4,019	4,059	3,945	4,083	4,110	4,165	
ANOVA		GL	SQ	QM	F valor	Pr (>F)
FV						
Lixa		1	0,013	0,01340	0,067	0,797
Temperatura		3	0,314	0,10451	0,523	0,669
Lixa*Temp		3	0,036	0,01303	0,065	0,978
Resíduos		40	7,997	0,19992		
Total		47	8,360			

FV: Fonte de variação, GL: graus de liberdade, SQ: soma dos quadrados, QM: quadrado médio. F- e P-valores são expressos com níveis de significância *, $P < 0,05$. Intervalos de confiança utilizados de 95%.

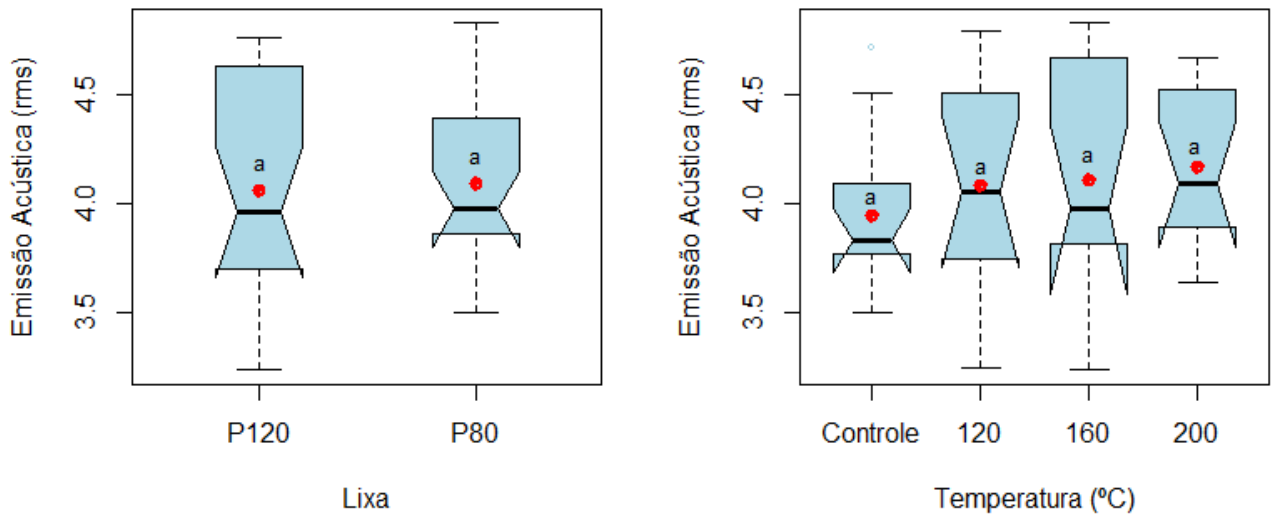
Não houve interação significativa entre lixa e temperatura de termorretificação para o parâmetro emissão acústica (p -valor = 0,978), ao nível de significância de 5%. Também não foi encontrado diferença significativa entre as granulometrias de lixa (p -valor = 0,797), e entre as temperaturas de termorretificação (p -valor = 0,669) com o mesmo valor de α . A Figura 30 apresenta gráficos de interação entre lixa e temperatura de termorretificação para o parâmetro emissão acústica produzido no lixamento da madeira da espécie *Pinus elliottii*.

Figura 32: Interação entre granulometria de lixa e temperatura de termorretificação para a espécie *P. elliottii*. (a) Emissão acústica em função das temperaturas de termorretificação; (b) Emissão acústica em função das granulometrias de lixa.



A Figura 31 apresenta gráficos do tipo box-plot para o parâmetro emissão acústica produzida no lixamento do *P. elliottii*, em função dos conjuntos de lixas e das temperaturas de termorretificação. Cada caixa mostrada nos gráficos representam a variação dos dados de um determinado nível dos fatores estudados, nos quais pode-se observar a grande similaridade de emissão acústica produzida.

Figura 33: Distribuição da emissão acústica produzida pelas amostras *P. Elliottii*, lixadas com diferentes lixas com diferentes temperaturas de termorretificação. (a) Emissão acústica devida às diferentes granulometrias de lixa; (b) Emissão acústica devida às temperaturas de aquecimento temperatura controle. Diferentes letras representam diferença significativa (P-valor<0,05) entre grupos.



5.3 Potência consumida

5.3.1 *Corymbia citriodora*

São apresentadas na Tabela 9 as médias gerais e marginais, bem como desvios e erros padrões da potência consumida no lixamento da madeira *C. citriodora*. Nela estão contidos também os resultados da análise de variância para o consumo de potência durante o processo de lixamento.

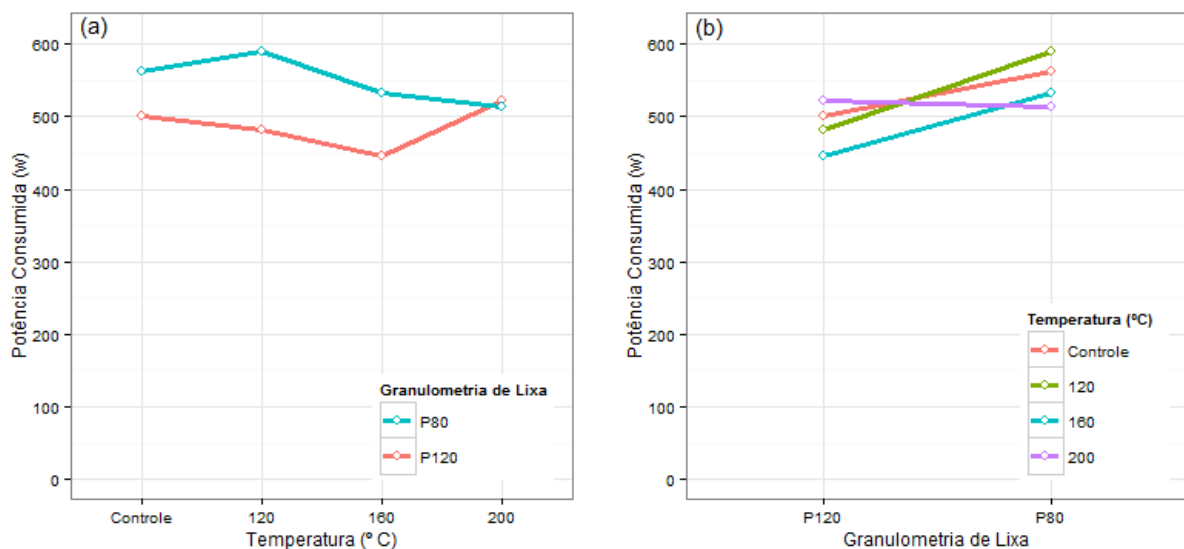
Tabela 9: Valores de médias e desvios padrões para o consumo de potência nas diferentes condições de lixamento do *Corymbia citriodora*.

Fator		Número de Amostras	Potência Consumida (w)	Desvio Padrão (σ^2)	Erro Padrão (σ_n)	Coeficiente de Variação (%)
Lixa	Temperatura (°C)					
P80	Controle	6	562,33	48,58	19,83	8,6
	120	6	588,83	55,99	22,86	9,5
	160	6	532,83	31,80	12,98	6,0
	200	6	513,17	41,97	17,13	8,2
P120	Controle	6	500,67	23,58	9,62	4,7
	120	6	482,50	39,68	16,20	8,2
	160	6	445,67	80,69	32,94	18,1
	200	5	521,80	18,38	8,22	3,5
Média marginal de potência consumida (w) de cada nível dos fatores						
P80	P120	Controle	120°C	160°C	200°C	
549,29	487,66	531,50	535,66	489,25	517,48	
ANOVA		GL	SQ	QM	F valor	Pr (>F)
FV						
Lixa		1	46789	46789	21,244	4,26e-05
Temperatura		3	16005	5335	2,422	0,0804
Lixa*Temp		3	21384	7128	3,236	0,0324
Resíduos		39	85895	2202		
Total		46	170073			

FV: Fonte de variação, GL: graus de liberdade, SQ: soma dos quadrados, QM: quadrado médio. F- e P-valores são expressos com níveis de significância *, $P < 0,05$. Intervalos de confiança utilizados de 95%.

Como mostrado na Tabela 9, houve interação significativa entre lixa e temperatura de termorreificação para o parâmetro emissão acústica (p -valor = 0,0324), ao nível de significância de 5%. Também foi encontrado diferença significativa entre as granulometrias de lixa (p -valor < 0,05). Entretanto, entre as temperaturas de termorreificação não foi encontrado diferenças significativas (p -valor = 0,08) com o mesmo valor de α . A Figura 30 apresenta gráficos de interação entre lixa e temperatura de termorreificação para o parâmetro potência consumida no lixamento da madeira da espécie *C. citriodora*.

