

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

ANDRÉ LUIZ DE MACEDO ALMEIDA

**ESTUDO DO FRESAMENTO DE MADEIRAS EM CENTRO
DE USINAGEM CNC**

Itapeva - SP

2013

ANDRÉ LUIZ DE MACEDO ALMEIDA

**ESTUDO DO FRESAMENTO DE MADEIRAS EM CENTRO
DE USINAGEM CNC**

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. Manoel Cléber de Sampaio Alves.

Itapeva - SP
2013

FICHA CATALOGRÁFICA

Almeida, André Luiz de Macedo
A447e Estudo do fresamento de madeiras em centro de usinagem CNC /
André Luiz de Macedo Almeida. -- Itapeva, SP, 2013
103 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Itapeva, 2013

Orientador: Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves

Banca examinadora: Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves;
Prof. Dr. Marcos Tadeu Tiburcio Gonçalves; Prof. Msc. Demétrio Zacarias

Bibliografia

1. Usinagem. 2. Trabalhos em madeira – Ferramentas. 3. Fresadoras. I. Título. II. Itapeva - Curso de Engenharia Industrial Madeireira.

CDD 621.9

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca - UNESP, Câmpus de Itapeva

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus pela minha vida e sabedoria em minhas decisões, além dos desafios, que me fizeram crescer como ser humano que sou.

Aos meus pais, Francisco e Ana que com sua força e humildade me mostraram a importância dos estudos. Meu irmão Daniel, pela sinceridade, minhas irmãs Marta Maria pela gana e leveza nos problemas e minha irmã caçula, Maria Carolina com sua paixão e força, ou seja, por toda minha família pela educação, paciência, e principalmente pelo carinho e amor incondicionais.

Ao meu filho Gabriel Henrique, que mesmo na sua inocência me ajudou demonstrando o quanto posso ser forte e capaz nas minhas escolhas.

A minha companheira, amiga, amante, mulher e ouvinte Marismênia, que nos momentos mais turbulentos esteve presente ao meu lado me dando o suporte que precisei, me compreendendo e me auxiliando com carinho e amor.

Ao meu orientador e amigo, Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves, pela amizade, pelos ensinamentos, paciência, clareza e principalmente pela oportunidade de ter o prazer de me conceber orientação para a realização deste trabalho.

Aos professores doutores Alexandre (Professor Ligerio), Marcos Tadeu e Maria Angélica por me mostrarem que existe grande competência dentro do ensino da UNESP.

Ao meu amigo e colega Carlino, pela grande ajuda e paciência além do tempo disponibilizado e meus grandes amigos da sétima turma, que mostraram que o companheirismo pode sim trazer grandes mudanças dentro do impossível e as risadas e brincadeiras que com toda a certeza trarão saudades eternas.

Aos servidores da UNESP - Campus Experimental de Itapeva, que sempre se dispuseram a ajudar sempre com um sorriso e comprometimento durante minha formação.

À UNESP- Universidade Estadual Paulista, "Júlio de Mesquita Filho", Campus Experimental de Itapeva pela concessão de toda a infraestrutura de seus laboratórios e recursos necessários à realização deste trabalho.

“A nossa maior glória não reside no fato de nunca caímos, mas sim em levantarmo-nos sempre depois de cada queda”

Confúcio

RESUMO

A carência de trabalhos referentes aos processos de usinagem em madeira, dentre eles, o fresamento, assim como o aumento do uso deste material no setor industrial, cria-se a necessidade de se aumentar as pesquisas envolvendo esses processos, pois o setor se encontra em total evolução tecnológica e remodelação socioambiental. O presente trabalho estuda o processo de fresamento de madeiras, apresentando uma análise dos efeitos da velocidade de corte sobre a qualidade superficial através da medição de rugosidade. Foram utilizadas, uma velocidade de avanço, três velocidades de corte, duas espécies de madeira (*Pinus elliottii* e *Eucalyptus grandis*) e duas ferramentas de fresar (desbaste e acabamento) usinando através de fresamento concordante e discordante. Cada condição foi repetida seis vezes, sendo as medidas realizadas no sentido contrário e a favor do corte da ferramenta, gerando resultados dos parâmetros Ra (rugosidade média) totalizando com isso 144 ensaios. Esses resultados foram analisados estatisticamente através de análise de variância e teste de Tukey. Concluiu-se por fim que há diferenças significativas entre os resultados de rugosidade quando se variam as velocidades de corte, tipos de fresas e tipos de usinagem testada.

Palavras-chave: Fresamento. *Pinus elliottii*. *Eucalyptus grandis*. Velocidade de Corte. Rugosidade.

ABSTRACT

The lack of research related to wood machining processes, including the milling, as well as the increased use of this material in the industrial sector, it creates a need to increase research involving these processes, as the sector is in full technological and environmental remodeling. This paper studies the process of milling wood, presenting an analysis of the effects of cutting speed on surface quality by measuring roughness. We used a forward speed three cutting speeds, two species of wood (*Pinus elliottii* and *Eucalyptus grandis*) and two milling tools (roughing and finishing) machined by milling concordant and discordant. Each condition was repeated six times, and the measurements were performed in the opposite direction and in favor of cutting tool, generating results of the parameters Ra (average roughness) totaling 144 trials with it. These results were statistically analyzed using analysis of variance and Tukey test. Finally it was concluded that there are significant differences between the results of varying roughness when cutting speeds, milling and types of machining types tested.

Keywords: Milling. *Pinus elliottii*. *Eucalyptus grandis*. Cutting Speed. Roughness.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Tipos de Fresamento (STOETERAU, Acesso em: 11 mar. 2013).	20
Figura 2. Cabeçote porta-ferramentas (VENSON, 2013).	21
Figura 3. Geometria do Fresamento Discordante. (Norma ABNT 6162/88 in Gonçalves, 2000).	22
Figura 4. Geometria do Fresamento Concordante. (Norma ABNT 6162/88 in Gonçalves, 2000).	23
Figura 5. Percurso de corte (lc), percurso de avanço (lf) e percurso efetivo (le); profundidade de corte (ae), no fresamento discordante (Norma ABNT 6162/88 in Gonçalves, 2000).	24
Figura 6. Avanço por dente (fz), avanço de corte (fc) e avanço efetivo (fe) no fresamento discordante (Norma ABNT 6162/88 in Gonçalves, 2000).	24
Figura 7. O fresamento tangencial e o fresamento frontal (MAIA, 2009).	25
Figura 8. Fresas de perfil constante (SENAI-PR, 2001).	26
Figura 9. Fresas planas (SENAI-PR, 2001).	27
Figura 10. Fresa angular (SENAI-PR, 2001).	27
Figura 11. Fresas para rasgos (SENAI-PR, 2001).	28
Figura 12. Fresa com dentes postigos (Fabricante: SANDVIK, 2013).	29
Figura 13. Fresa reta para Rebaixo (GONÇALVES, 2000).	29
Figura 14. Fresa para ranhura com pré-cortadores (GONÇALVES, 2000).	30
Figura 15. Fresa regulável para ranhura (GONÇALVES, 2000).	31
Figura 16. Fresa de desbaste (INDUFRESA – INDAÇO, 2013).	31
Figura 17. Fresa de acabamento (INDUFRESA – INDAÇO, 2013).	32
Figura 18. Superfícies planas (STOETERAU, Acesso em: 11 mar. 2013).	32
Figura 19. Superfícies circulares (STOETERAU, Acesso em: 11 mar. 2013).	33
Figura 20. Obtenção de roscas (STOETERAU, Acesso em: 11 mar. 2013).	33
Figura 21. Obtenção de superfícies perfiladas (STOETERAU, Acesso em: 11 mar. 2013).	33
Figura 22. Obtenção de cópias de superfícies (STOETERAU, Acesso em: 11 mar. 2013).	34
Figura 23. Rugosidade média e perfil de rugosidade (ISO 4287, 2002).	36
Figura 24. Elementos de máquina da Frezadora (COSTA, 2006).	38
Figura 25. A máquina Furadeira - Fresadora CNC Tech Z1 (Catálogo TECH Z1 2011).	40
Figura 26. Esquema da estrutura da máquina (Catálogo TECH Z1 2011 - adaptado).	41
Figura 27. Plano de eixos utilizado pelo equipamento (Catálogo TECH Z1 2011 - adaptado).	41
Figura 28. Dispositivo com ventosa para a fixação das peças (Catálogo TECH Z1 2011 - adaptado).	41
Figura 29. Armário elétrico G e painel de controle móvel G1 (Catálogo TECH Z1 2011 - adaptado).	42
Figura 30. (a) Unidade de operação e (b) Mandril (Catálogo TECH Z1 2011 - adaptado).	43
Figura 31. Dispositivo lateral de 10 posições (Catálogo TECH Z1 - adaptado).	43
Figura 32. Armário Elétrico (SCM GROUP S.P.A – Manual de Instruções, 2011).	44
Figura 33. Zonas de Usinagem (SCM GROUP S.P.A – Manual de Instruções, 2011).	45
Figura 34. Painel de Madeira de sarrafos.	47
Figura 35. Pré-corpos de prova para Usinagem: a) Eucalipto e b) Pinus.	48
Figura 36. Painel usinado com os seis trechos de medidas iguais.	49
Figura 37. Corpo de Prova.	49
Figura 38. Usinagem das peças.	50

Figura 39. Serra circular seccionadora – marca e modelo.....	52
Figura 40. Serra Esquadrejadeira - marca e modelo.	53
Figura 41. Furadeira – Fresadora CNC Tech Z1 (SCM GROUP S.P.A – Manual de Instruções, 2011).....	53
Figura 42. Dados Técnicos Gerais (SCM GROUP S.P.A – Manual de Instruções, 2011).....	54
Figura 43. Software Xilog Plus.....	55
Figura 44. Programa de Comando Numérico de base para os ensaios.....	56
Figura 45. Fresa de desbaste (Fabricante: CMT).	57
Figura 46. Fresa de acabamento (Fabricante: CMT).	58
Figura 47. Rugosímetro Modelo SURTRONIC 25+; marca TAYLOR HOBSON.	59
Figura 48. Haste de medição.....	60
Figura 49. Ponta apalpadora cone-esférico de diamante.....	60
Figura 50. Painéis de sarrafos de eucalipto e pinus escolhidos.....	62
Figura 51. Parâmetros adotados no software Xilog Plus.....	63
Figura 52. Posicionamento da peça na CNC.....	64
Figura 53. Laterais fresadas das peças retangulares.....	64
Figura 54. a) Peça sendo seccionadas; b) peça com a lateral cortada.....	65
Figura 55. a) Laterais cortadas; b) Corpos de prova sendo cortados na esquadrejadeira.....	65
Figura 56. Gráfico de Médias e desvio padrão.....	68
Figura 57. Gráfico de Médias e desvio padrão.....	69
Figura 58. Gráfico de Médias e desvio padrão.....	70
Figura 59. Redução da rugosidade superficial com o aumento da velocidade de corte (Adaptado – Korkut e Dornetas, 2005).....	70
Figura 60. Parâmetros de rugosidade superficial em função da velocidade de corte (Pinho Scotch – adaptado por Magoss, 2008).....	71
Figura 61. Gráfico da influência do sentido de corte na rugosidade superficial Ra (CASTRO e GONÇALVES, 1998).....	72
Figura 62. Gráfico da Rugosidade Média (Ra) em função da usinagem para cada sentido de medição.	73
Figura 63. Gráfico da Rugosidade Média (Ra) em função da usinagem para cada sentido de medição.....	74
Figura 64. Gráfico da Rugosidade Média (Ra) em função da usinagem para cada sentido de medição.	75
Figura 65. Gráfico da Rugosidade Média (Ra) em função da usinagem para cada sentido de medição.	76
Figura 66. Gráfico da Rugosidade Média (Ra) em função da usinagem para cada sentido de medição.	77
Figura 67. Gráfico da Rugosidade Média (Ra) em função da usinagem para cada sentido de medição.....	78
Figura 68. Gráfico da Rugosidade Média (Ra) em função da usinagem para cada sentido de medição.	79
Figura 69. Gráfico da Rugosidade Média (Ra) em função da usinagem para cada sentido de medição.	80
Figura 70. Gráfico da Rugosidade Média (Ra) em função da usinagem para cada sentido de medição.	81
Figura 71. Gráfico da Rugosidade Média (Ra) em função da usinagem para cada sentido de medição.....	82
Figura 72. Gráfico da Rugosidade Média (Ra) em função da usinagem para cada sentido de medição.	83
Figura 73. Gráfico da Rugosidade Média (Ra) em função da usinagem para cada sentido de medição.	84
Figura 74. Gráfico da Rugosidade Média (Ra) em função das velocidades de corte para cada espécie.....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Critérios de classificação do fresamento. (HIOKI, 2006 – Adaptado).	21
Tabela 2. Medidas dos Pré-corpos de prova.	48
Tabela 3. Parâmetros utilizados	59
Tabela 4. Grupos e seus conjuntos.	61
Tabela 5. Resultados de densidade aparente para as madeiras de eucalipto e pinus.	66
Tabela 6. Dados Eucalipto.	66
Tabela 7. Dados Pinus.	67
Tabela 8. Valores médios de rugosidade e de seus respectivos desvios padrão para cada Grupo na velocidade de corte 1.	67
Tabela 9. Valores médios de rugosidade e de seus respectivos desvios padrão para cada Grupo na velocidade de corte 2.	68
Tabela 10. Valores médios de rugosidade e de seus respectivos desvios padrão para cada Grupo na velocidade de corte 3.	69
Tabela 11. Teste de Tukey.	85

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVO.....	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	PROCESSOS DE USINAGEM.....	17
2.2	FRESAMENTO	17
2.3	FRESAMENTO NA MADEIRA	20
2.3.1	Fresamento Discordante	21
2.3.2	Fresamento Concordante	22
2.4	FRESAS.....	26
2.4.1	Fresa de perfil constante	26
2.4.2	Fresa plana	27
2.4.3	Fresa angular	27
2.4.4	Fresa para rasgos	28
2.4.5	Fresa de dentes postiços.....	28
2.4.6	Fresa reta para Rebaixo	29
2.4.7	Fresa para ranhura com pré-cortadores	30
2.4.8	Fresa regulável para ranhura	30
2.4.9	Fresa para desbaste	31
2.4.10	Fresa de acabamento	32
2.5	GEOMETRIAS OBTIDAS NO FRESAMENTO	32
2.6	ACABAMENTO SUPERFICIAL	34
2.6.1	Rugosidade	35
2.7	MÁQUINAS CNC	37
2.7.1	Fresadora CNC.....	37
2.7.2	A Máquina Furadeira – Fresadora CNC Tech Z1.....	39
2.8	A MADEIRA DE EUCALIPTO GRANDIS (<i>Eucalyptus grandis</i>).....	45
2.9	A MADEIRA DE PINUS ELIOTI (<i>Pinus elliottii</i>).....	45
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	47
3.1	AS PEÇAS DE MADEIRA.....	47

3.2	A USINAGEM	50
3.3	CÁLCULO DAS DENSIDADES APARENTE DAS PEÇAS EM MADEIRA	51
3.4	CÁLCULO DA VELOCIDADE DE CORTE (V_c)	51
3.5	MÁQUINAS UTILIZADAS	52
3.5.1	Serra circular seccionadora e Serra esquadrejadeira	52
3.5.2	Máquina CNC	53
3.6	FERRAMENTAS UTILIZADAS	57
3.6.1	Fresa de desbaste	57
3.6.2	Fresa de acabamento	58
3.7	MEDIÇÃO DA RUGOSIDADE	59
3.8	PROCEDIMENTO DE DADOS	60
3.9	PROCEDIMENTOS DE ENSAIO	62
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	66
4.1	CÁLCULO DAS DENSIDADES APARENTE DAS PEÇAS EM MADEIRA	66
4.2	MADEIRA DE EUCALIPTO	66
4.3	MADEIRA DE PINUS	67
4.4	RESULTADOS DAS MÉDIAS E DESVIOS PADRÃO.	67
4.4.1	Velocidade de corte 1	67
4.4.2	Velocidade de corte 2	68
4.4.3	Velocidade de corte 3	69
4.5	RESULTADO DA ANÁLISE DOS GRUPOS	72
4.5.1	Eucalipto utilizando fresa de desbaste ($V_c=33,49$ m/s) Grupo A	72
4.5.2	Eucalipto utilizando fresa de acabamento ($V_c=33,49$ m/s) Grupo B	73
4.5.3	Pinus utilizando fresa de desbaste ($V_c=33,49$ m/s) Grupo C	74
4.5.4	Pinus utilizando fresa de acabamento ($V_c=33,49$ m/s) Grupo D	75
4.5.5	Eucalipto utilizando fresa de desbaste ($V_c=29,31$ m/s) Grupo E	76
4.5.6	Eucalipto utilizando fresa de acabamento ($V_c=29,31$ m/s) Grupo F	77
4.5.7	Pinus utilizando fresa de desbaste ($V_c=29,31$ m/s) Grupo G	78
4.5.8	Pinus utilizando fresa de acabamento ($V_c=29,31$ m/s) Grupo H	79
4.5.9	Eucalipto utilizando fresa de desbaste ($V_c=25,12$ m/s) Grupo I	80
4.5.10	Eucalipto utilizando fresa de acabamento ($V_c=25,12$ m/s) Grupo J	81

4.5.11	Pinus utilizando fresa de desbaste ($V_c=25,12$ m/s) Grupo K	82
4.5.12	Pinus utilizando fresa de acabamento ($V_c=25,12$ m/s) Grupo L.....	83
4.5.13	Eucalipto x Pinus	84
4.6	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	86
4.6.1	Entre grupos	86
4.6.2	Entre espécies de madeira	86
5	CONCLUSÃO	87
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
7	ANEXO A.....	94
7.1	MATRIZ DE DADOS	94
7.1.1	Velocidade de Corte 1 (V_{c1}) – 4000 rpm	94
7.1.2	Velocidade de Corte 2 (V_{c2}) – 3500 rpm	96
7.1.3	Velocidade de Corte 3 (V_{c3}) – 3000 rpm	98
7.2	ANÁLISES DE VARIÂNCIA DOS GRUPOS	100
7.2.1	Grupo A	100
7.2.2	Grupo B	100
7.2.3	Grupo C	100
7.2.4	Grupo D	100
7.2.5	Grupo E	101
7.2.6	Grupo F.....	101
7.2.7	Grupo G	101
7.2.8	Grupo H	101
7.2.9	Grupo I.....	101
7.2.10	Grupo J	102
7.2.11	Grupo K	102
7.2.12	Grupo L.....	102

1 INTRODUÇÃO

A indústria da madeira, classificada em muitas citações como a indústria da transformação, exibe a cada ano uma constante influência no desenvolvimento social e econômico em todos os países, conforme estudos do setor e da gama de produtos ofertados no mercado nacional e internacional. Além de usar recursos renováveis, como a madeira em si, utiliza o uso de tecnologias limpas e inovadoras transpondo a ideia errada de degradação das florestas.