Figura 34: Interação entre granulometria de lixa e temperatura de termorreificação para a espécie *Corymbia citriodora*. (a) Potência consumida em função das temperaturas de termorreificação; (b) Potência consumida em função das granulometrias de lixa.



Na Figura 30a observa-se a interação dos fatores ao se cruzarem com o aumento da temperatura de termorreificação. Para a lixa de desbaste (P80) houve uma redução no consumo de potência com os tratamentos térmicos, enquanto que na lixa de acabamento (P120), o consumo teve aumento significativo estatisticamente.

5.3.2 *Pinus elliottii*

São apresentadas na Tabela 10 as médias gerais e marginais, bem como desvios e erros padrões da potência consumida no lixamento da madeira conífera nas diferentes temperaturas de termorretificação e granulometrias de lixa. Nela estão contidos também os resultados da análise de variância para o consumo de potência durante o processo de lixamento.

Tabela 10: Valores de médias e desvios padrões para o consumo de potência nas diferentes condições de lixamento do *Pinus elliottii*.

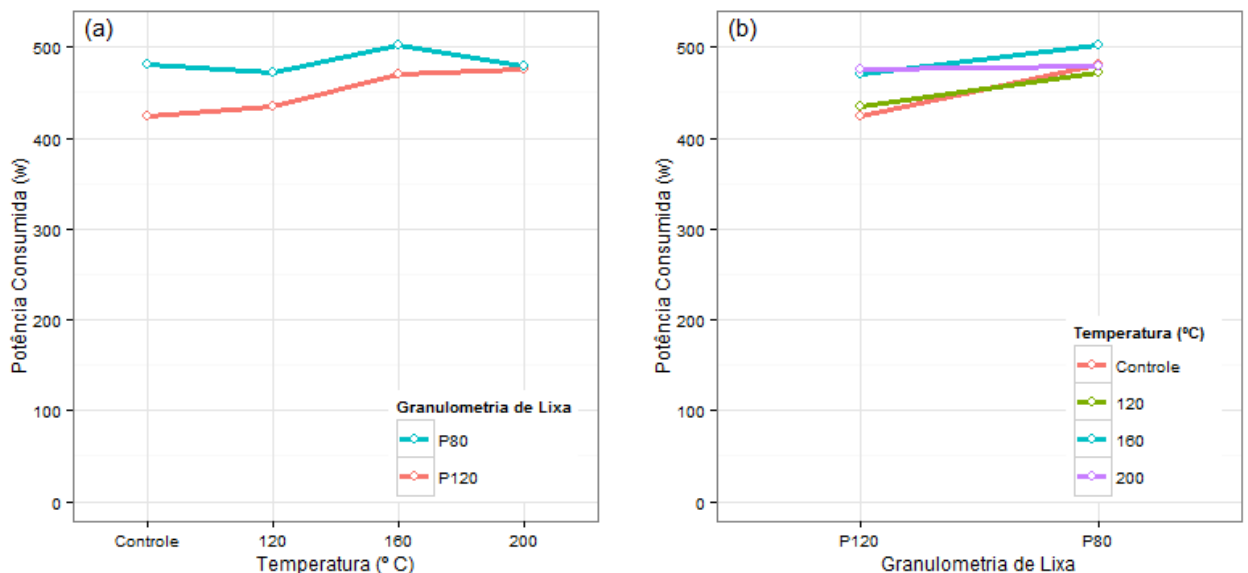
Fator		Número de Amostras	Potência Consumida (w)	Desvio Padrão (σ^2)	Erro Padrão (σ_n)	Coeficiente de Variação (%)
Lixa	Temperatura (°C)					
P80	Controle	6	481,33	19,190	7,834	12,3
	120	6	472,83	44,960	18,355	9,8
	160	6	502,50	27,194	11,102	7,8
	200	6	479,50	50,143	20,471	13,5
P120	Controle	6	423,50	20,521	8,378	10,3
	120	6	434,67	40,550	16,554	13,7
	160	6	470,00	35,727	14,585	7,5
	200	6	476,00	43,845	17,900	15,3
Média marginal de potência consumida (w) de cada nível dos fatores						
P80	P120	Controle	120°C	160°C	200°C	
484,04	451,04	452,42	453,75	486,25	477,75	
ANOVA		GL	SQ	QM	F valor	Pr (>F)
FV						
Lixa		1	13068	13068	9,585	0,0036
Temperatura		3	10478	3493	2,562	0,0583
Lixa*Temp		3	4542	1514	1,110	0,3562
Resíduos		40	54538	1363		
Total		47	82626			

FV: Fonte de variação, GL: graus de liberdade, SQ: soma dos quadrados, QM: quadrado médio. F- e P-valores são expressos com níveis de significância *, $P < 0,05$. Intervalos de confiança utilizados de 95%.

Não foi observado interação significativa entre lixa e temperatura de termorretificação para o parâmetro potência consumida (p-valor = 0,3562), ao nível de

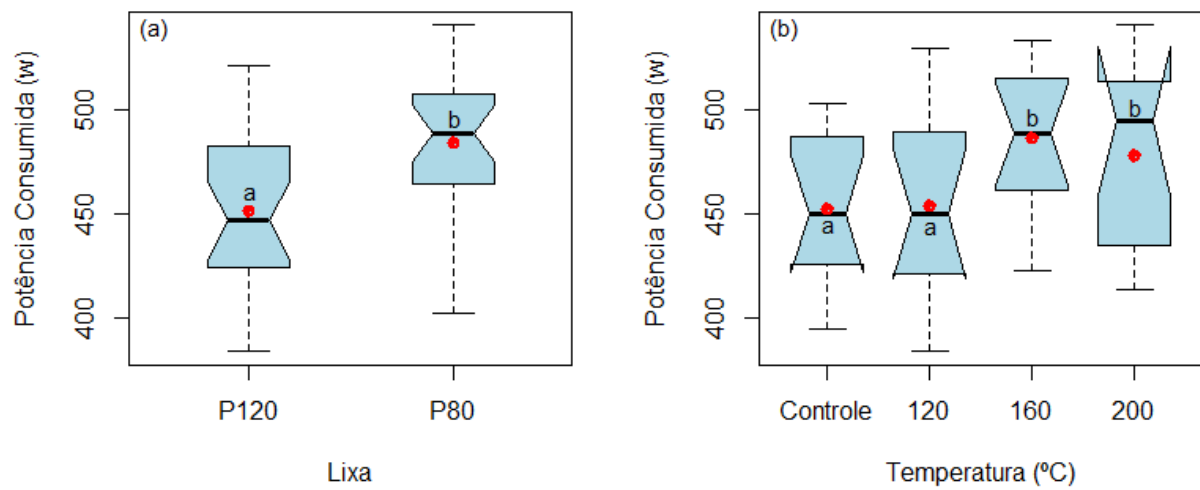
significância de 5%. Porém, foi encontrado diferença significativa entre as granulometrias de lixa (p -valor = 0,0036), e entre as temperaturas de termorretificação (p -valor = 0,0583) com o mesmo valor de α . A Figura 30 apresenta a não interação entre lixa e temperatura de termorretificação no lixamento da madeira da espécie *P. elliotii*, no qual as linhas se sobrepõem numa mesma tendência.

Figura 35: Interação entre granulometria de lixa e temperatura de termorretificação para a espécie *P. elliotii*. (a) Potência consumida em função das temperaturas de termorretificação; (b) Potência consumida em função das granulometrias de lixa.



A Figura 31 apresenta gráficos do tipo box-plot para o parâmetro potência consumida no lixamento do *P. elliotii*, em função dos conjuntos de lixas e das temperaturas de termorretificação. Foi observado que as lixas diferiram significativamente, como ilustrado na Figura 31a. As temperaturas de termorretificação de 160 e 200° C foram diferentes estatisticamente da temperatura de 120° C e da temperatura controle (Figura 31b), mostrando um consumo mais elevado de potência durante o lixamento.

Figura 36: Distribuição da potência consumida pelas amostras *P. Elliottii*, lixadas com diferentes lixas com diferentes temperaturas de termorretificação. (a) Potência devida às diferentes granulometrias de lixa; (b) Potência devida às temperaturas de aquecimento temperatura controle. Diferentes letras representam diferença significativa (P -valor $<0,05$) entre grupos.



5.4 Planicidade das peças

5.4.1 *Corymbia citriodora*

São apresentadas na Tabela 11 as médias gerais e marginais, bem como desvios e erros padrões da planicidade das peças lixadas com diferentes condições de tratamentos térmicos e granulometrias de lixa. Nela estão contidos também os resultados da análise de variância para a planicidade das amostras de *C. citriodora*.

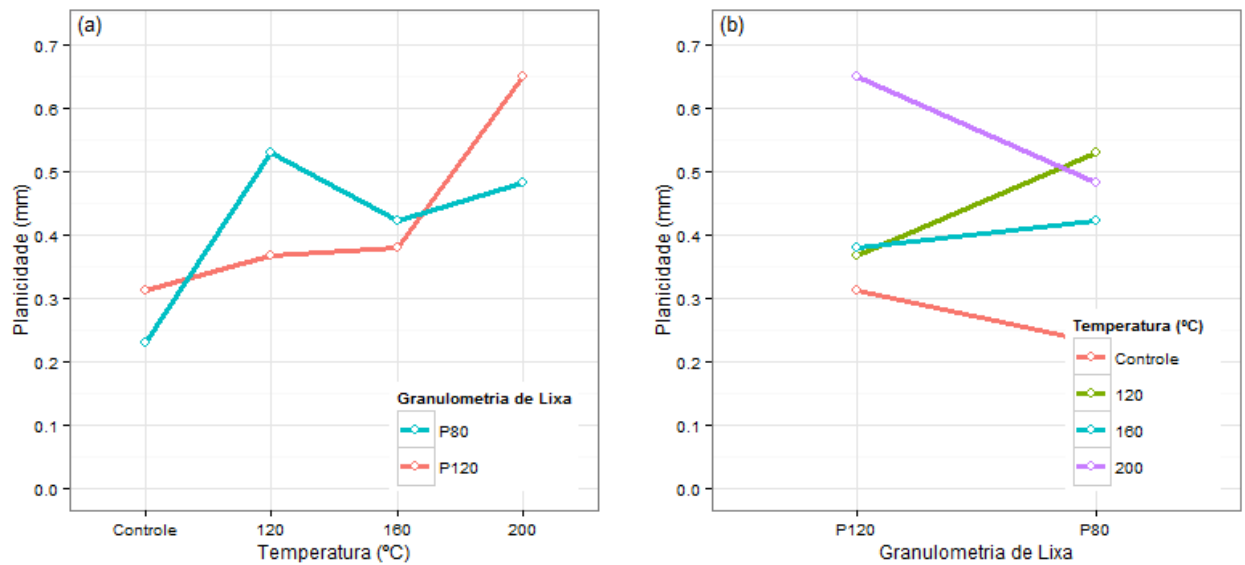
Tabela 11: Valores de médias e desvios padrões para a planicidade das amostras nas diferentes condições de lixamento do *Corymbia citriodora*

Fator		Número de Amostras	Planicidade (mm)	Desvio Padrão (σ^2)	Erro Padrão (σ_n)	Coeficiente de Variação (%)
Lixa	Temperatura (° C)					
P80	Controle	6	0,23	0,070	0,029	30,0
	120	6	0,53	0,178	0,072	33,0
	160	6	0,42	0,136	0,055	32,0
	200	6	0,48	0,062	0,025	13,0
P120	Controle	6	0,31	0,194	0,079	62,0
	120	6	0,37	0,181	0,074	49,0
	160	6	0,38	0,097	0,039	25,0
	200	5	0,65	0,151	0,068	23,0
Média marginal de planicidade das peças (mm) de cada nível dos fatores						
P80	P120	Controle	120°C	160°C	200°C	
0,42	0,43	0,27	0,45	0,40	0,56	
ANOVA		GL	SQ	QM	F valor	Pr (>F)
FV						
Lixa		1	0,0000	0,00005	0,002	0,962
Temperatura		3	0,4906	0,16354	8,124	0,00025 *
Lixa*Temp		3	0,1802	0,06005	2,983	0,043 *
Resíduos		39	0,7851	0,02013		
Total		46	1,456			

FV: Fonte de variação, GL: graus de liberdade, SQ: soma dos quadrados, QM: quadrado médio. F- e P-valores são expressos com níveis de significância *, $P < 0,05$. Intervalos de confiança utilizados de 95%.

Observa-se na Tabela 11 que houve interação significativa entre os fatores lixa e temperatura para o parâmetro planicidade das peças (p -valor = 0,043, α = 0,05). A Figura 33 apresenta gráficos de interação entre lixa e temperatura de termorreificação.

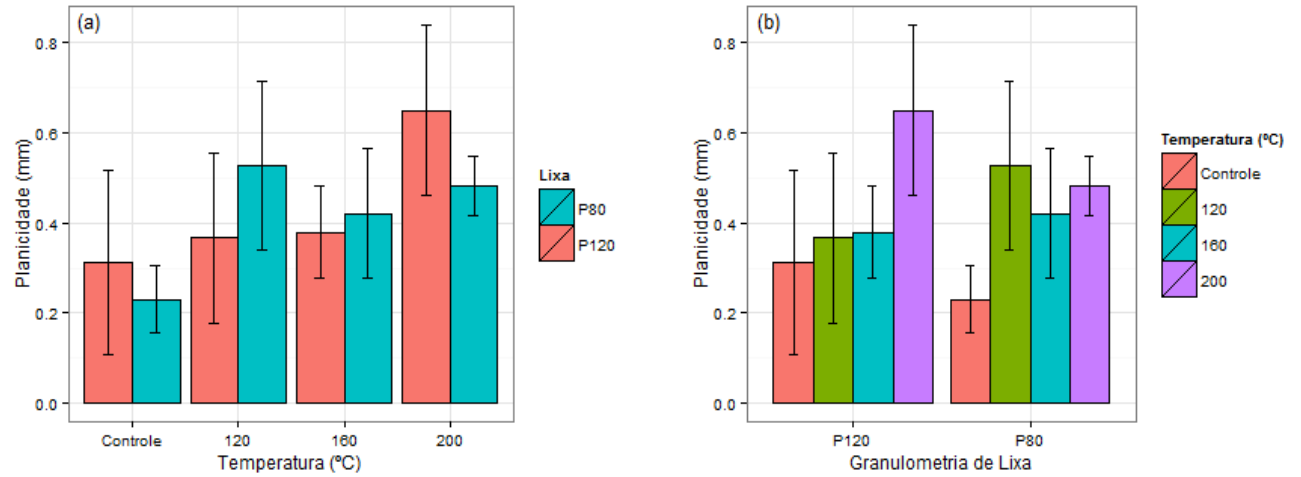
Figura 37: Interação entre granulometria de lixa e temperatura de termorreificação para a espécie *Corymbia citriodora*. (a) Planicidade em função das temperaturas de termorreificação; (b) Planicidade em função das granulometrias de lixa.



Analisando-se os efeitos principais dos fatores, pode-se observar que com o aumento da temperatura houve o aumento da planicidade da madeira para a lixa P120, como mostrado na Figura 33a. O inverso ocorreu com a lixa P80, a qual proporcionou menores variações na geometria das peças com a temperatura de 200° C (Figura 33b). Com a mesma lixa à temperatura de 120° C a planicidade foi aumentada significativamente

A Figura 34 mostra gráficos de barras com os desvios padrões para cada nível de lixa e temperatura. Outra vez se observa que para a lixa de acabamento houve aumento na planicidade na temperatura mais alta, já com a outra lixa, o maior valor de planicidade foi encontrado com a temperatura de termorreificação de 120° C.

Figura 38: Gráficos de barras com desvios padrões para as granulometrias de lixa e temperaturas de termorretificação para a espécie *Corymbia citriodora*. (a) Planicidade em função das temperaturas de termorretificação; (b) Planicidade em função das granulometrias de lixa



5.4.2 *Pinus elliottii*

Na Tabela 12 são apresentadas as médias gerais e marginais, bem como desvios e erros padrões da planicidade das peças lixadas com diferentes temperaturas de termorretificação e granulometrias de lixa. Estão contidos também os resultados da análise de variância para a planicidade das amostras de *Pinus elliottii*, em função das variáveis lixa e temperatura de termorretificação.