Observando com atenção a demanda de produtos de madeira industrializados, a indústria madeireira é de vital importância para o desenvolvimento das empresas, necessitando cada vez mais de profissionais como, por exemplo, o profissional engenheiro industrial madeireiro, que como o setor, também é uma inovação na classe de engenharia que desempenha atividades nesta área através de conhecimentos mais aprofundados dos processos referentes à produção, projetos industriais, manutenção, gerenciamento da empresa entre outros.

O setor madeireiro atualmente mostra que as empresas veem aplicando em seus orçamentos, inovações tecnológicas que visam à melhoria da competitividade no mercado, não focando diretamente na economia (crise mundial ou a queda do dólar), pois isso é percebido como não sendo o mais importante fator para uma empresa manter-se ativa dentro do mercado.

Dentre essas inovações, a usinagem, é uma das mudanças mais notáveis dentre os processos, pois é nítido o desenvolvimento de máquinas antes operadas manualmente, em máquinas automáticas que proporcionam a automação dos processos produzindo melhores qualidades superficiais das peças usinadas produzindo mais rapidamente. Dentre esses processos de usinagem, os mais citados são o torneamento e o fresamento, utilizando principalmente máquinas CNC (Comando Numérico Computadorizado).

Dentre os processos, o fresamento é considerado como um método de alta precisão, além da exigência maior dentro da usinagem de madeiras, por exemplo, painéis aglomerados e MDF (Medium Density Fiberboard) são feitos atualmente por ferramentas de fresar, o que é muito empregado nas indústrias de móveis. Contudo existem poucos trabalhos específicos tratando deste processo.

Dessa forma, o incentivo e o aumento de referências através de análises, pesquisas e trabalhos, proporcionaram futuros trabalhos tratando deste processo.

Este trabalho tem como alvo, a análise de fresamento em uma máquina CNC, coletando dados através de ensaios e relacionando as comparações das variáveis cabíveis ao processo, determinando com isso, a qualidade superficial através da medição da rugosidade das peças de madeira extraídas de árvores de eucalipto grandis (*Eucalyptus grandis*) e pinus elioti (*Pinus elliottii*). Essas espécies foram utilizadas devidas apresentarem uma ampla utilização no setor madeireiro e por serem de crescimento relativamente rápido.

1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi analisar o processo de fresamento do pinus elioti e do eucalipto grandis, através da utilização de uma máquina CNC (comando numérico computadorizado), verificando a influência da velocidade de corte, do tipo de usinagem (concordante e discordante) e do tipo de ferramenta de fresar (acabamento e desbaste) sobre a qualidade superficial das peças usinadas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PROCESSOS DE USINAGEM

A usinagem está presente na fabricação de diversos produtos que são industrializados, sendo que dentro do seu processo, é certo dizer que em algum momento ou etapa de produção ele será usinado. A compreensão dos conceitos desses processos e as suas variáveis tornam-se imprescindíveis para uma melhor visão de mercado e qualidade dos produtos dentro do âmbito industrial.

Segundo Costa (2006), a usinagem é uma operação que visa à geração de dimensão, forma e acabamento, ou a combinação dessas características em uma peça produzindo cavaco. Entendendo-se cavaco como uma porção de material de uma peça que é retirada através de uma ferramenta de forma geométrica.

As publicações citam por diversas vezes que a usinagem já foi um processo manual dentro da fabricação de peças usinadas e os resultados dependiam unicamente do profissional e sua habilidade referente ao processo descrito. Atualmente os processos mais utilizados são os convencionais como torneamento, fresamento, entre outros, podendo ser manual ou automático, através de Comandos Numéricos Computadorizados (CNC).

2.2 FRESAMENTO

O fresamento é um processo de usinagem onde é feita a remoção de material de uma determinada peça de modo não contínuo, por movimento rotativo de uma ferramenta multicortante de muitos dentes de corte, obtendo com isso superfícies de várias formas (STEMMER, 1992).

Diniz, Marcondes, Coppini (2001) definem o fresamento como uma operação de Usinagem que se caracteriza por:

- A ferramenta, chamada fresa, é provida de arestas cortantes dispostas simetricamente em torno de um eixo;
- O movimento de corte é proporcionado pela rotação da fresa ao redor do seu eixo;

- O movimento de avanço é geralmente feito pela própria peça em usinagem, que está fixada na mesa da máquina, o qual obriga a peça a passar sob a ferramenta em rotação, que lhe dá forma e dimensão desejadas.

Segundo Ferraresi (1995) o fresamento é um processo mecânico de usinagem destinado à obtenção de superfícies com o auxílio de ferramentas multicortantes. Onde a ferramenta gira e a peça ou ferramenta se deslocam segundo uma trajetória qualquer. Distinguem-se dois tipos básicos de fresamento:

- Fresamento tangencial - processo de fresamento destinado à obtenção de superfície plana paralela ao eixo de rotação da ferramenta. Quando a superfície obtida não for plana ou o eixo de rotação da ferramenta for inclinado em relação à superfície originada na peça, será considerado um processo especial de fresamento tangencial;
- Fresamento frontal - processo de fresamento destinado à obtenção de superfície plana perpendicular ao eixo de rotação da ferramenta.

Para Souza Júnior (2001), as principais diferenças entre o fresamento e outros processos de usinagem são:

- Corte alternado do dente de corte da fresa, entrando e saindo da peça, ou seja, durante um giro ela apresenta um ciclo ativo (efetivamente em corte) e outro inativo (movimento sem corte).
- Por apresentar este ciclo, o tamanho de seus cavacos é curto, pois cada inserto da ferramenta mantém um contato curto com a peça.
- A variação da espessura do cavaco, para cada inserto da ferramenta, uma vez que o avanço se dá pela peça o que faz com que a massa de entrada de corte da ferramenta seja diferente da massa de saída.

Assim, dispondo de diversas ferramentas, apresenta-se tal grau de complexidade maior em relação ao torneamento, por exemplo, pois apresenta fatores que influenciam o corte. As condições de corte utilizadas no fresamento são

os principais responsáveis por se obter um bom acabamento superficial, aumentar a vida da ferramenta, evitando com isso maiores erros de forma, preservando a máquina (MAIA, 2009).

E ainda continuando, Souza Júnior (2001), diz que as condições de corte que influenciam diretamente a qualidade da peça são:

- Velocidade de corte (m/min): é a velocidade tangencial com que o diâmetro externo da fresa percorre a peça de trabalho, sendo que este diâmetro é a medida entre as arestas de cortes opostas linearmente.
- Velocidade de avanço da mesa (mm/min): é a relação entre a distância percorrida a cada minuto de peça em relação à ferramenta.
- Avanço por rotação (mm/rev): é a distância percorrida pela peça (mesa de trabalho) para cada rotação da fresa.
- Avanço por dente (mm/rev): é a distância percorrida pela mesa de trabalho para cada rotação da mesa dividido pelo número de dentes da fresa.
- Profundidade de corte (mm): é a largura de penetração da ferramenta da peça, medido numa direção perpendicular ao plano de trabalho, ou seja, é a profundidade com que a ferramenta de corte cortará a peça.
- Penetração de trabalho (mm): é a penetração da ferramenta em relação à peça, medido no plano de trabalho e numa direção perpendicular à direção de avanço.
- Penetração de avanço (mm): é a penetração da ferramenta medida no plano de trabalho e na direção de avanço

A seguir são demonstrados na Figura 1 alguns tipos de Fresamento.



Figura 1. Tipos de Fresamento (STOETERAU, Acesso em: 11 mar. 2013).

2.3 FRESAMENTO NA MADEIRA

Gonçalves (2000) descreve que o processo de usinagem de fresamento no caso de madeiras, pode ser chamado de aplainamento, onde é feita a remoção de excesso de madeira de uma peça formando cavacos que são formados a partir do contato da peça com a ferramenta utilizada. Essa ferramenta pode ter uma ou mais facas que giram na porta-ferramentas, como na Figura 2.

O conjunto do cabeçote porta-ferramentas com as lâminas de corte, mais os suportes de fixação e quebra cavacos, é de uso universal em máquinas de beneficiamento da madeira no processo de aplainamento e fresamento na mais variadas formas (rasgos, rebaixos, chanfros, molduramento em perfis, etc). Atualmente utilizam-se ferramentas de um único corpo (fresas) mono ou multicortantes, com pastilhas ou lâminas de corte fixa no corpo da fresa ou intercambiáveis (GONÇALVES, 2000, 34p.).

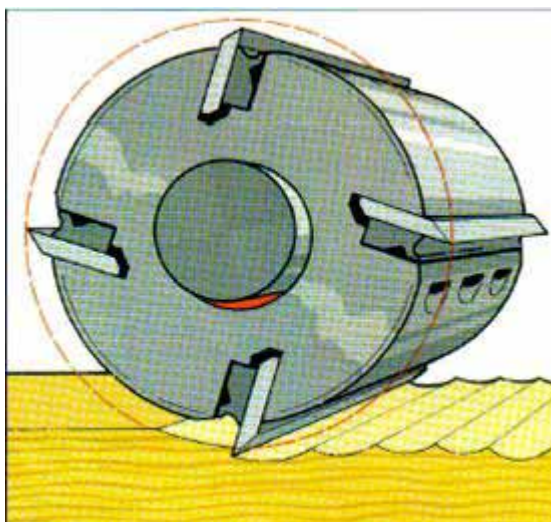


Figura 2. Cabeçote porta-ferramentas (VENSON, 2013).

O fresamento pode ser classificado segundo os critérios da Tabela 1, a seguir:

Tabela 1. Critérios de classificação do fresamento. (HIOKI, 2006 – Adaptado).

Forma de ferramenta e cinemática	Plano Circular Geração Forma perfil
Sentido de rotação e avanço da peça	Concordante Discordante
Disposição da aresta ativa	Tangencial Frontal (arestas secundárias)

2.3.1 Fresamento Discordante

O corte discordante se caracteriza pelo caso do ângulo de direção de avanço (φ) iniciar-se com o valor zero e chegar a um valor máximo no fim do passe da aresta de corte. No corte discordante, o sentido do movimento de avanço é contrário ao sentido do movimento da fresa. No fresamento discordante a espessura de corte aumenta progressivamente de zero até um valor máximo. No início do corte, quando a ferramenta toca a peça, essa é forçada para dentro da peça, gerando atrito, o que faz com que haja deformação plástica neste local ao invés da

formação de cavaco propriamente dita, e altas temperaturas. Por ser um corte intermitente, a aresta de corte pode encontrar nessa região uma superfície encruada pelo passe da aresta anterior, o que favorece bastante o aumento do desgaste da ferramenta. Vencidos estes empecilhos, o corte começa a retirar material da peça e no começo desta operação, a componente vertical da força de usinagem tende a afastar a ferramenta da peça e empurra a peça contra a mesa da máquina, enquanto que no final da operação de um dente, a aresta tende a retirar a peça da mesa (DINIZ *et al.*, 2001).

Gonçalves (2000) apresenta na Figura 3 o fresamento discordante e suas terminologias, segundo a Norma 6162/88, adotadas para usinagem de metais e que convém como gabarito para madeiras.

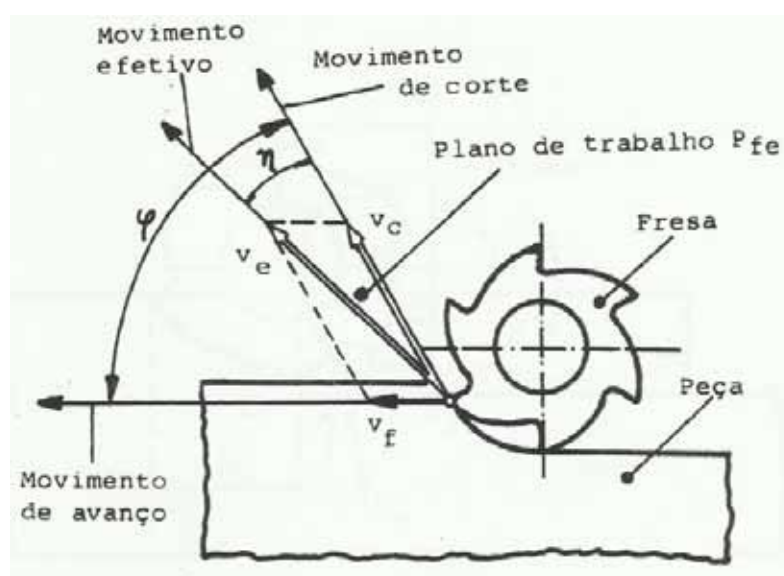


Figura 3. Geometria do Fresamento Discordante. (Norma ABNT 6162/88 in Gonçalves, 2000).

2.3.2 Fresamento Concordante

O corte concordante se caracteriza pelo ângulo (ϕ) se iniciar com um valor máximo e decrescer até zero no fim do corte de uma aresta (Figuras 6 e 7). No corte concordante o movimento de avanço da mesa apresenta o mesmo sentido que o movimento rotatório da ferramenta. Neste tipo de fresamento, a componente

vertical de usinagem apresenta a mesma direção em todo o corte, ou seja, empurrando a peça em direção à mesa. Isto diminui vários inconvenientes em relação ao corte discordante. Existem ainda alguns inconvenientes neste tipo de usinagem. Como o início do corte se dá arrancando a máxima seção transversal de corte, muita força é dispensada no início do corte, fato que é altamente ampliado em usinagem de materiais duros, o que pode favorecer quebras e diminuição da vida da ferramenta. Outro problema advém do fato de que a força de avanço ocorre sempre no mesmo sentido do deslocamento. Como a força resultante sobre a fresa varia em módulo, a força resultante sobre o fuso variará em módulo e direção fazendo com que ocorram vibrações (DINIZ *et al.*, 2001).

Gonçalves (2000) apresenta também a Figura 4, que demonstra o fresamento concordante e suas terminologias, segundo a Norma 6162/88, adotadas para usinagem de metais e que convém como gabarito para madeiras.