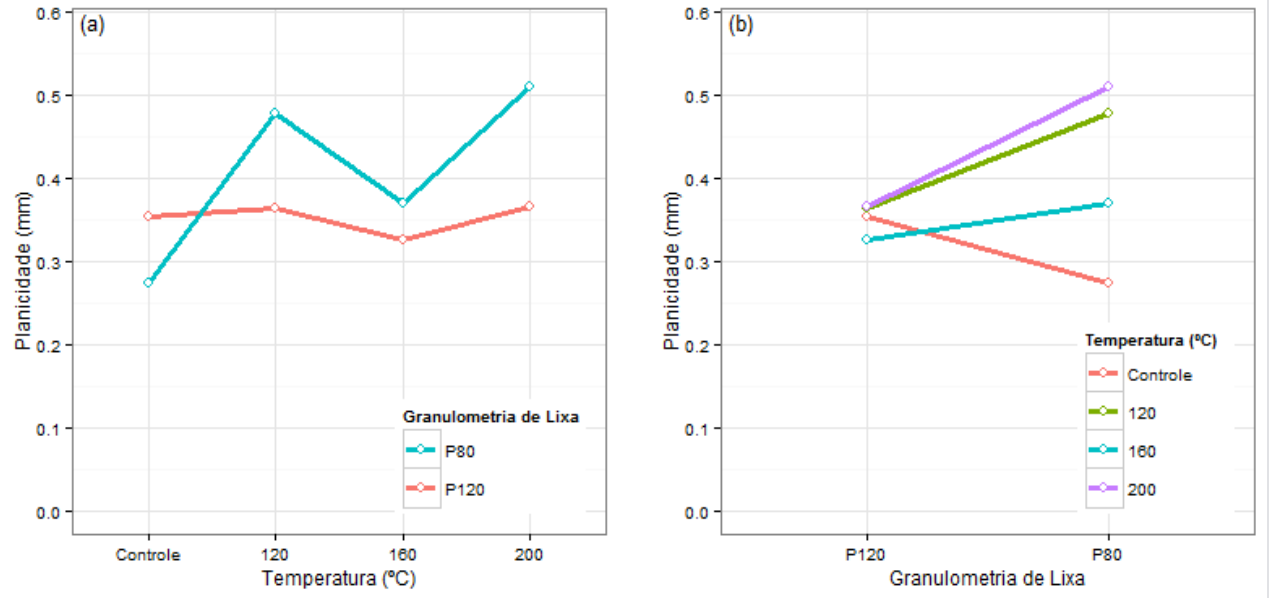
Tabela 12: Valores de médias e desvios padrões para planicidade nas diferentes condições de lixamento do *Pinus elliottii*.

Fator		Número de Amostras	Planicidade (mm)	Desvio Padrão (σ^2)	Erro Padrão (σ_n)	Coeficiente de Variação (%)
Lixa	Temperatura (° C)					
P80	Controle	6	0,27	0,071	0,029	26,0
	120	6	0,48	0,121	0,049	25,0
	160	5	0,37	0,113	0,050	30,0
	200	6	0,51	0,157	0,064	31,0
P120	Controle	6	0,35	0,096	0,039	27,0
	120	6	0,36	0,093	0,038	26,0
	160	6	0,32	0,039	0,016	12,0
	200	6	0,36	0,173	0,071	48,0
Média marginal de planicidade das peças (mm) de cada nível dos fatores						
P80	P120	Controle	120° C	160° C	200° C	
0,41	0,35	0,31	0,42	0,34	0,44	
ANOVA		GL	SQ	QM	F valor	Pr (>F)
FV						
Lixa		1	0,0394	0,0394	2,951	0,094
Temperatura		3	0,1242	0,0414	3,103	0,037 *
Lixa*Temp		3	0,0900	0,0300	2,249	0,098 **
Resíduos		39	0,5204	0,0133		
Total		46	0,774			

FV: Fonte de variação, GL: graus de liberdade, SQ: soma dos quadrados, QM: quadrado médio. F- e P-valores expressos com níveis de significância *, $P < 0,05$. F- e P-valores expressos com níveis de significância **, $P < 0,10$. Intervalos de confiança utilizados de 95%.

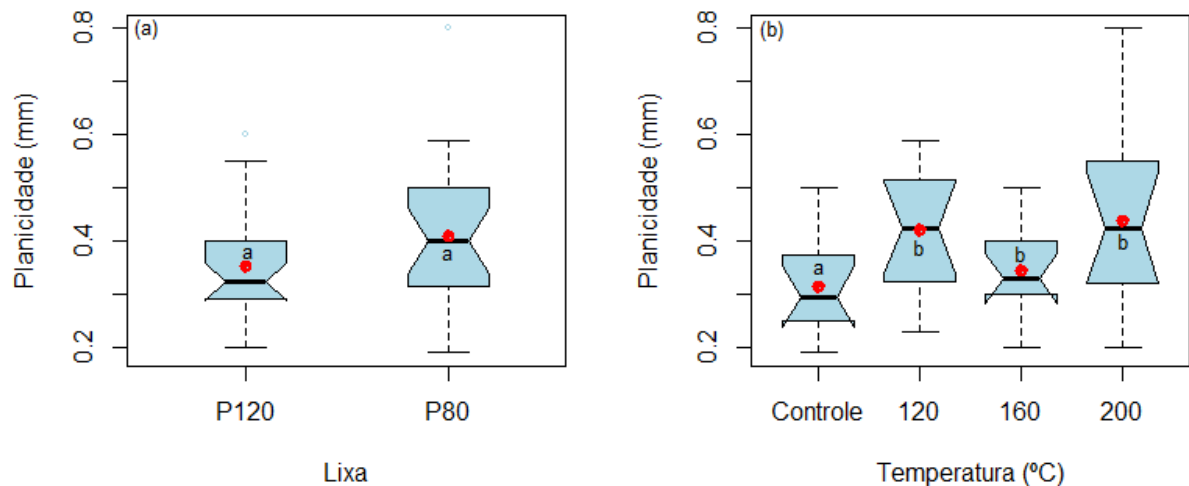
De acordo com a Tabela 12, houve interação significativa entre os fatores lixa e temperatura para o parâmetro planicidade das peças de *Pinus elliottii* (p -valor = 0,098, $\alpha = 0,1$). A Figura 35 apresenta gráficos de interação entre lixa e temperatura de termorreificação.

Figura 39: Interação entre granulometria de lixa e temperatura de termorretificação para a espécie *Pinus elliottii*. (a) Planicidade em função das temperaturas de termorretificação; (b) Planicidade em função das granulometrias de lixa



De acordo com a Figura 35a, a planicidade das amostras foi alterada com as granulometrias de lixa e os tratamentos térmicos realizados antes do lixamento. Na figura 44, pode-se ver a mudança significativa da planicidade de acordo com as temperaturas de termorretificação.

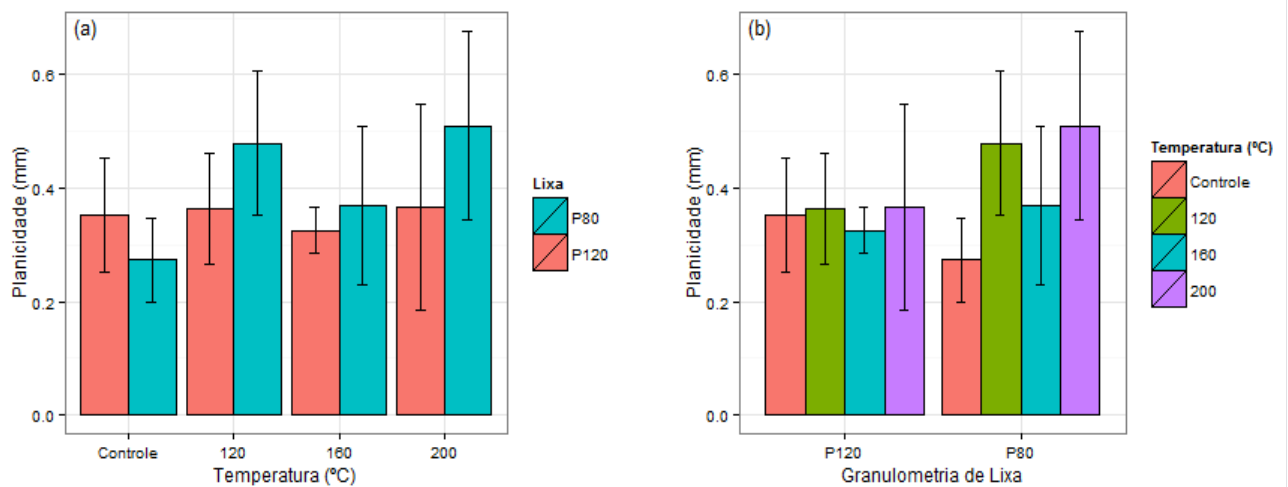
Figura 40: Distribuição da planicidade das amostras de *Pinus elliottii*, lixadas com diferentes lixas e diferentes tratamentos térmicos. (a) Planicidade devida às diferentes granulometrias de lixa; (b) Planicidade devida aos diferentes tratamentos térmicos e temperatura controle. Diferentes letras representam diferença significativa (P -valor $<0,05$) entre grupos.



As temperaturas de termorretificação não apresentaram diferenças entre si, porém diferiram das amostras controle. Para a conífera foram aumentados os valores de planicidade das peças, mas houve muita variação dos dados para as madeiras termorretificadas. Pode-se dizer que a termorretificação causou significativa variação geométrica nas amostras de *Pinus*.

A Figura 36 mostra gráficos de barras com os desvios padrões para cada nível de lixa e temperatura. Novamente pode-se ver que houve bastante variação dos dados para as temperaturas de termorretificação, principalmente à 200° C, devido às reações e tensões liberadas pela madeira em temperaturas muito elevadas.

Figura 41: Gráficos de barras com desvios padrões para as granulometrias de lixa e temperaturas de termorretificação para a espécie *Pinus elliottii*. (a) Planicidade em função das temperaturas de termorretificação; (b) Planicidade em função das granulometrias de lixa.



5.5 Temperatura máxima das peças

5.5.1 *Corymbia citriodora*

Na Tabela 13 são apresentadas as médias gerais e marginais, bem como desvios e erros padrões da temperatura máxima durante o lixamento das peças lixadas com diferentes condições de tratamentos térmicos e granulometrias de lixa. Nela estão contidos também os resultados da análise de variância para a temperatura máxima das amostras de *Corymbia citriodora*, em função das variáveis lixa e temperatura de termorreificação.

Tabela 13: Valores de médias e desvios padrões para temperatura máxima no lixamento do *Corymbia citriodora*.

Fator		Número de Amostras	Temperatura Máxima (° C)	Desvio Padrão (σ^2)	Erro Padrão (σ_n)	Coeficiente de Variação (%)
Lixa	Temperatura (° C)					
P80	Controle	6	80,4	11,763	4,802	15,0
	120	6	75,4	20,921	8,541	28,0
	160	6	81,9	5,396	2,203	6,0
	200	6	68,0	4,438	1,812	6,0
P120	Controle	6	66,4	5,264	2,149	8,0

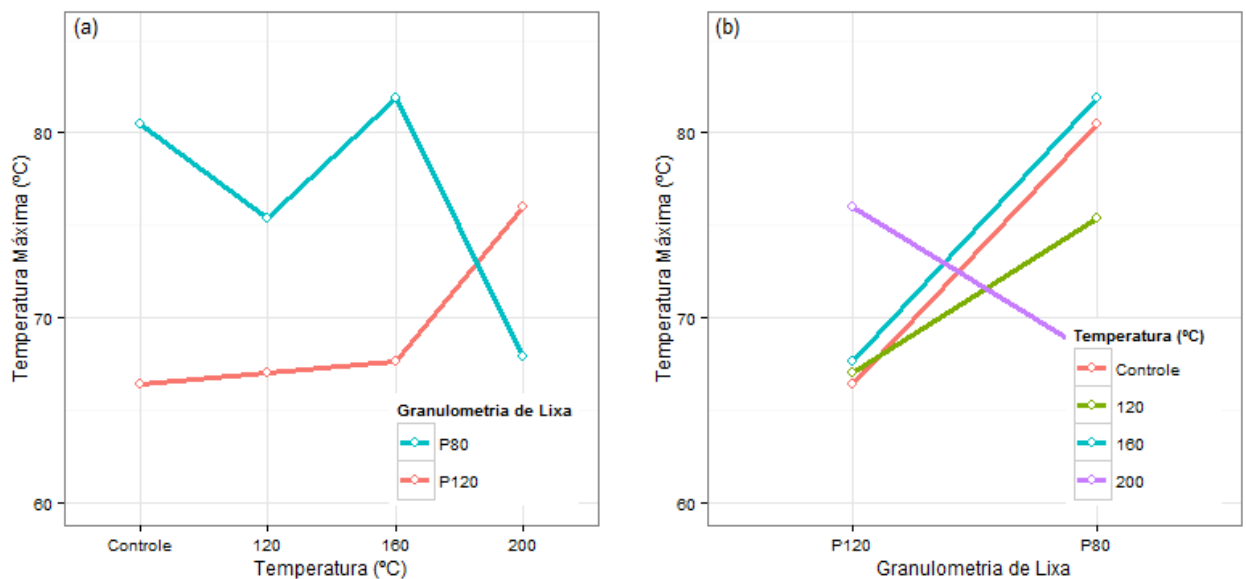
120	6	67,0	7,130	2,911	10,6
160	6	67,6	4,438	1,812	6,6
200	6	76,0	5,038	2,057	7,0

Média marginal de temperatura máxima (° C) de cada nível dos fatores						
P80	P120	Controle	120°C	160°C	200°C	
76,4	69,2	73,4	71,2	74,8	72,0	
ANOVA		GL	SQ	QM	F valor	Pr (>F)
FV						
Lixa		1	613	612,8	6,549	0,014 *
Temperatura		3	89	29,8	0,317	0,813
Lixa*Temp		3	993	330,8	3,536	0,023 *
Resíduos		40	3.742	93,6		
Total		47	5.437			

FV: Fonte de variação, GL: graus de liberdade, SQ: soma dos quadrados, QM: quadrado médio. F- e P-valores são expressos com níveis de significância *, $P < 0,05$. Intervalos de confiança utilizados de 95%.

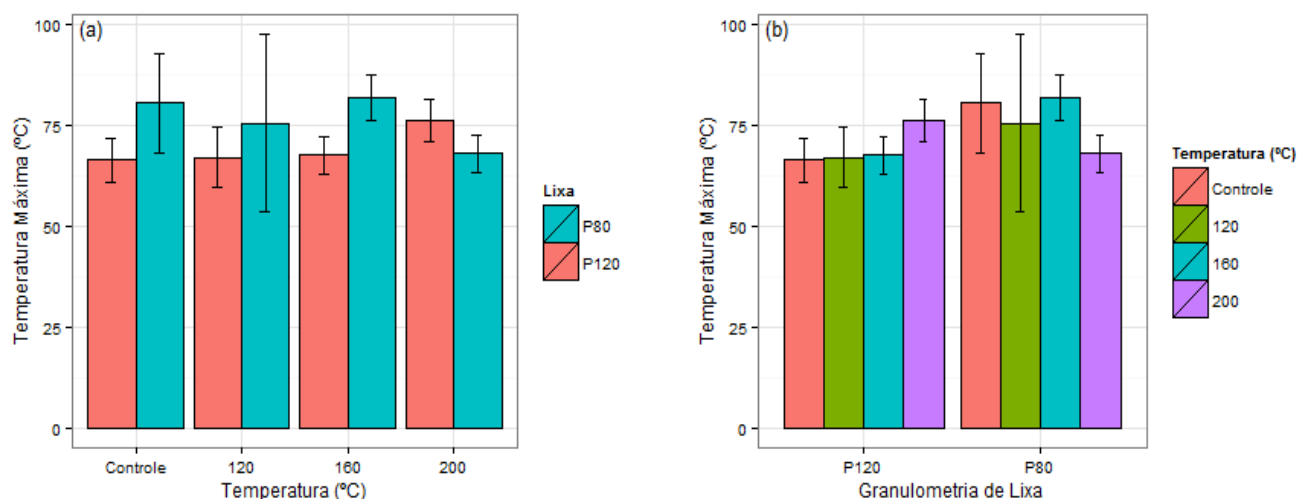
Observa-se na Tabela 13 que houve interação significativa entre a lixa e a temperatura de termorretificação (p -valor = 0,023) ao nível de significância de 5%. A Figura 37 apresenta gráficos de interação entre lixa e temperatura para a temperatura máxima no lixamento da madeira dessa espécie de folhosa.

Figura 42: Interação entre granulometria de lixa e temperatura de termorretificação para a espécie *Corymbia citriodora*. (a) Temperatura máxima no lixamento em função das temperaturas de termorretificação; (b) Temperatura máxima no lixamento em função das granulometrias de lixa



Ao se analisar os efeitos individuais dos fatores, na Figura 37a, pode-se observar que para a lixa P120 nas temperaturas controle, 120 e 160° C a temperatura máxima durante o lixamento permaneceu quase constante à 67° C, sem apresentar diferenças significativas. Entretanto, na temperatura de termorretificação de 200° C com a mesma lixa, a temperatura máxima foi aumentada consideravelmente à 76° C. Por outro lado, com a lixa P80, os valores de temperatura máxima foram altos para as temperaturas controle, de 120 e 160° C à uma média de 79° C; porém na temperatura de 200° C houve a queda acentuada dos valores de temperatura máxima à uma média de 68° C. A interação mais significativa foi com a temperatura de 200° C, a qual provocou um aumento na temperatura máxima das amostras com a lixa de acabamento, mas o contrário com a lixa de desbaste (Figura 37b). Contudo, as amostras termorretificadas na temperatura de 120° C apresentaram maiores coeficientes de variação comparados às outras temperaturas principalmente com a lixa P80. Essa grande variação para a temperatura máxima na temperatura de termorretificação de 120° C pode ser observada na Figura 38, a qual apresenta gráficos de barras com os desvios padrões para cada nível de lixa e temperatura.