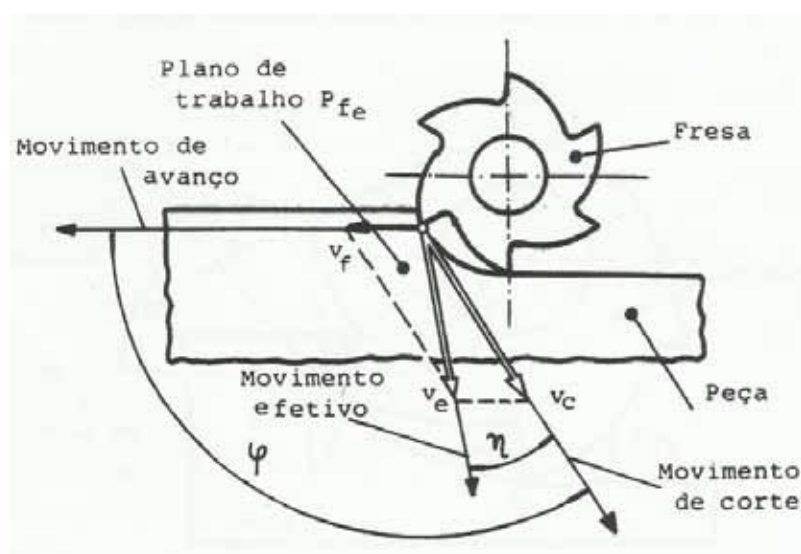


Figura 4. Geometria do Fresamento Concordante. (Norma ABNT 6162/88 in Gonçalves, 2000).

Gonçalves (2000) por fim, apresentam nas Figuras 5 e 6, os movimentos no processo de fresamento periférico segundo a Norma 6162/88.

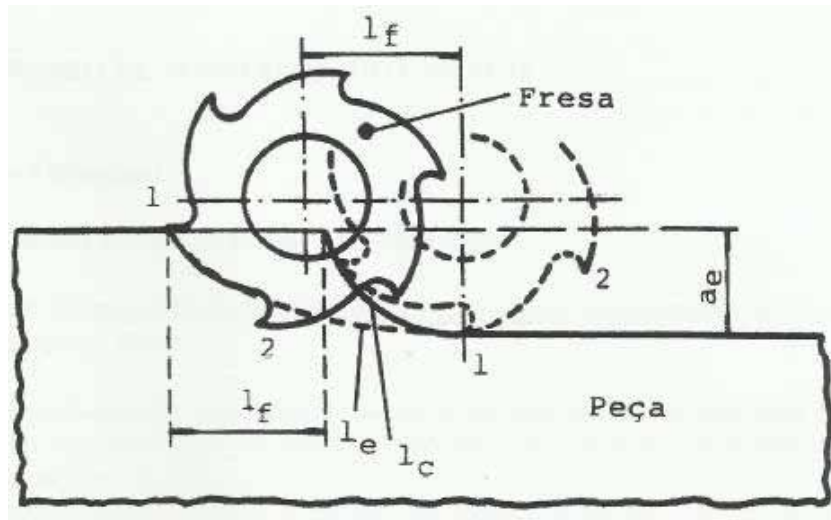


Figura 5. Percurso de corte (l_c), percurso de avanço (l_f) e percurso efetivo (l_e); profundidade de corte (a_e), no fresamento discordante (Norma ABNT 6162/88 in Gonçalves, 2000).

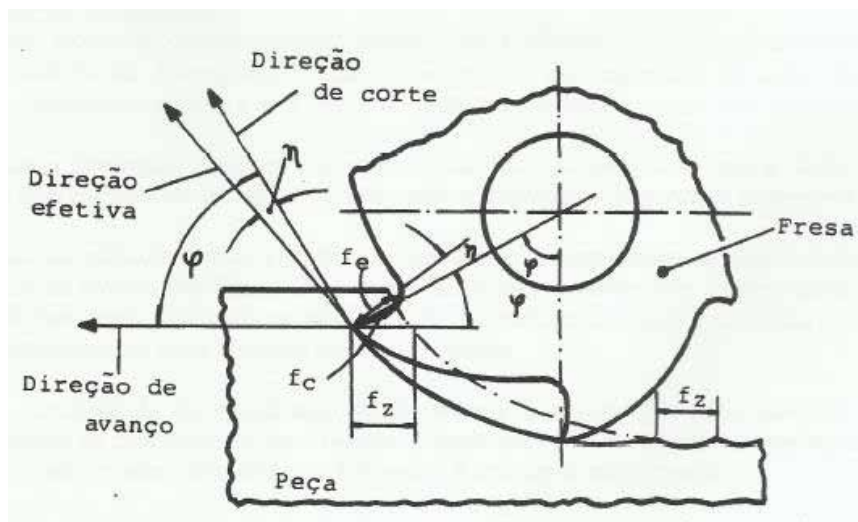


Figura 6. Avanço por dente (f_z), avanço de corte (f_c) e avanço efetivo (f_e) no fresamento discordante (Norma ABNT 6162/88 in Gonçalves, 2000).

Onde:

P_{fe} = Plano de trabalho é o plano que passando pelo plano de corte escolhido contém as direções de corte e avanço.

V_c = Velocidade de corte (m/s).

V_e = Velocidade efetiva (m/s).

V_f = Velocidade de avanço (m/min).

η = Ângulo de direção efetiva.

ϕ = Ângulo de direção de avanço.

Das relações geométricas, tem-se: $V_f = f_z \cdot Z \cdot n$

Onde $f_z \cdot Z = f$ Logo: $V_f = f \cdot n$

Sendo: $f_z =$ Avanço por dentes da ferramenta (mm/rot)

$Z =$ Número de dentes da ferramenta

$N =$ Rotação da ferramenta (rpm)

$F =$ Avanço da peça (mm/min).

Fresamento Tangencial e Frontal

Maia (2009) descreve o fresamento tangencial caracterizado por uma operação na qual os dentes ativos se encontram localizado na superfície cilíndrica da ferramenta. A superfície funcional de engenharia gerada por este tipo de fresamento se encontra paralela ao eixo da ferramenta. As fresas que fazem este tipo de corte são chamadas de fresas cilíndricas ou tangenciais (Figura 7) e também descreve o fresamento frontal caracterizado como sendo aquele no qual os dentes ativos da fresa estão na superfície frontal da ferramenta. A superfície gerada por este tipo de fresamento se encontra perpendicular ao eixo da ferramenta. Fresas que fazem este tipo de corte são conhecidas como fresa de topo ou frontais (Figura 7).

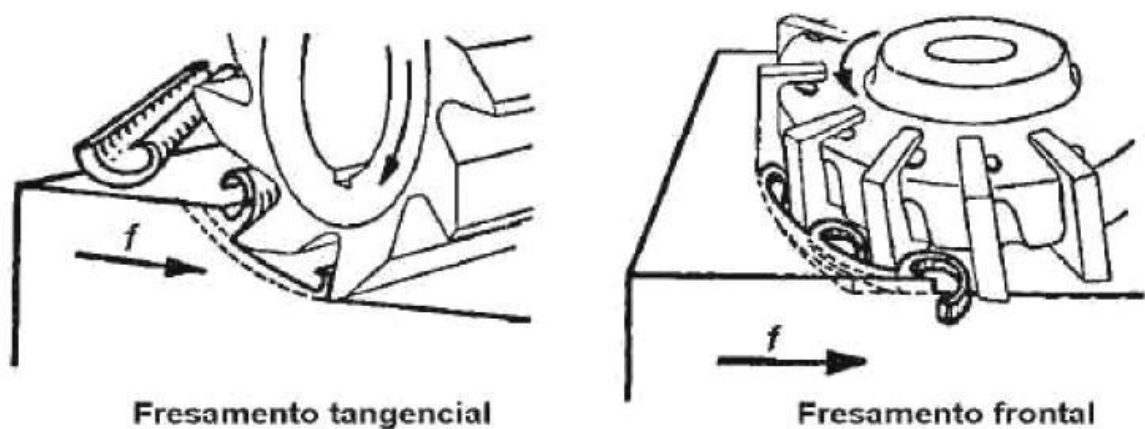


Figura 7. O fresamento tangencial e o fresamento frontal (MAIA, 2009).

2.4 FRESAS

Segundo Stemmer (1992), fresa é a ferramenta empregada na fresadora para usinagem de peças. É uma ferramenta rotativa, provida de múltiplos dentes dispostos simetricamente ao redor de um eixo, onde remove material de uma peça. A seguir, alguns exemplos das fresas mais utilizadas dentro do processamento de madeira.

2.4.1 Fresa de perfil constante

Empregadas para abrir canais, superfícies côncavas e convexas ou gerar engrenagens entre outras operações. Alguns tipos e aplicações a seguir na Figura 8.

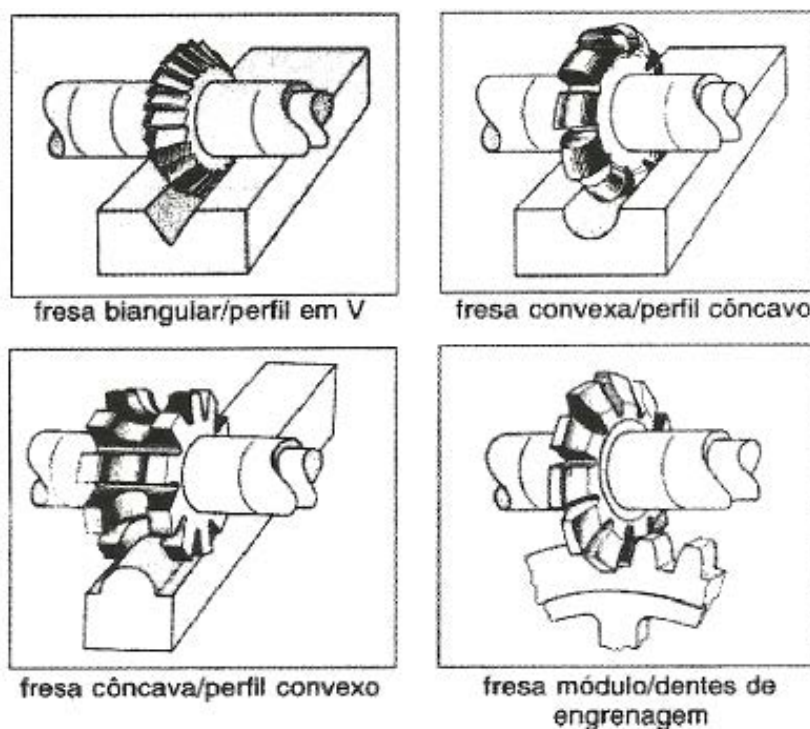


Figura 8. Fresas de perfil constante (SENAI-PR, 2001).

2.4.2 Fresa plana

Utilizadas para usinar superfícies planas, abrindo rasgos ou canais, alguns tipos e aplicações a seguir, na Figura 9.

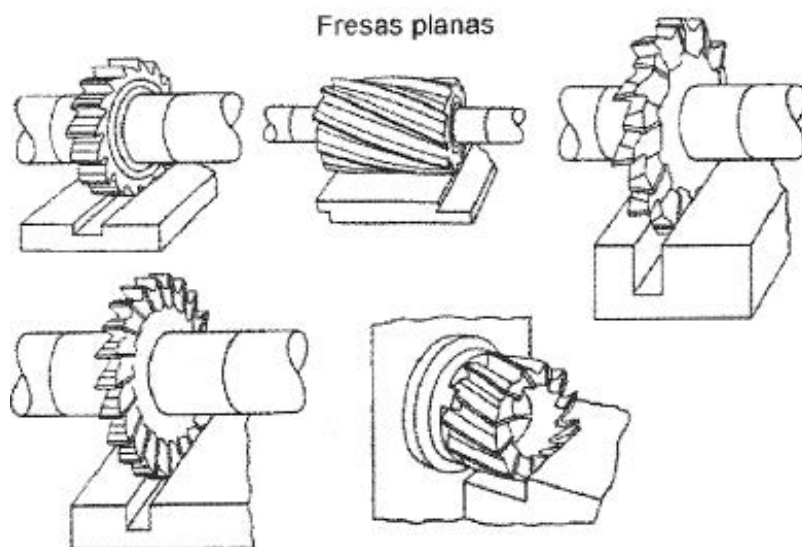


Figura 9. Fresas planas (SENAI-PR, 2001).

2.4.3 Fresa angular

Utilizadas para usinar perfis em ângulos, como rasgos prismáticos e encaixes tipo rabo-de-andorinha, a seguir na Figura 10.

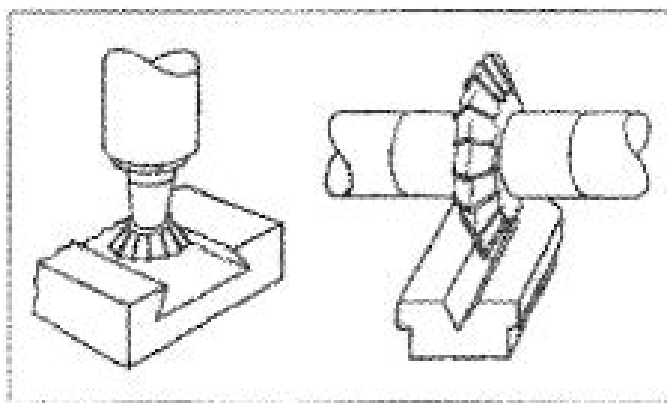


Figura 10. Fresa angular (SENAI-PR, 2001).

2.4.4 Fresa para rasgos

São utilizadas para rasgos de chavetas, ranhuras retas ou perfis T, como das mesas das fresadoras e furadeiras, a seguir na Figura 11.

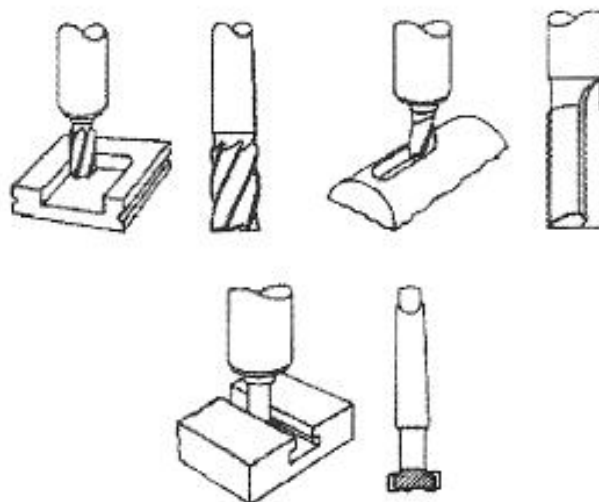


Figura 11. Fresas para rasgos (SENAI-PR, 2001).

2.4.5 Fresa de dentes postiços

Constituídas de um corpo de aço no qual são montados dentes, que podem ser de dois tipos

- Inteiriços, de aço rápido;
- Constituídos de uma haste (cabo) com pastilha de metal duro soldada ou fixada mecanicamente.

A figura 12 demonstra as fresas.

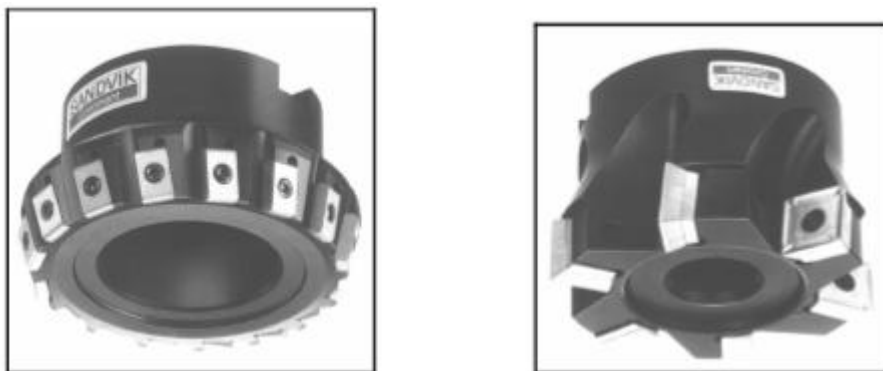


Figura 12. Fresa com dentes postiços (Fabricante: SANDVIK, 2013).

2.4.6 Fresa reta para Rebaixo

Dados Técnicos:

- Diâmetro = 120 mm
- Espessura = 20 a 50 mm
- Material = Aço rápido ou metal duro
- Número de dentes = 4

A Figura 13 apresenta a fresa.

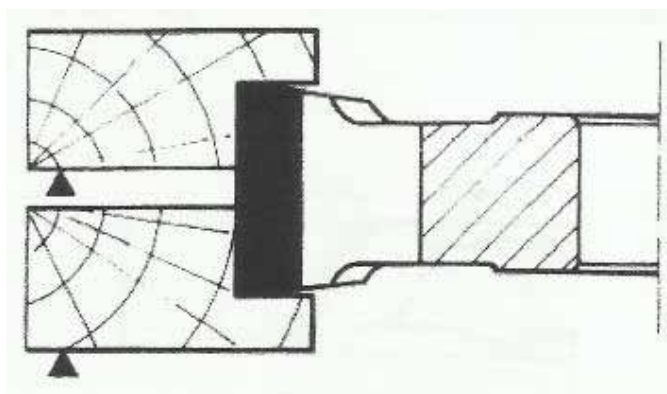


Figura 13. Fresa reta para Rebaixo (GONÇALVES, 2000).

2.4.7 Fresa para ranhura com pré-cortadores

Dados Técnicos:

- Diâmetro = 120 mm
- Espessura = 3,5 a 15 mm
- Material = Aço rápido ou metal duro
- Número de dentes = 3 retos, 6 alternados

A Figura 14 apresenta a fresa.

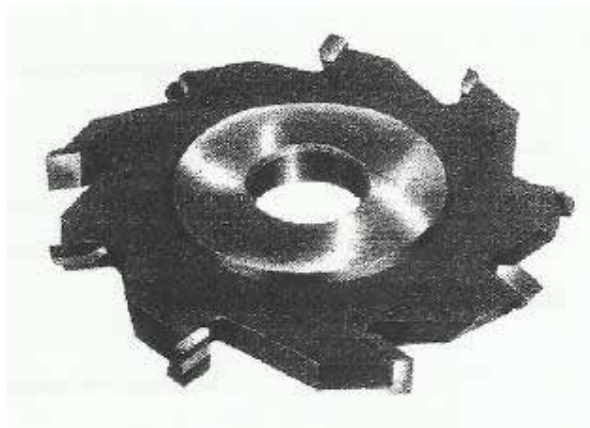


Figura 14. Fresa para ranhura com pré-cortadores (GONÇALVES, 2000).

2.4.8 Fresa regulável para ranhura

Dados Técnicos:

- Diâmetro = 150 mm
- Espessura = 3,5 a 5,5 até 10 a 19,5 mm
- Material = Aço rápido ou metal duro
- Número de dentes = 4 retos, 4 alternados

A Figura 15 apresenta a fresa.

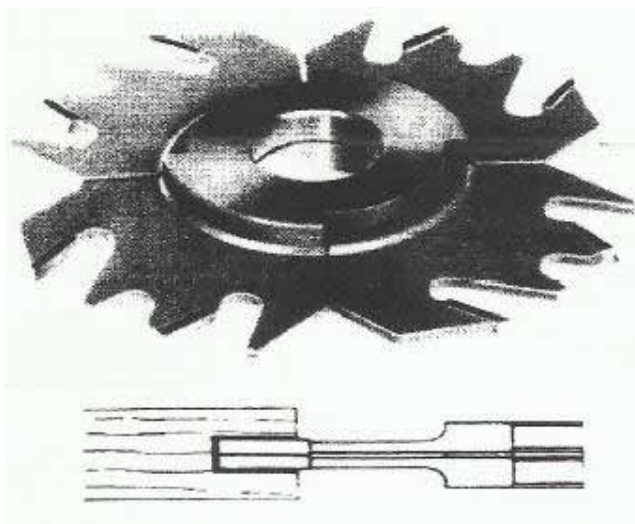


Figura 15. Fresa regulável para ranhura (GONÇALVES, 2000).

2.4.9 Fresa para desbaste

Segue as especificações do fabricante da fresa de desbaste na Figura 16 a seguir:

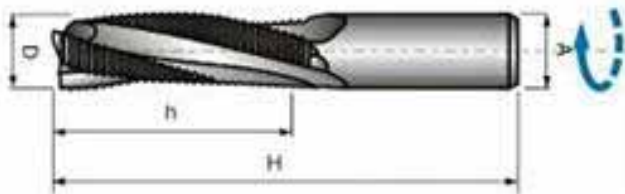


Figura 16. Fresa de desbaste (INDUFRESA – INDAÇO, 2013).

2.4.10 Fresa de acabamento

Segue na figura 17 a fresa de acabamento a seguir.

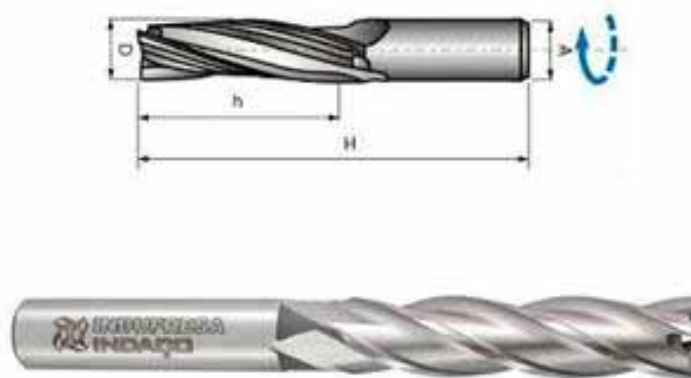


Figura 17. Fresa de acabamento (INDUFRESA – INDAÇO, 2013).

2.5 GEOMETRIAS OBTIDAS NO FRESAMENTO

Nas Figuras de 18 a 22 são mostradas as geometrias obtidas no fresamento.

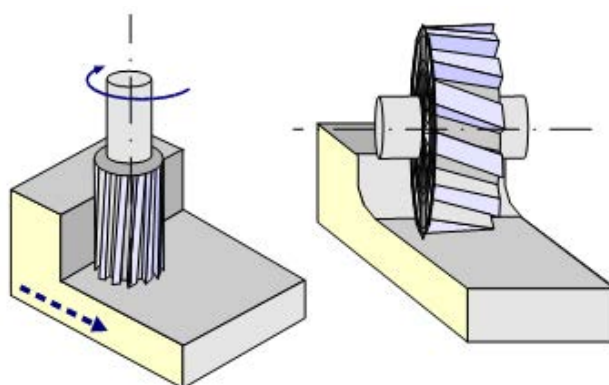


Figura 18. Superfícies planas (STOETERAU, Acesso em: 11 mar. 2013).

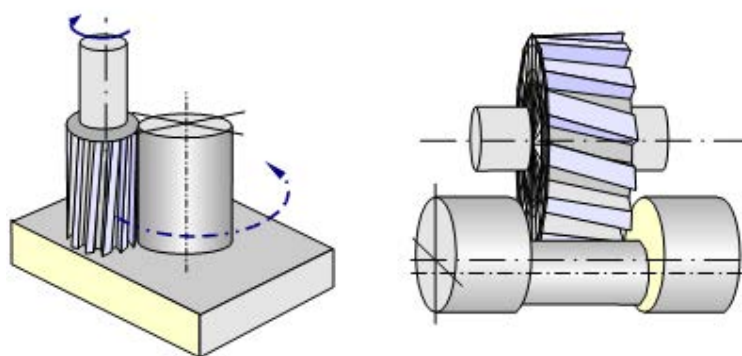


Figura 19. Superfícies circulares (STOETERAU, Acesso em: 11 mar. 2013).

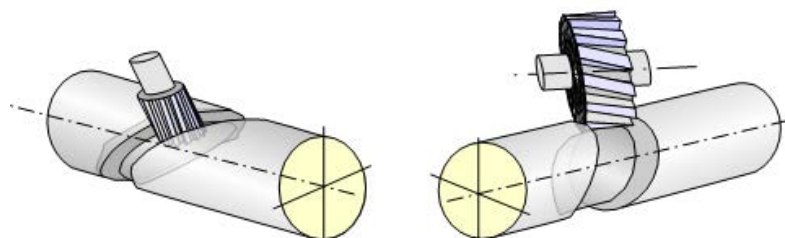


Figura 20. Obtenção de roscas (STOETERAU, Acesso em: 11 mar. 2013).

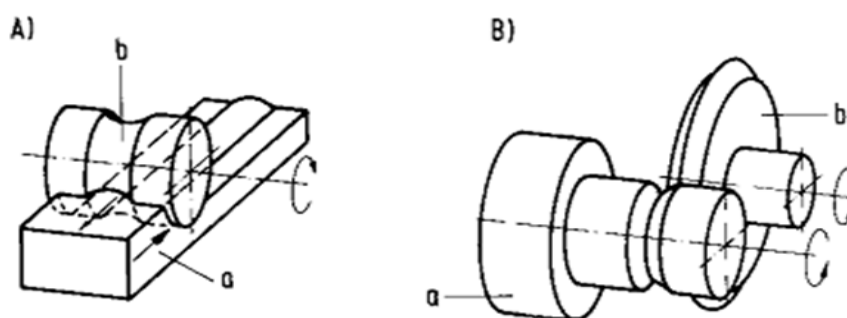


Figura 21. Obtenção de superfícies perfiladas (STOETERAU, Acesso em: 11 mar. 2013).

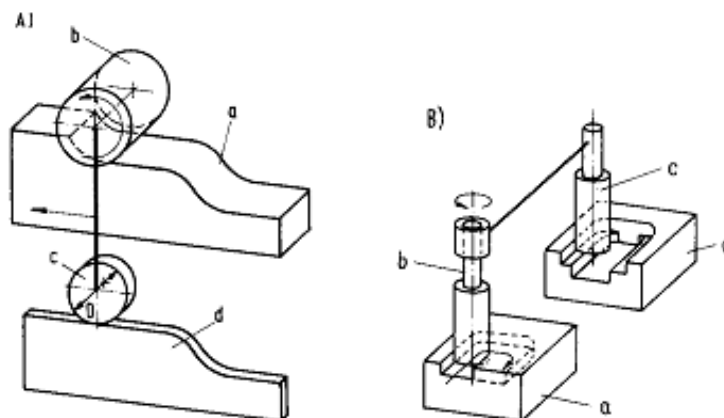


Figura 22. Obtenção de cópias de superfícies (STOETERAU, Acesso em: 11 mar. 2013).

2.6 ACABAMENTO SUPERFICIAL

As superfícies de peças, quando observadas de perto, em detalhes mostram que apresentam sempre após um tipo de usinagem, irregularidades. Estas por si causam imperfeições ou marcas deixadas pela ferramenta de corte que atuam sobre tal superfície da peça. Partindo disso vê-se a importância do estudo do acabamento superficial na medida da necessidade de precisão, que aumenta com a funcionalidade das peças (PALMA, 2006).

O acabamento da superfície é um importante parâmetro para avaliar a produtividade de máquinas-ferramentas, assim como componentes usinados, pois o comportamento das partes mecânicas depende de uma boa qualidade de superfície para uma funcionalidade adequada. (BERNARDOS E VOSNIAKOS, 2003).

As indústrias vêm dando grande importância ao acabamento superficial e precisão dimensional das peças usinadas. Portanto, medir e caracterizar o acabamento das superfícies torna-se o diferencial no processo de usinagem (REDDY E RAO, 2005).

O acabamento superficial é fundamental onde houver desgaste, atrito, corrosão, aparência, resistência à fadiga, transmissão de calor, propriedades óticas, escoamento de fluidos e superfícies de medição (blocos-padrão, micrômetros, paquímetros, etc.). O acabamento superficial é medido através da rugosidade superficial, a qual é expressa em micron (PALMA, 2006).

2.6.1 Rugosidade

A rugosidade consiste em uma soma de irregularidades, com espaçamento regular ou irregular, que tendem a formar um padrão ou textura característicos em uma superfície. Estas por si estão presentes em todas as superfícies reais, por mais perfeitas que estas sejam, pois partem de um tipo de herança do método empregado na obtenção da superfície (torneamento, fresamento, furação) (AMORIM, 2002).

Feng e Wang (2002) falam que a rugosidade é utilizada como indicador de qualidade crítica para as superfícies usinadas e tem influência sobre várias propriedades, como resistência ao desgaste, resistência à fadiga, coeficiente de lubrificação, atrito, desgaste, taxa de corrosão e resistência das peças usinadas.

Amorim (2002) ainda descreve alguns desses fatores entre outros como:

- Precisão e tolerância – muito importante, em especial em peças com acoplamentos onde furo e eixo estejam em movimento relativo. Neste caso, superfícies com rugosidades mais pronunciadas estarão expostas a desgastes mais intensos do que os que sofreriam caso tivessem um melhor acabamento.
- Resistência à corrosão – superfícies com acabamentos superficiais mais pobres tendem a reter maior quantidade de líquidos e vapores do que superfícies melhor acabadas. Desse modo, tornam-se mais vulneráveis à corrosão.
- Resistência à fadiga – peças que trabalham sob cargas dinâmicas necessitam de melhor acabamento superficial, pois superfícies com alta rugosidade apresentam maior área efetiva, e geometrias mais propensas a concentração de tensões, oferecendo melhores condições para a nucleação de trincas de fadiga.
- escoamento de fluidos – superfícies com melhores acabamentos permitem escoamentos laminares a faixas mais amplas de velocidade, reduzindo a turbulência. No caso de pistões ou elementos que atuam como retentor, superfícies com melhor acabamento garantem uma vedação mais eficiente, evitando a fuga do elemento sob pressão.

- Lubrificação – Caso a profundidade da rugosidade de um entre dois componentes entre os quais haja lubrificação seja maior do que a espessura do filme de óleo usado ocorrerá contato entre partes metálicas, anulando a lubrificação.
- Transmissão de calor – à medida que a rugosidade de um componente diminui, aumenta a área de contato entre este componente e outra superfície, aumentando o coeficiente de transmissão de calor.

A norma ABNT ISO 4287 (2002), descreve os parâmetros de amplitude para a medição de rugosidade. Neste trabalho deu-se ênfase no parâmetro de Rugosidade Média (Ra). A rugosidade média (Ra), também representada por CLA ou AA, é dada em unidades de micrometro (μm) ou micropolegada. Ela é determinada em função da linha média do perfil de rugosidade, como na Figura 23.

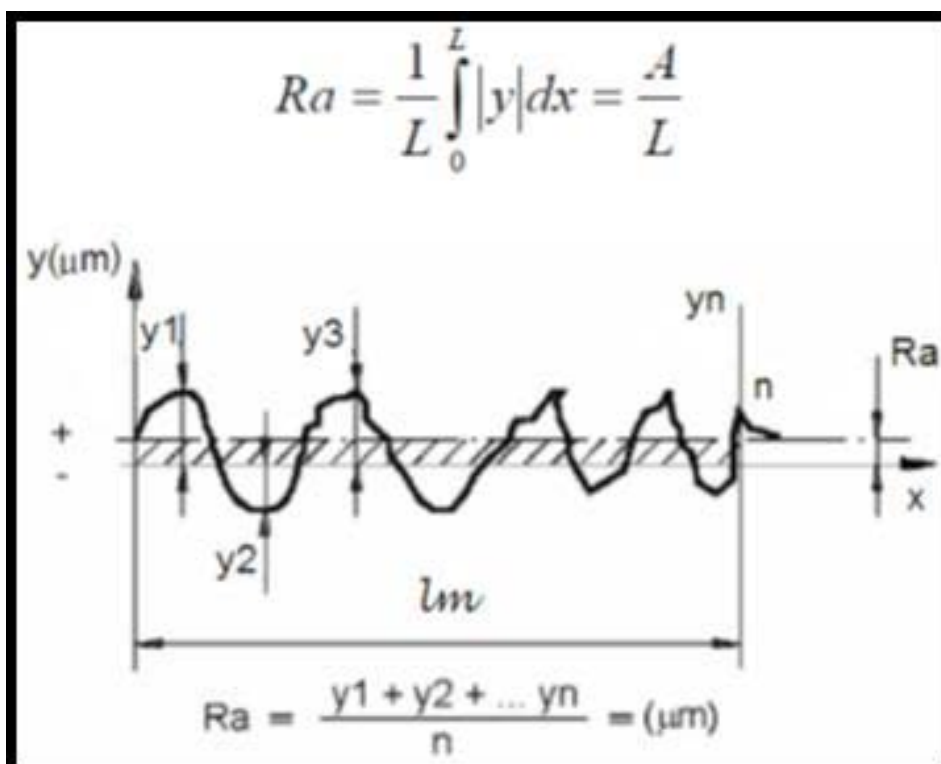


Figura 23. Rugosidade média e perfil de rugosidade (ISO 4287, 2002).

2.7 MÁQUINAS CNC

As máquinas ferramenta são um tipo de máquina cujo propósito é a fabricação de peças de diversos materiais por meio de movimentos mecânicos de ferramentas cortantes, ou seja, ferramentas com geometria e dureza capaz de subtrair massa de materiais como aço, alumínio, plástico e etc.