Figura 43: Gráficos de barras com desvios padrões para as granulometrias de lixa e temperaturas de termorretificação para a espécie *Corymbia citriodora*. (a) Temperatura máxima no lixamento em função das temperaturas de termorretificação; (b) Temperatura máxima no lixamento em função das granulometrias de lixa.



5.5.2 *Pinus elliottii*

A Tabela 14 demonstra as médias gerais e marginais, bem como desvios e erros padrões da Temperatura Máxima durante o lixamento das peças lixadas com diferentes condições de tratamentos térmicos e granulometrias de lixa. Nela estão contidos também os resultados da análise de variância para a temperatura máxima das amostras de *Pinus elliottii*, em função das variáveis lixa e temperatura de termorretificação.

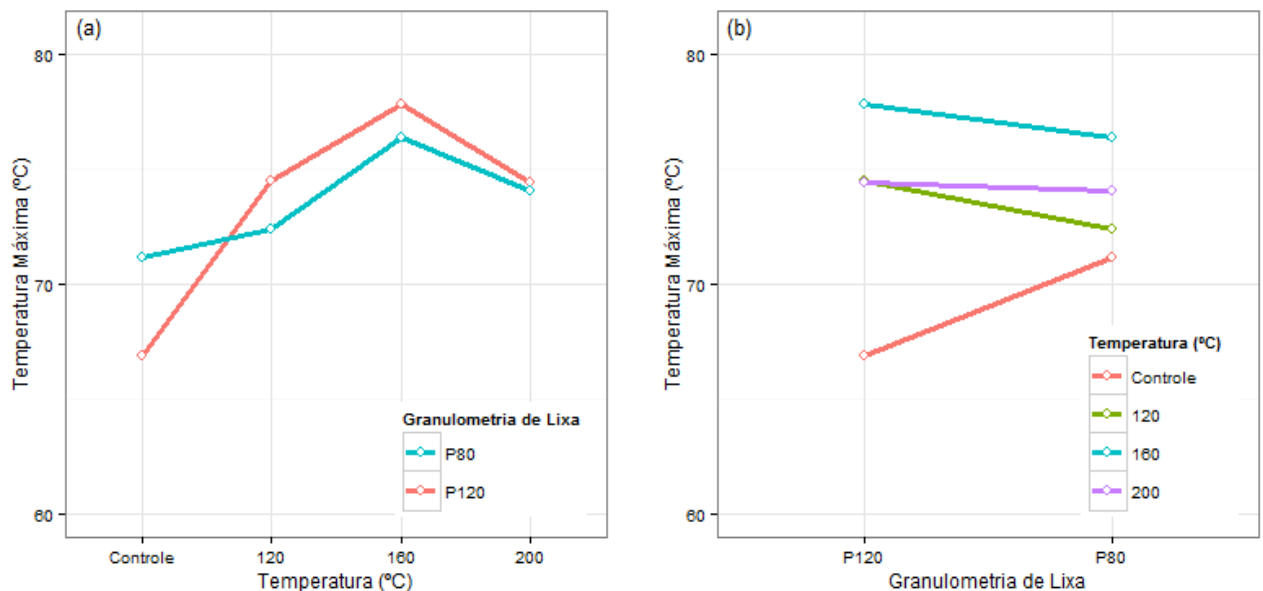
Tabela 14: Valores de médias e desvios padrões para temperatura máxima no lixamento do *Pinus elliottii*.

Fator		Número de Amostras	Temperatura Máxima (° C)	Desvio Padrão (σ^2)	Erro Padrão (σ_n)	Coeficiente de Variação (%)
Lixa	Temperatura (° C)					
P80	Controle	6	71,2	14,087	5,751	19,8
	120	6	72,4	9,192	3,752	12,7
	160	6	76,4	7,830	3,196	10,2
	200	6	74,1	3,446	1,407	4,6
P120	Controle	6	66,9	7,121	2,907	10,6
	120	6	74,5	6,277	2,562	8,4
	160	6	77,9	7,294	2,978	9,4
	200	6	74,4	7,622	3,112	10,2
Média marginal de temperatura máxima (° C) de cada nível dos fatores						
P80	P120	Controle	120°C	160°C	200°C	
73,5	73,4	69,0	73,4	77,2	74,2	
ANOVA		GL	SQ	QM	F valor	Pr (>F)
FV						
Lixa	1	0,1	0,08	0,001	0,974	
Temperatura	3	402,2	134,07	1,924	0,141	
Lixa*Temp	3	76,2	25,41	0,365	0,779	
Resíduos	40	2.787,6	69,69			
Total	47	3.266,1				

FV: Fonte de variação, GL: graus de liberdade, SQ: soma dos quadrados, QM: quadrado médio. F- e P-valores são expressos com níveis de significância *, $P < 0,05$. Intervalos de confiança utilizados de 95%.

Não houve interação significativa entre lixa e temperatura de termorreificação para o parâmetro temperatura máxima durante o lixamento do *Pinus* (p -valor = 0,779). Mesmo com a retirada desse termo na análise de variância, não foi constatado diferença significativa entre as granulometrias de lixa (p -valor = 0,974), e tampouco entre as temperaturas de termorreificação (p -valor = 0,141). A Figura 39 apresenta gráficos relacionando lixa e temperatura para temperatura máxima no lixamento. Neles é constatado visualmente que os valores médios se sobrepõem e têm a mesma tendência, comprovando assim a não existência de interação entre os fatores estudados.

Figura 44: Interação entre granulometria de lixa e temperatura de termorreificação para a espécie *Pinus elliottii*. (a) Temperatura máxima no lixamento em função das temperaturas de termorreificação; (b) Temperatura máxima no lixamento em função das granulometrias de lixa.



A Figura 40 apresenta gráficos do tipo box-plot para o parâmetro temperatura máxima nas peças no lixamento do *Pinus elliottii*, em função dos conjuntos de lixas e das temperaturas de termorreificação. Os pontos em vermelho representam os valores médios para cada nível

dos fatores estudados. A Figura 41 apresenta gráficos de barras com os desvios padrões para cada nível de lixa e temperatura. Nos dois tipos de gráficos é visível que nenhum dos níveis de cada fator diferiu estatisticamente para o parâmetro temperatura máxima durante o lixamento.

Figura 45: Distribuição da Temperatura máxima no lixamento das amostras de *Pinus elliottii*, lixadas com diferentes lixas e diferentes tratamentos térmicos. (a) Temperatura máxima devida às diferentes granulometrias de lixa; (b) Temperatura máxima devida às diferentes temperaturas de termorretificação e temperatura controle. Diferentes letras representam diferença significativa (P-valor<0,05) entre grupos