Segundo Machado (1986) uma máquina ferramenta com comando numérico computadorizado – CNC, é uma máquina que realiza a sequencia do seu trabalho mediante recurso programado, baseado em comando numérico, que são sistemas de coordenadas cartesianas para elaboração de qualquer perfil geométrico (x, y).

Slack *et al.* (1996) diz que a máquina CNC é composta basicamente da unidade de comando, onde são processados todos os cálculos e o software do processo do sistema, a máquina ferramenta e o acionamento dos movimentos dos eixos. Para o funcionamento desejado da máquina é necessário uma comunicação feita através de códigos ou símbolos padrão, onde esses são chamados de linguagem de programação.

O comando numérico computadorizado é um comando eletrônico dotado de um painel alfanumérico que, através de letras e números e de sua extensa memória, permite o armazenamento de dados para posteriormente, com estes, comandar uma máquina operatriz (ESPANHOL, 1989, p.14).

2.7.1 Fresadora CNC

A fresadora junto com o torno é capaz de transformar o material de qualquer peça, com alguma complexidade geométrica. Conforme a Figura 24, uma fresadora é basicamente composta por um motor de alta velocidade, um mandril e uma ferramenta de corte encaixada no mandril. A rotação do motor gera um movimento rotacional na ferramenta de corte, também chamada de fresa, que retira material de um tarugo. O material bruto é deslocado linearmente quando fixado a uma mesa base. A combinação da rotação da fresa e o movimento linear da mesa resulta na subtração de material do tarugo (LYRA, 2010).

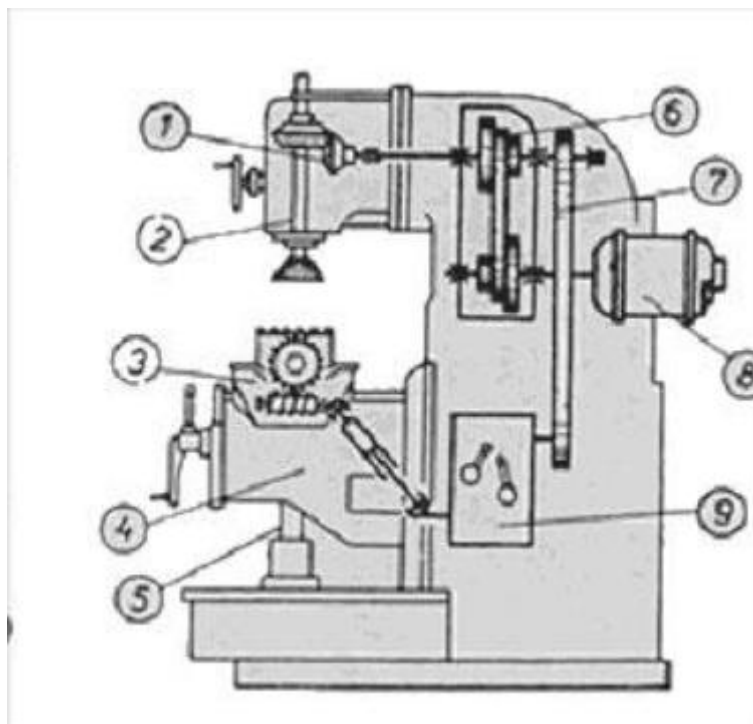


Figura 24. Elementos de máquina da Fresadora (COSTA, 2006).

Os principais elementos mecânicos de uma fresadora convencional são mostrados e descritos abaixo:

1. Representa o ataque do eixo principal por engrenagens cônicas.
2. Eixo principal, no qual se fixa o mandril e a fresa.
3. Mecanismo de avanço da mesa.
4. Mísula.
5. Fuso de translação da mesa.
6. Cone de roldanas.
7. Corrente de transmissão para os avanços.
8. Motor.
9. Caixa de câmbio para avanços.

Lyra (2010) complementa afirmando que o controle dos movimentos lineares por meio da eletrônica e da computação, pode-se automatizar uma fresadora convencional e aplicar os conceitos de comando numérico

computadorizado. Se uma fresadora tem seu controle por meio do comando numérico computadorizado, a máquina tem o nome de fresadora CNC.

Segundo Silva (2005) “a máquina ferramenta possui a característica de poder salvar e carregar os programas NC (controle numérico) mediante interface de comunicação, tais como: disquete, cartões de memória, cabos, e rede *ethernet*”.

A máquina utilizada neste presente trabalho será a Furadeira - Fresadora - CNC Tech Z1.

2.7.2 A Máquina Furadeira – Fresadora CNC Tech Z1.

Descrição da máquina

A máquina Furadeira - Fresadora CNC Tech Z1 (Figura 25), segundo a empresa SCM GROUP S.P.A (2011) é uma máquina com controle numérico (CN) que trabalha unicamente com madeira ou materiais com os mesmos atributos, sendo esses atributos físicos, como por exemplo o compensado. A estrutura desta máquina é basicamente constituída por dois elementos principais:

- A base portante A (Figura 26);
- O montante monobloco B que translada ao longo do eixo X (Figura 26).

O grupo operador C é composto por uma cabeça de perfuração onde é possível montar-se diversos outros grupos operadores, como por exemplo, electromandris, fresas de disco, etc. Ele está disposto sobre uma prancha D que se movimenta sobre o montante móvel B ao longo do eixo Y e que engloba movimentos ao longo do eixo Z. A Figura 27 mostra as direções dos eixos X, Y e Z da máquina.

Os planos de trabalho são compostos por barras de liga de alumínio de extrusão montadas em suportes que possuem uma bússola de recirculação de esferas e dispositivos de bloqueio pneumático (SCM GROUP S.P.A, 2011, Chap. 1, Pag. 16/32).

Dentro dos planos de trabalho existe a movimentação dos planos ao longo do eixo X sobre barras de aço redondas e retificadas. Neles estão instalados dispositivos com ventosa F (Figura 28) para a fixação das peças. Estes dispositivos são posicionados e correm sobre o plano ao longo do eixo Y (SCM GROUP S.P.A, 2011).

A máquina também possui uma unidade de controle que se situa em um armário elétrico G e um painel de controle móvel G1 (Figura 29) integrados a uma luva com um comprimento suficiente para qualquer disponibilidade (sempre respeitando das distâncias mínimas do manual da máquina) (SCM GROUP S.P.A, 2011).

Todos os movimentos ocorrem com escorrimto sobre guias prismáticas com patins de recirculação esferas; os movimentos são realizados através de parafusos de recirculação esferas de altíssima qualidade. Sobre a base estão instalados os planos de trabalho E, e os dispositivos de referência por batente para o posicionamento das peças (SCM GROUP S.P.A, 2011, Chap. 1, Pag. 16/32).



Figura 25. A máquina Furadeira - Fresadora CNC Tech Z1 (Catálogo TECH Z1 2011).

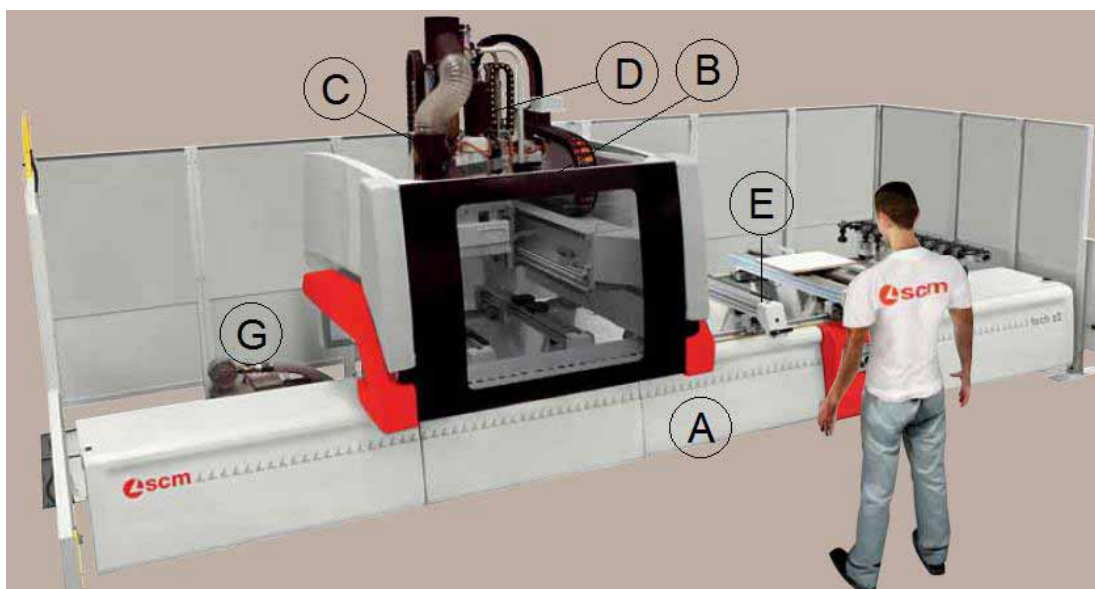


Figura 26. Esquema da estrutura da máquina (Catálogo TECH Z1 2011- adaptado).

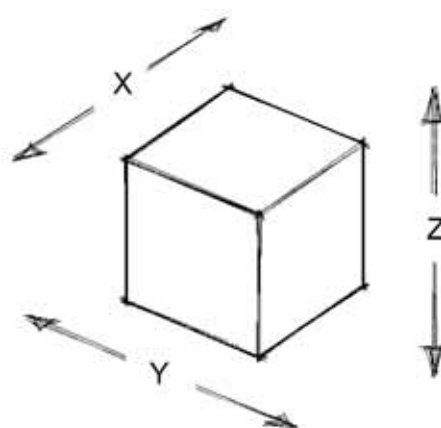


Figura 27. Plano de eixos utilizado pelo equipamento (Catálogo TECH Z1 2011- adaptado).

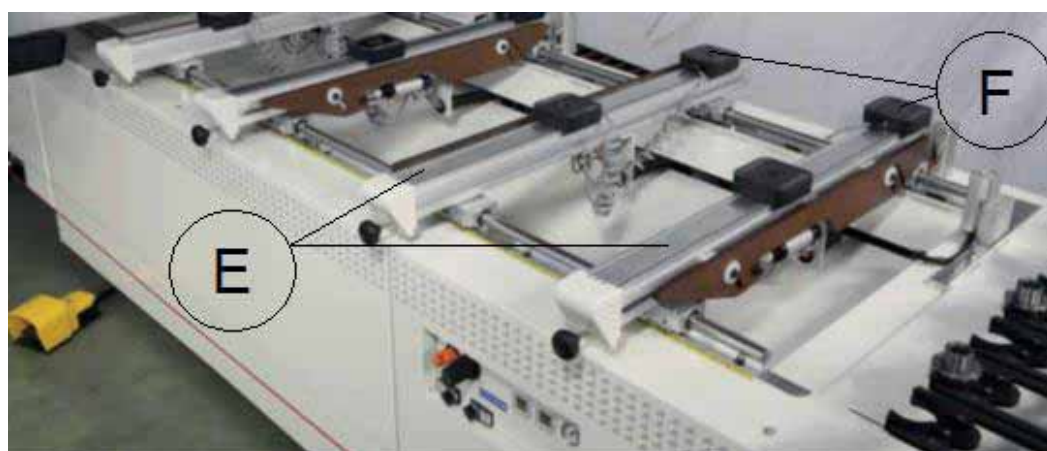


Figura 28. Dispositivo com ventosa para a fixação das peças (Catálogo TECH Z1 2011- adaptado).



Figura 29. Armário elétrico G e painel de controle móvel G1 (Catálogo TECH Z1 2011- adaptado).

Descrição dos grupos operadores

A máquina pode ser equipada com as seguintes unidades operadoras:

- Uma unidade de perfuração a 8 mandris verticais (5 (cinco em sentido “X”, 3 (três) em sentido “Y”) (Figura 27);
- 2+2 mandris horizontais em sentido “X”;
- 1+1 mandris horizontais em sentido “Y”;
- Unidade serra integrada
- Fresa vertical de 6,6 (S1) / 7,5 (S2)kW (9/10Hp);
- Dispositivo lateral de 10 posições – HSK 63 (Figura 31).



Figura 30. (a) Unidade de operação e (b) Mandril (Catálogo TECH Z1 2011- adaptado).



Figura 31. Dispositivo lateral de 10 posições (Catálogo TECH Z1 - adaptado).

Descrição do armário elétrico

A composição elétrica e eletrônica está toda alojada no armário L. Todas as principais fases de trabalho são controladas por um controle numérico de concepção avançada, capaz de garantir uma elevada velocidade de execução, potência de cálculo e possibilidade de executar mais funções simultaneamente.

As funções da máquina são comandadas com o PC “A” montado no interior do armário elétrico, com os comandos no painel de controle B e a botoneira móvel C (opcional – Figura 32).

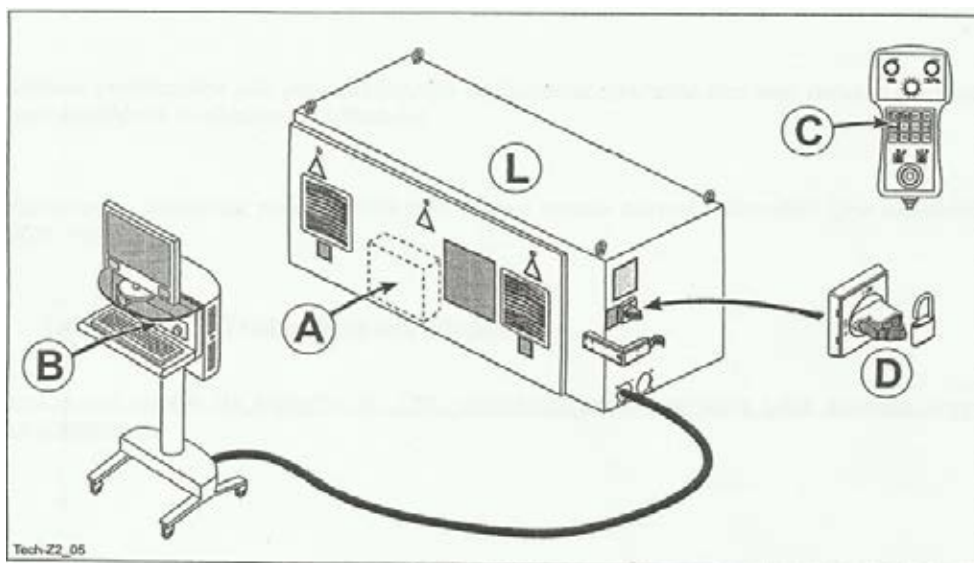


Figura 32. Armário Elétrico (SCM GROUP S.P.A – Manual de Instruções, 2011).

Zona de trabalho

Durante o trabalho o operador de produção pode ocupar somente os lugares descritos em layout – “Zona principal de trabalho” (Figura 33).

As zonas principais de usinagem:

1. Zona reservada aos operadores durante a usinagem;
2. Zona reservada ao operador para a introdução dos painéis (lado dianteiro da máquina). Zona proibida durante usinagem;
3. Zona sempre proibida durante a usinagem (mesa de trabalho de áreas laterais e traseira da máquina).

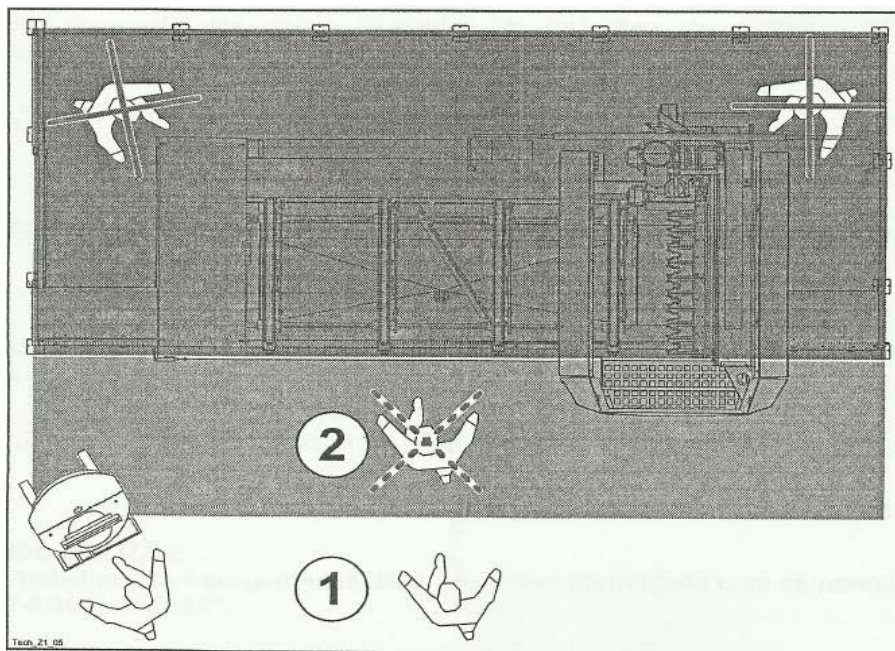


Figura 33. Zonas de Usinagem (SCM GROUP S.P.A – Manual de Instruções, 2011).

2.8 A MADEIRA DE EUCALIPTO GRANDIS (*Eucalyptus grandis*)

Essa espécie de madeira é praticamente adaptada em todos os climas. É uma madeira considerada com uma alta resistência ao ataque de fungos apodrecedores e cupins, e baixa aos fungos de podridão mole e cupins de solo. O cerne é difícil de ser tratado, entretanto, o alburno é permeável.

Na parte de processamento é uma excelente matéria prima para serraria, mesmo precisando de técnicas apropriadas para seu desdobro e a diminuição dos efeitos das tensões de crescimento. Apresenta boas características de aplainamento, lixamento, torneamento, fresamento, furação e acabamento.

2.9 A MADEIRA DE PINUS ELIOTI (*Pinus eliotti*)

A madeira de pinus pertence à ordem das coníferas (*Coniferae*) e sua ocorrência natural vem das regiões polares até os trópicos, englobando os continentes da Europa, Ásia, América do Norte e Central. Suas espécies são fisiologicamente resistentes à seca. Sua diversidade permite seu plantio em diferentes ambientes.

Na parte de processamento são utilizadas como matéria-prima para a produção de celulose e papel, laminados, móveis, tábuas, etc. Também com grande utilização na construção civil, caixotarias e pellets. A casca é utilizada como substrato para plantas, gerando melhor desenvolvimento da planta no viveiro e no campo. Produz também resina; que produz o breu, colas, vernizes, tintas e adesivos e a terebintina, usada na indústria de solventes, fungicidas, etc. Após todo o processo de resinagem, a madeira ainda pode ser usada na serraria.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste item, serão analisados os materiais, métodos e os procedimentos de usinagem realizados no Laboratório de Usinagem e Automação – LUA, no Campus da UNESP de Itapeva, para a obtenção dos dados deste trabalho.

3.1 AS PEÇAS DE MADEIRA

Para este trabalho, foram utilizados painéis de madeira de sarrafos (Figura 34) de madeira de eucalipto (*Eucalyptus grandis*) e de madeira de pinus (*Pinus elliottii*). Essas peças foram caracterizadas com ausência de nós e fibras reversas e foram trabalhadas no teor de 12% de umidade. A escolha desse tipo de matéria prima visou um melhor aproveitamento da madeira dentro da universidade e também pelo aumento atual na utilização deste tipo de matéria prima dentro das indústrias do setor madeireiro, além de atualmente não existirem modelos de corpos de prova descritos em normas para o procedimento em questão.



Figura 34. Painel de Madeira de sarrafos.

Com isso, esses painéis foram cortados em formato de retângulos (Figura 35) nas seguintes dimensões (Tabela 2), formando um pré-corpo de prova como

base para usinagem dos corpos de prova utilizados nos testes de qualidade superficial.

Tabela 2. Medidas dos Pré-corpos de prova.

a) Eucalipto (<i>Eucalyptus</i> sp)	854 x 294 x 24 mm
b) Pinus (<i>Pinus</i> sp)	702 x 330 x 30 mm

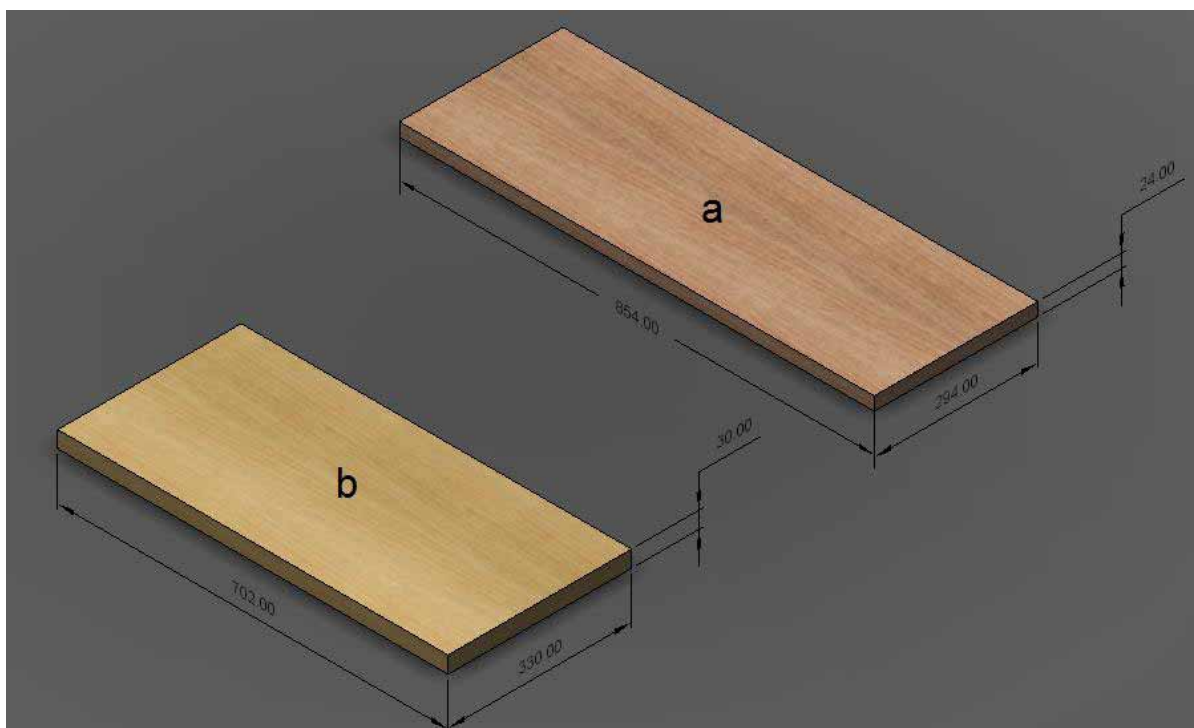


Figura 35. Pré-corpos de prova para Usinagem: a) Eucalipto e b) Pinus.

Esses painéis por sua vez, foram usinados no sentido concordante e discordante numa mesma peça em sentidos periféricos contrários gerando seis trechos de medidas iguais em ambos os lados (Figura 36).

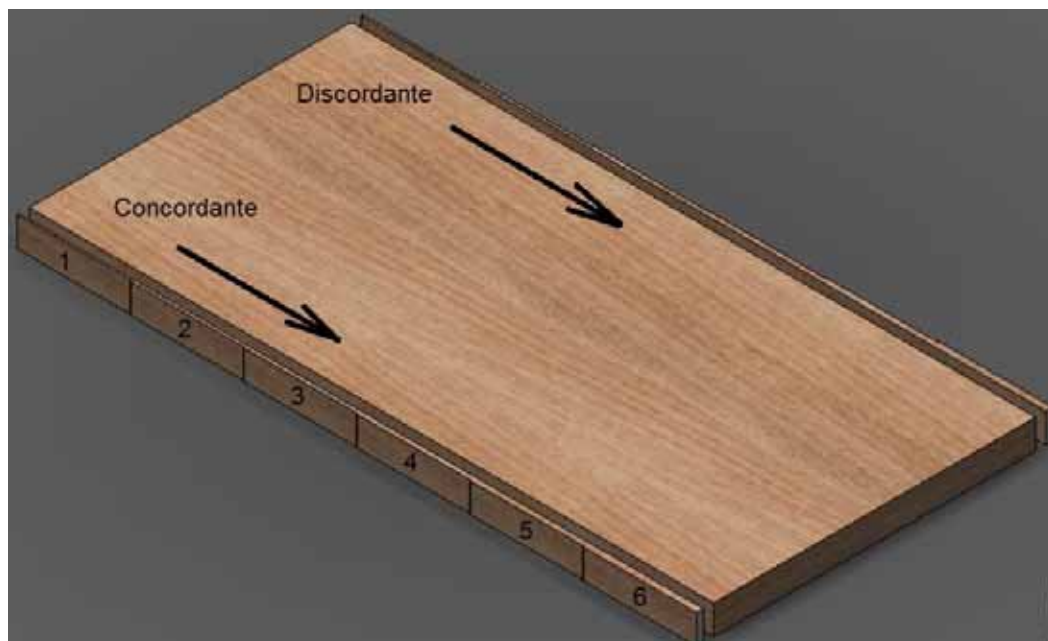


Figura 36. Painel usinado com os seis trechos de medidas iguais.

Por fim, dessas duas peças com os seis trechos usinados, extraiu-se seis peças (corpos de Prova) de 117 x 30 x 1 mm para as amostras de eucalipto, e seis peças de 142 x 24 x 1 mm para as amostras de pinus (Figura 37), arranjando sempre esse mesmo processo para outras variações de parâmetros desejados. Com isso se obteve os corpos de prova para as respectivas análises.

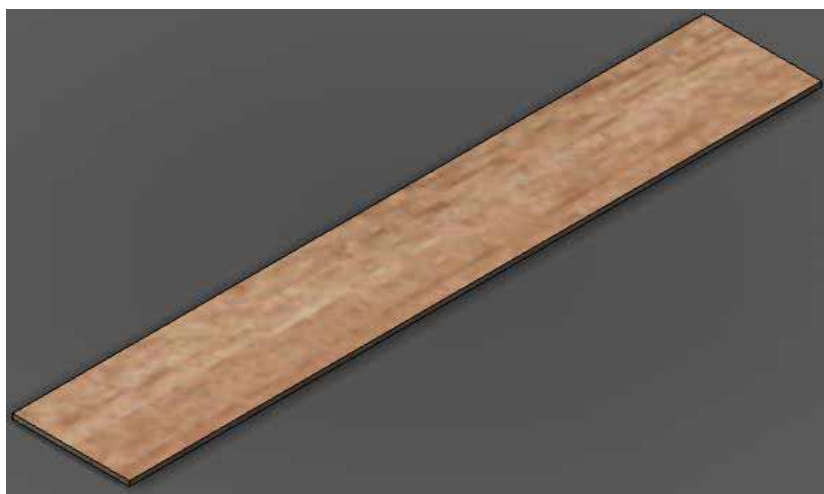


Figura 37. Corpo de Prova.

3.2 A USINAGEM

O tipo de usinagem utilizado neste trabalho foi o fresamento cilíndrico tangencial, ou seja, foram fresadas as peças de madeira no sentido das bordas das peças, como demonstra a figura 38.

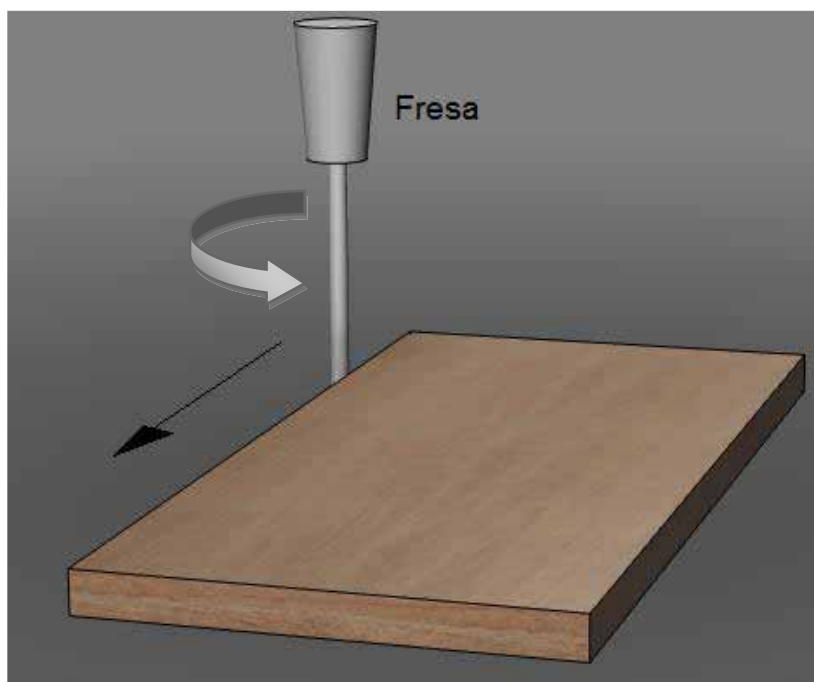


Figura 38. Usinagem das peças.

Este tipo de processo de usinagem segue as características do fresamento tangencial descrito por Ferraresi (1995), "Fresamento tangencial - processo de fresamento destinado à obtenção de superfície plana paralela ao eixo de rotação da ferramenta".

Porém neste trabalho esse processo utilizou a ferramenta com seu eixo perpendicular ao eixo de rotação da ferramenta da máquina CNC, o que se assemelha com o fresamento de topo, não deixando de ser um fresamento periférico.

3.3 CÁLCULO DAS DENSIDADES APARENTE DAS PEÇAS EM MADEIRA

Antes do procedimento de usinagem os corpos de prova foram caracterizados em relação as suas densidades aparente. Isso foi feito através do procedimento descrito na norma NBR 7190 que diz que a densidade aparente da madeira é definida como a relação entre o peso da amostra e o seu volume.

Os testes foram feitos a partir do procedimento descrito na mesma norma. Neste pesou-se a massa dos corpos de prova em balança com precisão de 0,01 g e mediu-se o seu volume. O volume das peças foi medido a partir de um paquímetro com acuracidade de 0,05 mm. Um teor de umidade de 12%, conseguido em estufa, foi utilizado, onde este é expresso pela Equação (1).

$$D_{ap} = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Onde: D_{ap} = densidade da madeira a 12% de umidade, g/cm³;
 m = massa de amostra a 12% de umidade, em g;
 V = volume da amostra a 12% de umidade, em cm³.

3.4 CÁLCULO DA VELOCIDADE DE CORTE (V_c)

Como as rotações das ferramentas foram dadas, foi possível calcular as velocidades de corte (V_c) para as respectivas variações nos ensaios. A velocidade de corte é dada pela Equação (2).

$$V_c = \frac{\pi \times D_f \times n}{60} \quad (2)$$

Onde: V_c – Velocidade de corte (m/s);
 D_f = Diâmetro da ferramenta (m);
 n = Número de rotações (rpm).

As rotações dadas nos ensaios foram de 4000, 3500 e 3000 rpm, para as ferramentas de fresa de desbaste e fresa de acabamento no diâmetro de 16 mm ambas, ou seja, para essas rotações e esse diâmetro obteve-se os valores de velocidade de corte (V_c) respectivamente de 33,49; 29,31 e 25,12 m/s.

A velocidade de avanço (V_f) foi fixada em todos os ensaios em $V_f=3\text{m/min}$ e a profundidade de corte (a_p) em $a_p=1\text{mm}$.

3.5 MÁQUINAS UTILIZADAS

3.5.1 Serra circular seccionadora e Serra esquadrejadeira.

As máquinas de serra circular seccionadora de painéis de madeira da empresa TECMATIC do modelo *FIT 2.9* (Figura 39) e a serra esquadrejadeira da empresa VERRY do modelo *LIFE – com eixo inclinado* (Figura 40) deram o auxílio na parte de construção dos corpos de prova. Foi utilizada a seccionadora para os cortes nos pré-corpos de prova gerando as lascas, e com isso utilizada a esquadrejadeira, para os cortes das lascas que originaram os copos de prova.



Figura 39. Serra circular seccionadora – marca e modelo.



Figura 40. Serra Esquadrejadeira - marca e modelo.

3.5.2 Máquina CNC

Para a realização deste trabalho foi utilizada a máquina Furadeira – Fresadora CNC Tech Z1 (Figura 41) para o processo de usinagem de fresamento periférico das peças de madeira, na obtenção das superfícies e das variáveis que foram comparadas neste trabalho a fim de obter uma análise mais precisa.



Figura 41. Furadeira – Fresadora CNC Tech Z1 (SCM GROUP S.P.A – Manual de Instruções, 2011).