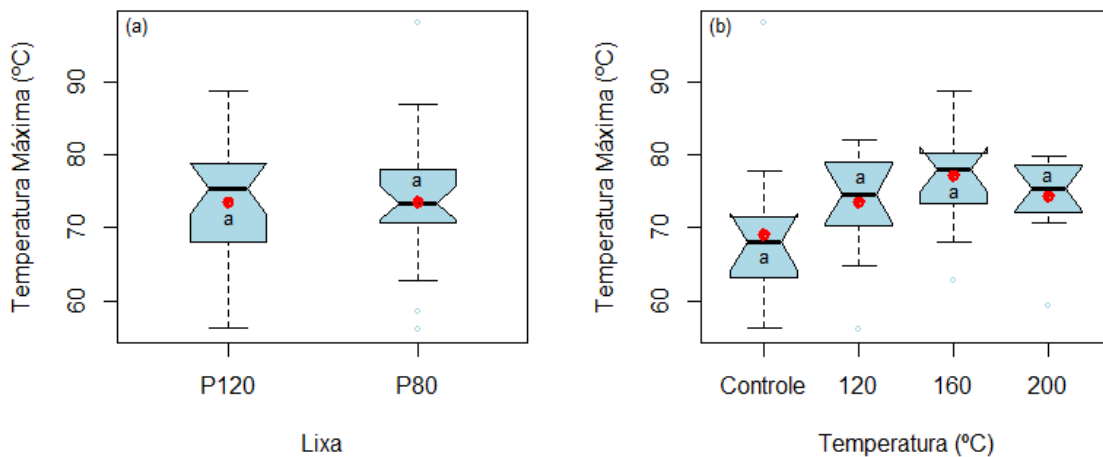
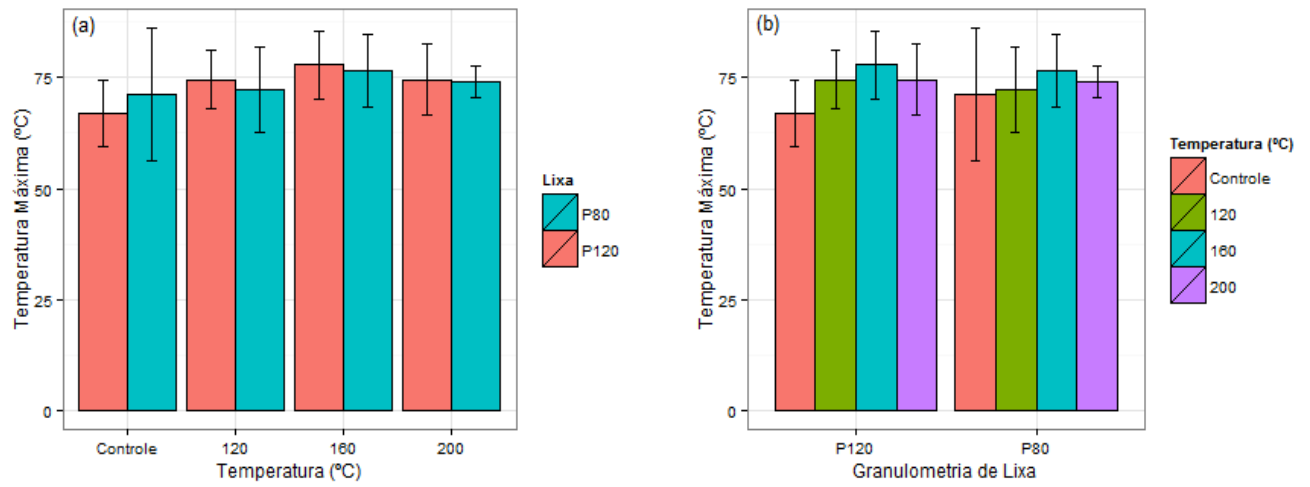


Figura 46: Gráficos de barras com desvios padrões para as granulometrias de lixa e temperaturas de termorretificação para a espécie *Pinus elliottii*. (a) Temperatura máxima no lixamento em função das temperaturas de termorretificação; (b) Temperatura máxima no lixamento em função das

granulometrias de lixa.

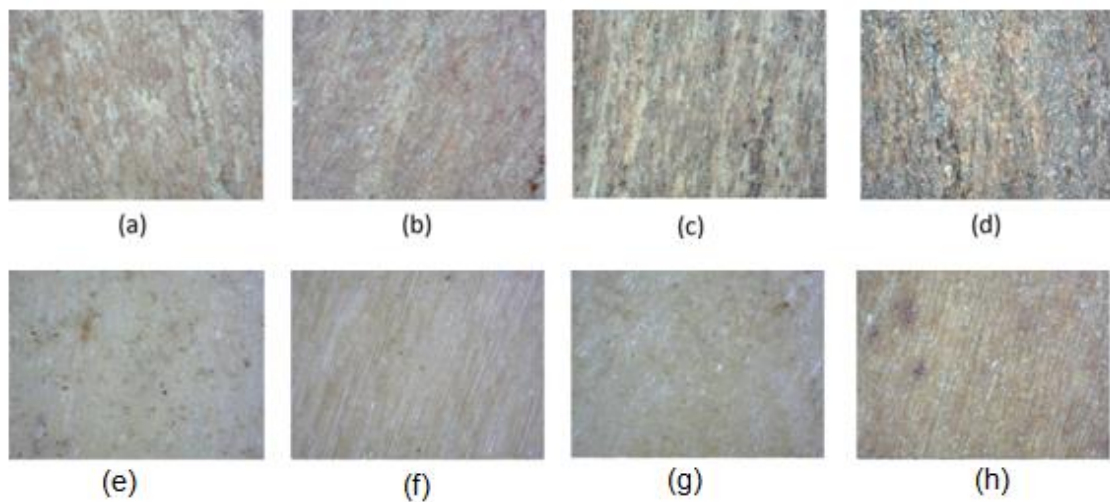


Com os resultados de emissão acústica foi visto que não houve diferença entre os tipos de lixa, tampouco entre as temperaturas de termorretificação. As emissões acústicas produzidas pelo *Pinus elliottii* e pelo *Corymbia citriodora* não apresentaram diferenças estatísticas.

5.5.3 Imagens Microscópicas

A Figura 29 apresenta a imagem aumentada de amostras de *Corymbia citriodora* e de *Pinus elliottii* lixadas com granulometria P80, no qual cada uma delas teve um tratamento térmico diferente (25, 120, 160 e 200° C).

Figura 47: Amostras lixadas com granulometria P80: (a) *C. citriodora* a 25° C. (b) *C. citriodora* a 120° C. (c) *C. citriodora* a 160° C. (d) *C. citriodora* a 200° C. (e) *P. elliottii* a 25° C. (f) *P. elliottii* a 120° C. (g) *P. elliottii* a 160° C. (h) *P. elliottii* a 200° C



Os corpos de prova de *Pinus elliottii*, independente da temperatura em que foram termorretificados, apresentaram melhor qualidade superficial que as amostras de *Corymbia citriodora*. Isso aconteceu porque o *Pinus* tem menor densidade que o *Corymbia*, então houve maior compactação do cavaco na superfície, portanto, visualmente, a superfície se tornou mais homogênea.

6 CONCLUSÃO

As conclusões obtidas em função das análises realizadas para os parâmetros de saída: rugosidade média, emissão acústica, potência, planicidade, temperatura máxima durante o lixamento e imagens das superfícies em microscópio foram:

- Os efeitos da termorretificação se mostraram positivos na análise da qualidade superficial das peças, ou seja, o tratamento térmico na madeira proporcionou uma melhoria no acabamento final das peças no processo de lixamento.
- As emissões acústicas produzidas pelo *Pinus elliottii* e pelo *Corymbia citriodora* não apresentaram diferenças estatísticas. A emissão acústica e o parâmetro de rugosidade média (Ra) não apresentaram relação linear.
- A termorretificação proporcionou menor consumo de potência para a lixa de desbaste no lixamento de *Corymbia citriodora*. O oposto ocorreu com o *Pinus elliottii*.
- O lixamento realizado em peças sem termorretificação, apresentou menores valores de planicidade nas peças.
- A lixa P80 apresentou temperaturas máximas durante o lixamento inferiores à lixa P120 com peças termorretificadas à 200° C. Menores temperaturas de termorretificação das peças lixadas com lixa de desbaste obtiveram temperaturas nas superfícies das amostras mais baixas.
- As superfícies das amostras de Pinus foram mais homogêneas que a do Corymbia segundo as imagens microscópicas.

6.1 Sugestões para trabalhos futuros

Com o intuito de aprimoramento do tema discutido nesse trabalho e para que haja uma continuidade nas pesquisas desse tipo de material faz-se necessário as seguintes sugestões para o processo de lixamento plano de madeiras:

- Analisar o comportamento do lixamento plano utilizando outras granulometrias de lixas;
- Verificar uma maior faixa de temperaturas de termorretificação com maiores períodos de tratamento;