Seguem na Figura 41, os dados técnicos gerais dessa máquina:

DADOS TÉCNICOS GERAIS		
Plano de trabalho útil com 1 painel (Tech Z1 - 26)	mm	2550x1050
Plano de trabalho útil com 1 painel (Tech Z1 - 30)	mm	3050x1050
Curso eixo "X" - "Y"	mm	ver o cap. 3.4
Curso eixo Z	mm	150
Velocidade programável no eixo "X"	m/min	25
Velocidade programável no eixo "Y"	m/min	45
Velocidade programável no eixo "Z"	m/min	15
Velocidade vetorial	m/min	54
Passagem painel	mm	ver o cap. 3.5
Peso compreendido aparelhagem elétrica (Tech Z1 - 26/30)	kg	1900/2200
Potência acústica segundo normas ISO / EN	DB	ver o cap. 3.2
⁽¹⁾ Opcional		
DADOS TÉCNICOS ELÉTRICOS		
Potência motor pontas e perfurar a 12 / 18 mandrils verticais	kW (Hp)	2,2 (3)
Potência Eletromandril y/o grupos operadores opcionais	kW (Hp)	ver o cap. específico
Alimentação elétrica standard	V / Hz	400 / 50-60
Corrente nominal em Ampere	A	27 ⁽²⁾ + 44 ⁽³⁾
DADOS TÉCNICOS alimentação ar comprimido e aspiração aparas		
Alimentação ar comprimido	Bar	6,5
Consumo médio de ar comprimido	lit/min	400
Consumo máximo instantâneo ar comprimido	lit/min	700
Diâmetro condutor centralizado de aspiração aparas	mm	200
Consumo ar de aspiração	m ³ /h	3400
Velocidade ar de aspiração	m/sec	30
Depressão	Pascal	3000

Figura 42. Dados Técnicos Gerais (SCM GROUP S.P.A – Manual de Instruções, 2011).

Programa utilizado na (CNC)

O software utilizado pela máquina CNC neste trabalho foi o Xilog Plus (Figura 43).

Segundo a empresa SCM GROUP S.P.A – Manual de Instruções (2011) esse software realiza o típico trabalho na madeira que uma indústria precisa. A aplicação dele é simples. Tem como características a configuração da máquina e das ferramentas através de um painel de controle do equipamento, a importação direta dos arquivos dxf e xml e programação paramétrica, além da interpolação linear e circular nos três planos x, y, z.

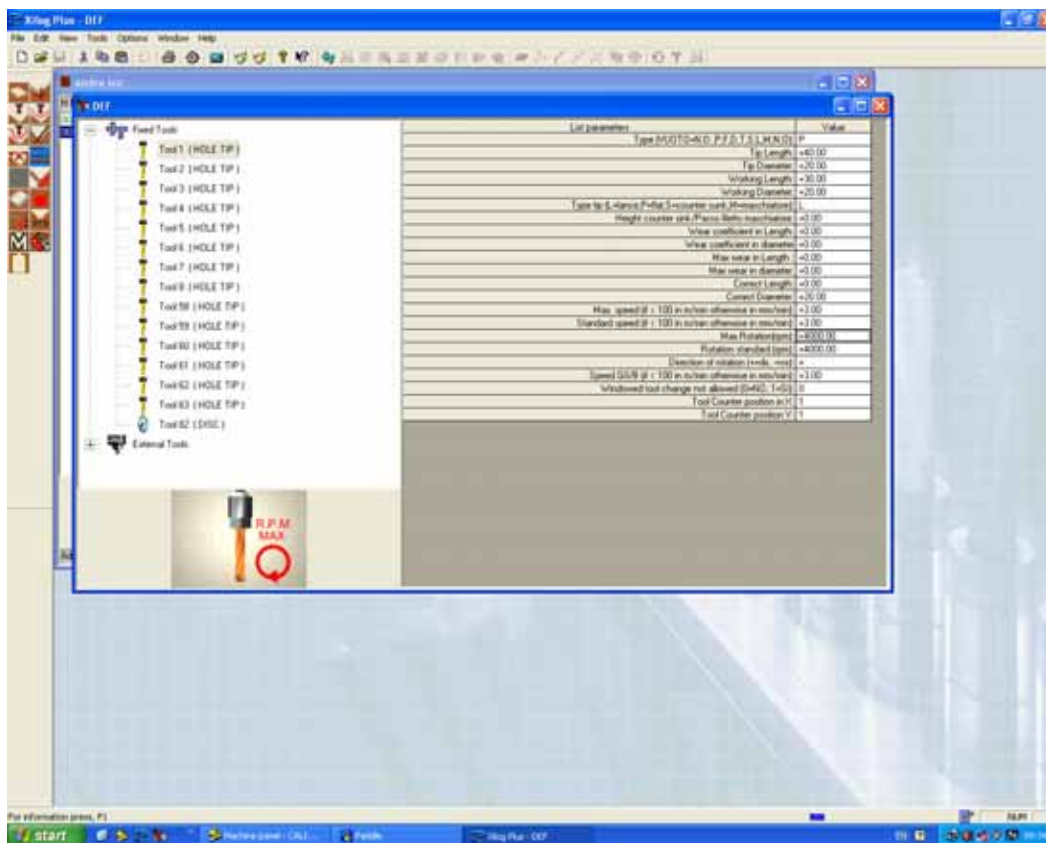


Figura 43. Software Xilog Plus.

Configuração dos Comandos Numéricos

A configuração dos Comandos Numéricos utilizados no processo é gerada a partir do próprio software Xilog Plus da máquina. Esse programa gerado envia os parâmetros para que a máquina entenda a linguagem CNC e proceda a usinagem escolhida. A Figura 44 mostra o programa base para todos os ensaios desse trabalho.

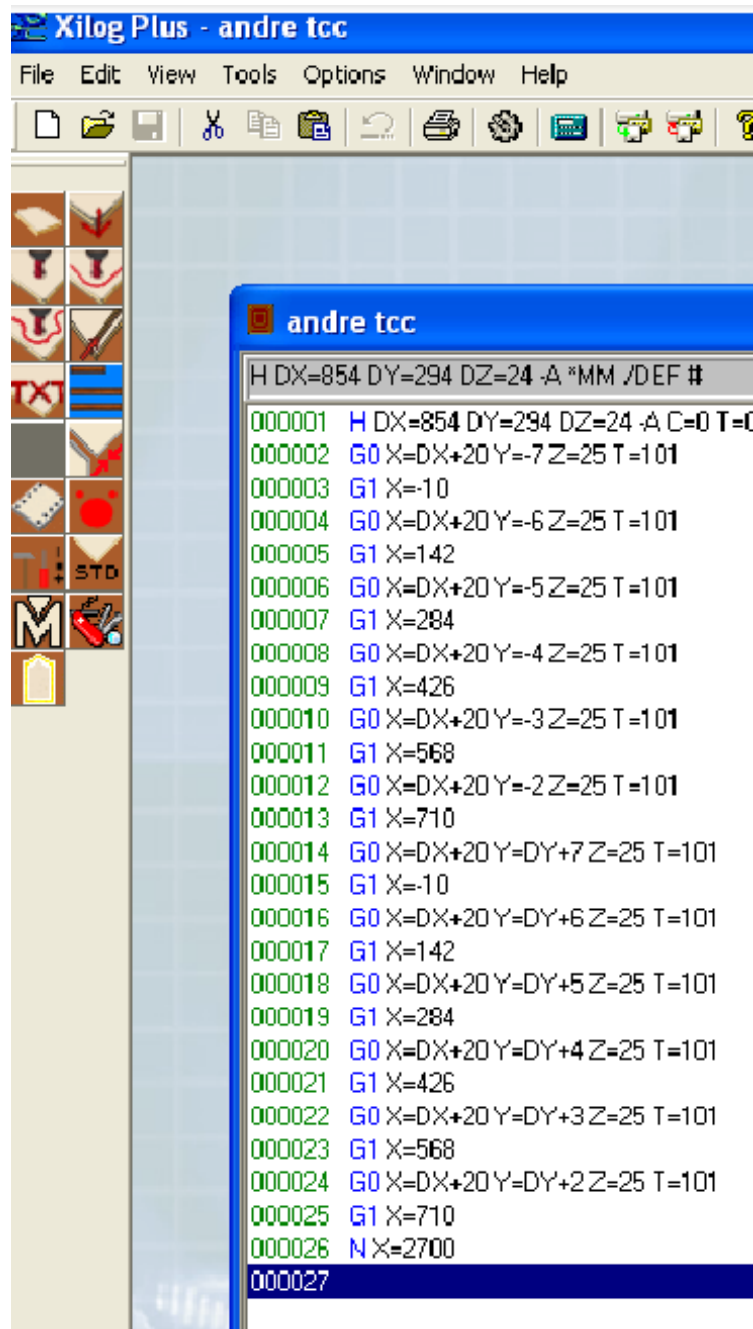


Figura 44. Programa de Comando Numérico de base para os ensaios.

Onde:

Os números em verde indicam a sequência dos comandos a serem executados;

H – Dimensões da peça base;

G0 – Avanço rápido;

G1 – Ciclo retilíneo de usinagem;

X é a posição do cabeçote móvel no eixo X;

Y é a posição do cabeçote móvel no eixo Y;

Z é a posição do cabeçote móvel no eixo Z;

3.6 FERRAMENTAS UTILIZADAS

As ferramentas utilizadas foram as fresas de desbaste e acabamento, ambas helicoidais, com suas respectivas características descritas a seguir:

3.6.1 Fresa de desbaste

A fresa utilizada foi a fresa de desbaste HWM – Premium - Upcut Spiral Bit, D = 16 x 55 x 110 mm, S = 16 mm, do fabricante CMT – código nº 195.160.12 (Figura 45).

Características técnicas:

- Três arestas de corte (Z3R);
- Máxima profundidade de dente: 0,3 mm; para encaminhamento rápido em equipamentos CNC quando o acabamento de borda é menos importante;
- Excelente acabamento no lado inferior da peça de trabalho;
- Evacuação de cavacos para cima.



Figura 45. Fresa de desbaste (Fabricante: CMT).

3.6.2 Fresa de acabamento

A fresa utilizada foi a fresa de acabamento HWM – Premium - Upcut Spiral Bit, D = 16 x 35 x 90 mm, S = 16 mm, do fabricante CMT – código nº 193.161.11 (Figura 46).

Características técnicas:

- Ótimo acabamento da superfície de trabalho;
- Excelente acabamento na parte de baixo da placa;
- Evacuação de cavacos para cima.



Figura 46. Fresa de acabamento (Fabricante: CMT).

3.7 MEDIÇÃO DA RUGOSIDADE

Para a medição da rugosidade utilizou-se um rugosímetro da marca TAYLOR HOBSON, modelo SURTRONIC 25+ (Figura 47), de haste de medição (Figura 48) com ponta apalpadora cone-esférico de diamante, raio de ponta de 2 μm (Figura 49).

Foi utilizado o parâmetro Ra (rugosidade média) para avaliação da qualidade superficial das peças fresadas. A seguir os parâmetros mais utilizados (Tabela 3) adotados no equipamento quando há o uso de madeira.

Tabela 3. Parâmetros utilizados

PARÂMETROS	
Cut-off	2,5 mm
Comprimento de medição	12,5 mm
Filtro	Gaussiano robusto
Range (resolução)	300 μm



Figura 47. Rugosímetro Modelo SURTRONIC 25+; marca TAYLOR HOBSON.



Figura 48. Haste de medição.

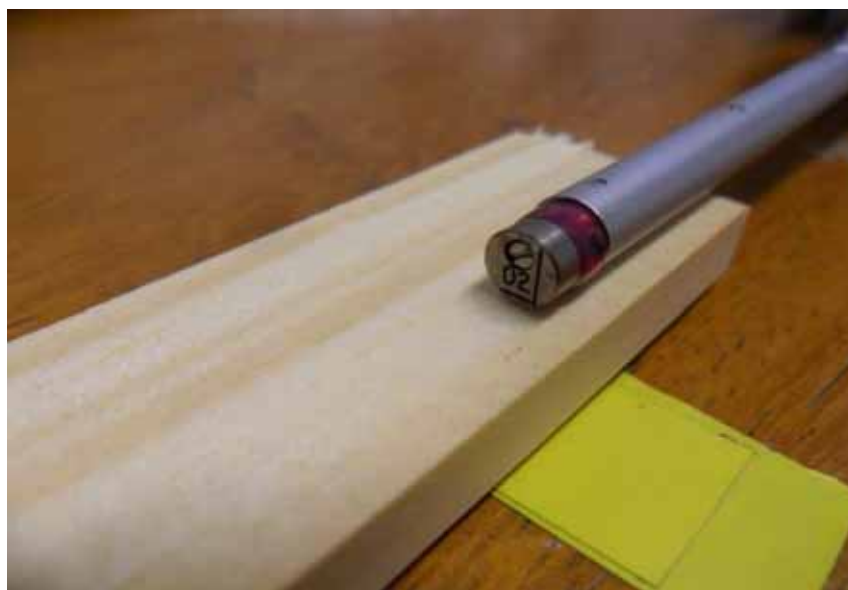


Figura 49. Ponta apalpadora cone-esférico de diamante.

3.8 PROCEDIMENTO DE DADOS

Os dados (R_a) foram obtidos no rugosímetro e as medições geraram uma matriz de dados para cada velocidade de corte (V_c) usada na usinagem das peças (ANEXO A). Depois de feito isso, foi realizada uma análise estatística dentro dos dados da mesma a fim de responder as questões mais conclusivas deste trabalho.

Os dados dentro das matrizes foram divididos em grupos onde são demonstrados a seguir na Tabela 4.

Tabela 4. Grupos e seus conjuntos.

Velocidade de corte --> Vc1 = 33,49 m/s									
GRUPOS	A				B				
Madeira	Eucalipto				Eucalipto				
Ferramenta	Desbaste				Acabamento				
Usinagem	Concordante		Discordante		Concordante		Discordante		
Sentido	favor	contra	favor	contra	favor	contra	favor	contra	
GRUPOS	C				D				
Madeira	Pinus				Pinus				
Ferramenta	Desbaste				Acabamento				
Usinagem	Concordante		Discordante		Concordante		Discordante		
Sentido	favor	contra	favor	contra	favor	contra	favor	contra	
Velocidade de corte --> Vc2 = 29,31 m/s									
GRUPOS	E				F				
Madeira	Eucalipto				Eucalipto				
Ferramenta	Desbaste				Acabamento				
Usinagem	Concordante		Discordante		Concordante		Discordante		
Sentido	favor	contra	favor	contra	favor	contra	favor	contra	
GRUPOS	G				H				
Madeira	Pinus				Pinus				
Ferramenta	Desbaste				Acabamento				
Usinagem	Concordante		Discordante		Concordante		Discordante		
Sentido	favor	contra	favor	contra	favor	contra	favor	contra	
Velocidade de corte --> Vc3 = 25,12 m/s									
GRUPOS	I				J				
Madeira	Eucalipto				Eucalipto				
Ferramenta	Desbaste				Acabamento				
Usinagem	Concordante		Discordante		Concordante		Discordante		
Sentido	favor	contra	favor	contra	favor	contra	favor	contra	
GRUPOS	K				L				
Madeira	Pinus				Pinus				
Ferramenta	Desbaste				Acabamento				
Usinagem	Concordante		Discordante		Concordante		Discordante		
Sentido	favor	contra	favor	contra	favor	contra	favor	contra	

Foi feita um pré-análise dos dados da matriz no software Microsoft Excel.

Análises estatísticas finais e Teste Tukey, foram realizados no software **R** (*The R Foundation for Statistical Computing*) versão 3.0.0 (2013).

3.9 PROCEDIMENTOS DE ENSAIO

Inicialmente, foram serrados painéis de sarrafos de eucalipto e de pinus, a fim de obter peças retangulares com as respectivas dimensões de 854 x 294 x 24 mm; e 702 x 330 x 30 mm (Figura 50). Lembrando que essas medidas foram exclusivamente escolhidas devido à utilização de matéria prima da universidade em estudos.