- Utilizar tempos de termorretificação diferentes para cada uma das espécies, tendo em vista atingir o patamar final de temperatura;
- Utilizar termopares para controle das temperaturas nas madeiras.
- Realizar ensaios mecânicos nas amostras após o seu tratamento térmico, para se saber as melhores condições de lixamento.
- Verificar até que ponto a termorretificação beneficia o acabamento superficial de madeiras e painéis à base de madeira durante o processo de lixamento plano.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, S. O. **Propriedades de madeiras termorretrificadas**. 2010. 77 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 4287**: Especificações geométricas do produto (GPS)- Rugosidade: Método do perfil-Regras e procedimentos para avaliação de rugosidade. Rio de Janeiro, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6405**: rugosidade das superfícies. Rio de Janeiro, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107p.
- BOONSTRA M.J. 2008. A two-stage thermal modification of wood. Ph.D. dissertation in cosupervision Ghent University and Université Henry Poincaré - Nancy 1, 297 p.
- BORTOLUCI, T B. **Análise do processo de lixamento com lixas de carbetto de silício**. 2012. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Industrial Madeireira, Unesp, Itapeva, 2012
- BRITO, J. O.; GARCIA, J. N.; BORTOLETTO JUNIOR, G.; PESSOA, A. M. C.; SILVA, P. H. M. Densidade básica e retratibilidade da madeira de *eucalyptus grandis*, submetida a diferentes temperaturas de termorretrificação. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 2, p. 182-188, abr./jun. 2006.
- BUDAKCI, M.; GURLEYEN, L.; CINAR, H.; KORKUT, S. Effect of wood finishing and planning on surface smoothness of finished wood. **Journal of Applied Sciences**, v.7, n.16, p.2300-2306, 2007.
- CARPINETTI, L. C. R.; GONÇALVES FILHO, E. V.; PORTO, A. J. V.; JASINEVICIUS, R. G. **Rugosidade Superficial: Conceitos e Princípios de Medição**. São Carlos: Apostila, pp. 51, Seção de Publicações da EESC-USP, 1996.
- DUNEGAN, H. L. An Acoustic Emission Technique for Measuring Surface Roughness. **The DECI Report, Publication of Dunegan Engineering Consultants Inc**, 1998
- FERRARESI, D. Fundamentos da usinagem dos metais. São Paulo: Ed. EdgardBlücherLtda, 1977. p. 485.
- FLIR. FLIR i3 / i5 / i7. Disponível em: <<http://www.flir.co.uk/instruments/display/?id=65813>>. Acesso em: 28 mar. 2012.
- FONSECA, M. A. **Análise do processo de lixamento com lixas de óxido de alumínio**. 2012. 54 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Industrial Madeireira, Unesp, Itapeva, 2012.
- FOTIN, A., CISMARU, I., SALCĂ, E. A. Experimental research concerning the power consumption during the sanding process of birch wood. **ProLigno**. v.4,n. 3,p.37- 45, 2008.

GATEC GESTÃO INDUSTRIAL. **Projeto manutenção preditiva: Análise de vibrações**. 2009. Disponível em: <<http://www.gatec.com.br/Palestras%20Evento%>>

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

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

GUNDUZ, G.; AYDEMIR, D.; KARAKAS, G. The effects of thermal treatment on the mechanical properties of wild Pear (*Pyrus elaeagnifolia* Pall.) wood and changes in physical properties. **Materials and Design**, [S.l.], v. 30, p. 4391-4395, jun. 2019.

HENDARTO, B.; SHAYAN, E.; OZARSKA, B. **Characterisation of Surface Finishing Processes in Wood Furniture Manufacturing**. Disponível em: <<http://www.swinburne.edu.au/engineering/iris/pdf/profiles/BennyHendarto.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2013.

HENDARTO, B.; SHAYAN, E.; OZARSKA, B. **Characterization of Surface Finishing Processes in Wood Furniture Manufacturing**. 2011.

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

IBACH R. E. Specialty Treatments. In: FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook: wood as an engineering material**. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010.

INSTITUTO DE ESTUDOS E PESQUISAS FLORESTAIS. *Corymbia citriodora* Hill & Johnson (*Eucalyptuscitriodora*Hook). Disponível em: <http://www.dermatologia.net/novo/base/estetica/implante_fibroblastos.shtml>. Acesso em: 16 abr. 2012.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Informações sobre madeiras**. 1989. São Paulo Disponível em: <http://www.ipt.br/informacoes_madeiras3.php?madeira=7>. Acesso em: 20 maio 2015.

KACIKOVA, D.; KACIK, F.; CABALOVA, C.; DURKOVIC, J. Effects of thermal treatment on chemical, mechanical and colour traits in Norway spruce wood. **Bioresource Technology**, [S.l.], v. 144, p. 669-674, jul. 2013.

KWH Mirka Ltd. (Scandinávia). **Effective wood sanding**. Catalogo. Disponível em: <[http://www.mirka.com/SharePoint/MSF Printed material/Wood Sanding/Wood Sanding brochure English.pdf](http://www.mirka.com/SharePoint/MSF%20Printed%20material/Wood%20Sanding/Wood%20Sanding%20brochure%20English.pdf)>. Acesso em: 20 nov. 2013.

LEITE, S. S. **Lixamento do *pinus elliotti* com carbeto de silício e óxido de alumínio**. 2013. 91 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Industrial Madeireira, Unesp, Itapeva, 2013.

LEMOS, A. L. F.; GARCIA, R. A.; LOPES, J. O.; Carvalho, A. M.; Latorraca, J. V. F. Madeira de *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson sob Aspectos Físicos e Anatômicos como Fatores Qualitativos. *Floresta e Ambiente*. v.19, n.1, p.1-8, 2012.

LIMA, L. R. **EFEITOS DA VARIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DA MADEIRA NO PROCESSO DE LIXAMENTO**. 2013. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Industrial Madeireira, Unesp, Itapeva, 2013.

LOUPPE, D., OTENG-AMOAKO, A.A. & BRINK, M. (EDITORS); Plant Resources of Tropical Africa 7(1). Timbers 1. PROTA Foundation, Wageningen, Netherlands / Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands/ CTA, Wageningen, Netherlands. 704 pp. 2008.

MACHADO, A. R. *et al.*, **Teoria da usinagem dos materiais**. São Paulo: Blucher, 2009.

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

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

MOURA, L. F.; BRITO, J. O. Effect of Thermal Treatment on Machining Properties of *Eucalyptus grandis* and *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Woods. In: INTERNATIONAL CONVENTION OF SOCIETY OF WOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY, 51., 2008, Concepción. *Anais...* Concepción, 2008. p. 1-9.

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

NAVI, P.; SANDBERG, D. Heat treatment. In: **Thermo-hydro-mechanical wood processing**. Boca Raton: CRC Press, 2011. p. 287-354.

NUSSBAUM, Ch. N. **Rebolos & Abrasivos: tecnologia básica**. São Paulo: Ed. Ícone, 1988. 503 p.

OLIVEIRA, J. F. G. de; DINIZ, A. E.; FELIPE JUNIOR, J.; BALDO, E. D. Um método adequado para a retificação de precisão com pequena remoção de cavaco. *Máquinas e Metais*, São Paulo, v. 350, p. 78 – 101. mar. 1995.

PAHLITZSCH, G. The International state of research in the field of wood sanding. *Holz als Roh- und Werkstoff*. v.18, p.330-343, 1970.

PORANKIEWICZ, B., BANSKI, A., WIELOCH, G. Specific resistance and specific intensity of belt sanding of wood. **BioResources**. v. 5, n.3, p. 1626-1660, 2010.

POUBEL, D. S.; GARCIA, R. A.; SANTOS, W. A.; OLIVEIRA, G. L.; ABREU, H. S. M. Efeito da termoretificação nas propriedades físicas e químicas da madeira de *Pinus caribea*. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 3, p. 391-398, jul./set. 2013.

RAPP, A. O. Review on heat treatments of wood. Bruxelas: The European Commission Research Directorate, 2001. 66 p.

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

ROWELL, R.M. 2006. Acetylation of wood: A journey from analytical technique to commercial reality. **Forest Products Journal** 56(9): 4–12.

SALCA, E. A.; HIZIROGLU, S. Evaluation of hardness and surface quality of different wood species as function of heat treatment. **Materials and Design**, [S.l.], v. 62, p. 416-423, jun. 2014.

SALONI, D. E.; LEMASTER, R. L.; JACKSON, S. D. Process Monitoring Evaluation and Implementation for the Wood Abrasive Machining Process. **Sensors.Basel**, v.10, n.11, p.10401-10412, nov., 2010.

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

SILVA, K. C. R; MOLINA, J. C. Efeito da termorretrificação nas propriedades de resistência e de rigidez da madeira Eucalipto citriodora. **Madeira: arquitetura e engenharia**, v. 13, n. 33, p. 53-68, 2014.

SOTELO JUNIOR, J.; FRANÇA, L. N. R. **Introdução às Vibrações Mecânicas**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006, p.168.

SOUTO, U. B. *et al.*, **Avaliação do Perfil de Rugosidade Através do Sinal de Emissão Acústica**, In: Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 14 st, 2004, Brasil. Anais... Brasil, 2004.

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

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

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

VARASQUIM, F. M. F. A. **Efeitos da granulometria, do desgaste e do tipo de material abrasivo no lixamento plano de madeiras**. 2014. 161 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Unesp, Guaratinguetá, 2014.

VITTORINO, M. A. **Manutenção preditiva: análise de vibração**. 2008. Disponível em: <<http://www.mantenimentomundial.com/sites/mmnew/bib/notas/Apostila.pdf>>. Acesso em: 06 maio 2012.

YILDIZ, S., GEZER, E. D. & YILDIZ, U. C. (2006). Mechanical and chemical behavior of spruce wood modified by heat. *Building and Environment*, 41(12):1762-1766. © 2011 by Taylor & Francis Group, LLC

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.