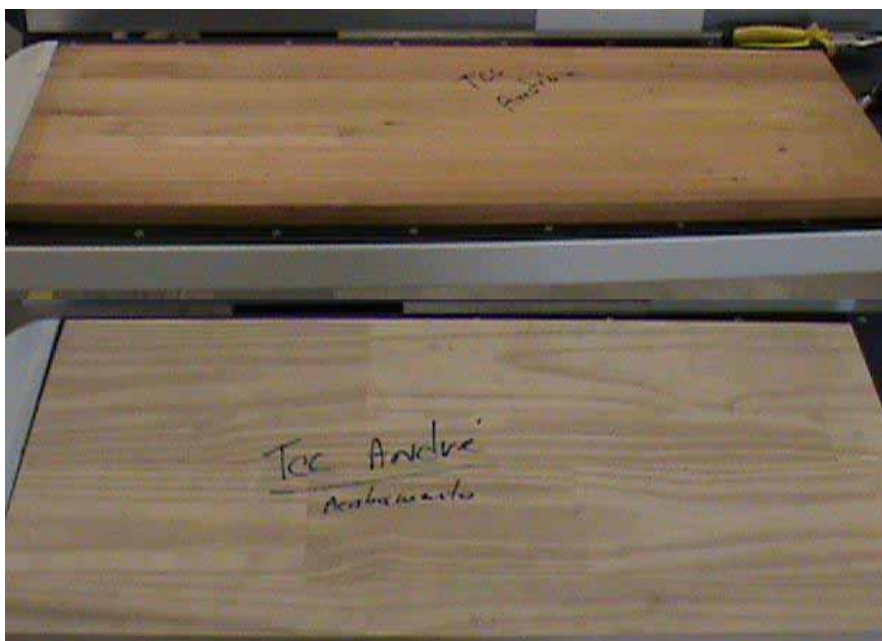
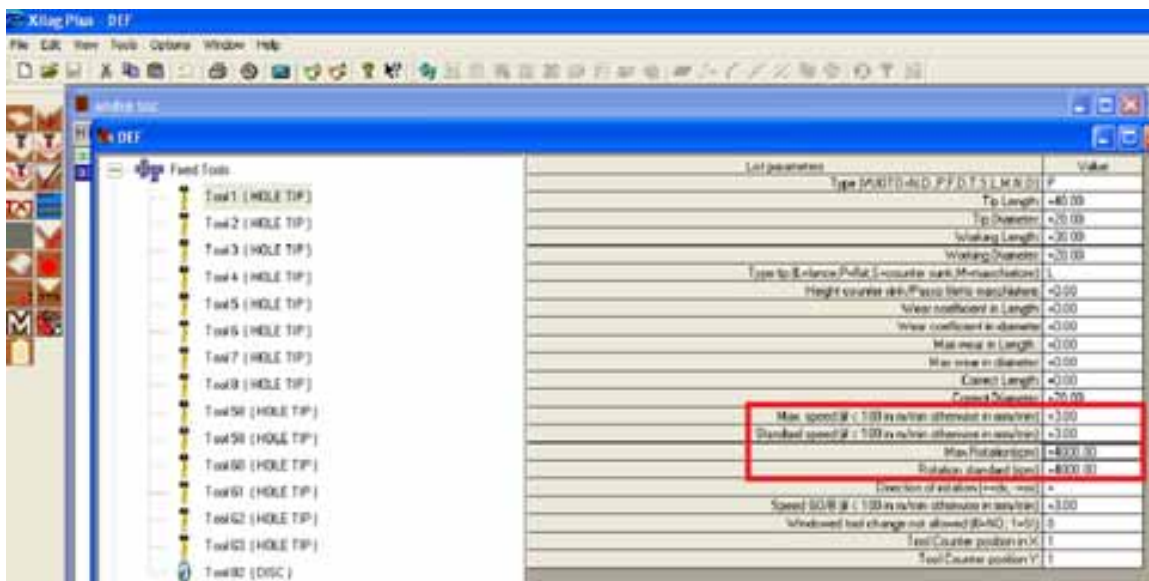


Figura 50. Painéis de sarrafos de eucalipto e pinus escolhidos.

Escolhida as peças e suas referidas medidas realizadas, foi necessário arranjar a peça para que fossem realizados os comandos numéricos para a máquina CNC fresar os corpos de prova.

Escolheu-se o método de dividir essas peças retangulares em seis medidas iguais para que a máquina realizasse os seis ensaios de fresamento periférico no sentido concordante e discordante em uma única peça, dando agilidade ao processo.

A partir disso, foi possível criar os comandos numéricos computadorizados através da distinção da matéria prima, sentido de fresamento e os parâmetros do processo (Figura 51).



List parameters	Value
Type (M010-40.FFD13LM02)	P
Tip Length	+40.00
Tip Diameter	+20.00
Working Length	+20.00
Working Diameter	+20.00
Type to Entrance (Pulse Counter with Manufacturer)	1
Height counter with Pulse (with manufacturer)	+2.00
Wear coefficient in Length	+0.00
Wear coefficient in diameter	+0.00
Max wear in Length	+0.00
Max wear in diameter	+0.00
Corner Length	+0.00
Corner Diameter	+20.00
Max. speed (if < 100 in m/min otherwise in mm/min)	+3.00
Standard speed (if < 100 in m/min otherwise in mm/min)	+3.00
Max Rotations/min	+8000.00
Rotation standard speed	+8000.00
Direction of rotation (revs./min)	0
Speed (0.00 if < 100 in m/min otherwise in mm/min)	+3.00
Workshop tool change not allowed (0=NO; 1=SI)	0
Tool Course position X	1
Tool Course position Y	1

Max. speed (if < 100 in m/min otherwise in mm/min):	+3.00
Standard speed (if < 100 in m/min otherwise in mm/min):	+3.00

Figura 51. Parâmetros adotados no software Xilog Plus.

Dentre os parâmetros, a velocidade de avanço (V_f) e as rotações por minuto (rpm) são definidas antes da criação do programa, como na Figura 51. Assim, para cada ensaio foi criado um programa particular utilizando como base o primeiro, alterando nos ensaios apenas as rotações. Durante a usinagem de cada peça de madeira foi utilizada uma velocidade de avanço constante de $V_f=3\text{m/min}$, sendo variada a velocidade de corte (V_c) através da rotação (rpm). Com isso definido, o programa foi feito e a peça pode ser preparada para a usinagem.

Após o programa estar pronto, a peça foi posicionada na máquina (Figura 52) para ser usinada já com os comandos numéricos predefinidos e inseridos no banco de dados do equipamento.



Figura 52. Posicionamento da peça na CNC.

A peça após ser usinada pôde ser numerada e levada para uma serra circular seccionadora que separou as laterais periféricas usinadas do pré-corpo de prova retangular (Figura 53). Essas laterais foram encaminhadas para uma serra esquadrejadeira (Figura 54) que as usinou gerando por fim os corpos de prova para serem utilizados na medição de qualidade superficial das peças (Figura 55).



Figura 53. Laterais fresadas das peças retangulares.

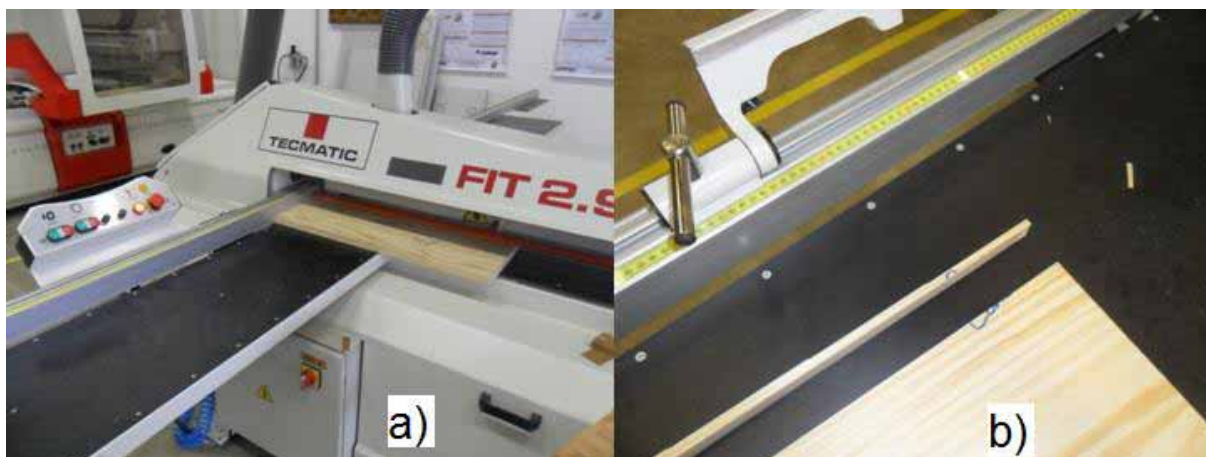


Figura 54. a) Peça sendo seccionadas; b) peça com a lateral cortada.

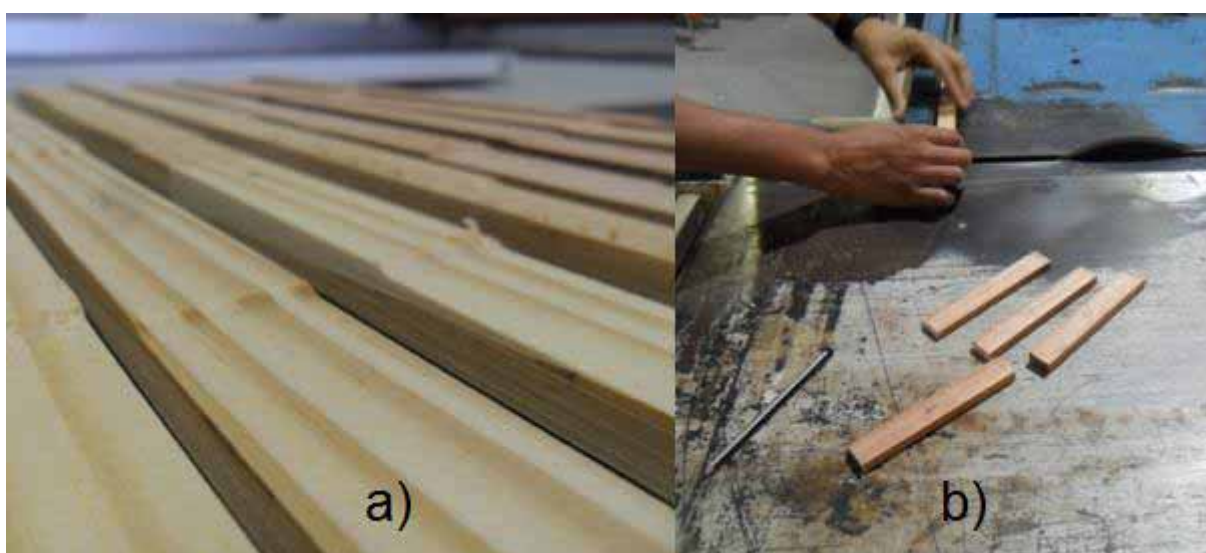


Figura 55. a) Laterais cortadas; b) Corpos de prova sendo cortados na esquadrejadeira.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As matrizes de dados e os resultados das análises estatísticas estão dispostos no ANEXO A. Segue abaixo os resultados de densidade aparente das madeiras e as descrições dos dados de medição de rugosidade utilizados.

4.1 CÁLCULO DAS DENSIDADES APARENTE DAS PEÇAS EM MADEIRA

Finalizados os ensaios de densidade aparente foram encontrados os seguintes resultados: a densidade aparente média dos corpos de prova para a madeira de eucalipto foi de $0,625 \text{ g/cm}^3$, e para a madeira de pinus foi de $0,532 \text{ g/cm}^3$, ambas com teor de umidade de equilíbrio de 12 %. A Tabela 5 apresenta os valores médios de densidade aparente (Dap) para as madeiras.

Tabela 5. Resultados de densidade aparente para as madeiras de eucalipto e pinus.

	Dap [g/cm^3]
<i>Eucalyptus grandis</i>	0,625
<i>Pinus elliottii</i>	0,532

4.2 MADEIRA DE EUCALIPTO

Os dados e grupos referentes à madeira de eucalipto estão dispostos na tabela 6.

Tabela 6. Dados Eucalipto.

Vc1 = 33,49 m/s 4000 rpm Grupos A e B	Vc2 = 29,31 m/s 3500 rpm Grupos E e F	Vc3 = 25,12 m/s 3000 rpm Grupos I e J
---	---	---

4.3 MADEIRA DE PINUS

Os dados e grupos referentes à madeira de pinus estão dispostos na tabela 7.

Tabela 7. Dados Pinus.

Vc1 = 33,49 m/s 4000 rpm Grupos C e D	Vc2 = 29,31 m/s 3500 rpm Grupos G e H	Vc3 = 25,12 m/s 3000 rpm Grupos K e L
---	---	---

4.4 RESULTADOS DAS MÉDIAS E DESVIOS PADRÃO.

4.4.1 Velocidade de corte 1

Os valores médios de rugosidade coletados após o processo de fresamento, com seus respectivos valores de desvio padrão para a velocidade de corte 1 ($V_c = 33,49$ m/s) estão inseridos na Tabela 8, e deram origem ao gráfico abaixo (Figura 56).

Tabela 8. Valores médios de rugosidade e de seus respectivos desvios padrão para cada Grupo na velocidade de corte 1.

	GRUPO A	GRUPO B	GRUPO C	GRUPO D
Médias	7,4	4,4	6,9	4,1
	7,6	4,2	6,5	4,5
	5,0	5,9	5,5	5,6
	5,3	4,4	5,7	5,3
Desvios Padrão	4,363615801	1,561521440	1,615745933	1,615745933
	4,855482910	1,742566981	1,819497576	1,819497576
	1,733772838	3,276441885	1,467218511	1,467218511
	1,702845424	2,045412987	1,576524206	1,576524206

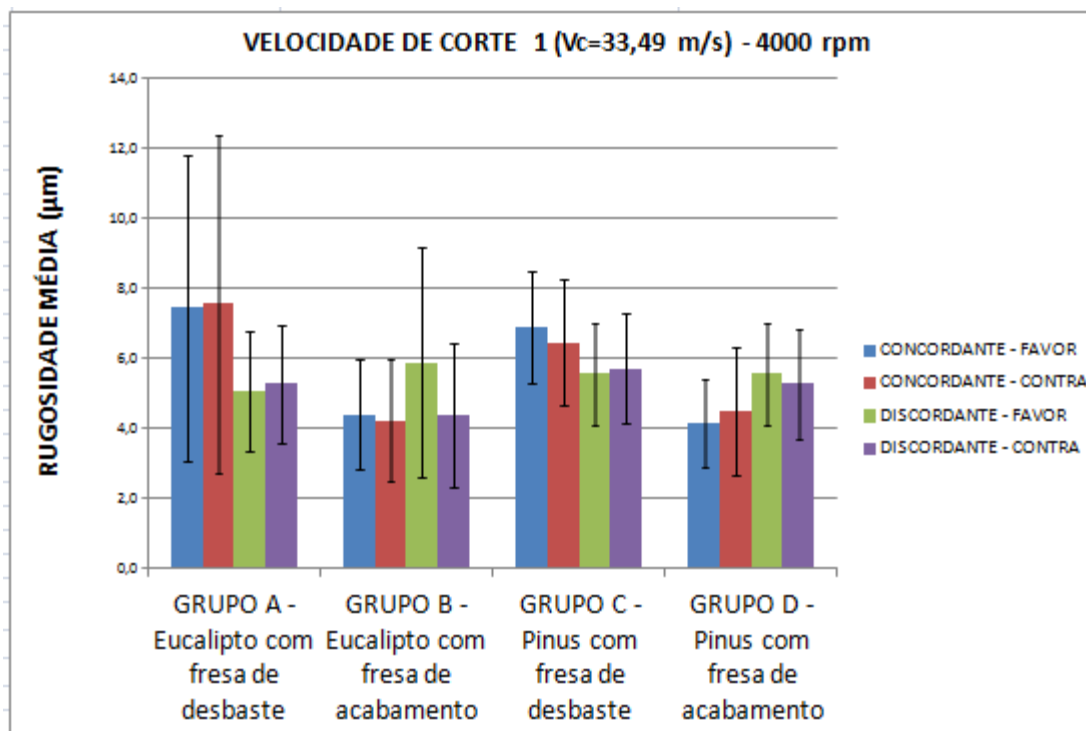


Figura 56. Gráfico de Médias e desvio padrão.

4.4.2 Velocidade de corte 2

Os valores médios de rugosidade coletados após o processo de fresamento, com seus respectivos valores de desvio padrão para a velocidade de corte 2 ($V_c= 29,31$ m/s) estão inseridos na Tabela 9, e deram origem ao gráfico abaixo (Figura 57).

Tabela 9. Valores médios de rugosidade e de seus respectivos desvios padrão para cada Grupo na velocidade de corte 2.

	GRUPO E	GRUPO F	GRUPO G	GRUPO H
Médias	15,5	7,8	14,0	6,4
	14,2	8,6	14,7	6,4
	12,7	8,1	14,4	7,6
	13,8	9,4	13,7	8,9
Desvios Padrão	7,555414331	2,849956836	4,271318149	2,007699465
	6,551762152	3,211447777	3,717022191	2,266519603
	3,324497814	3,421663013	4,569335334	2,350136774
	3,720637426	4,038088500	3,401381605	5,160509388

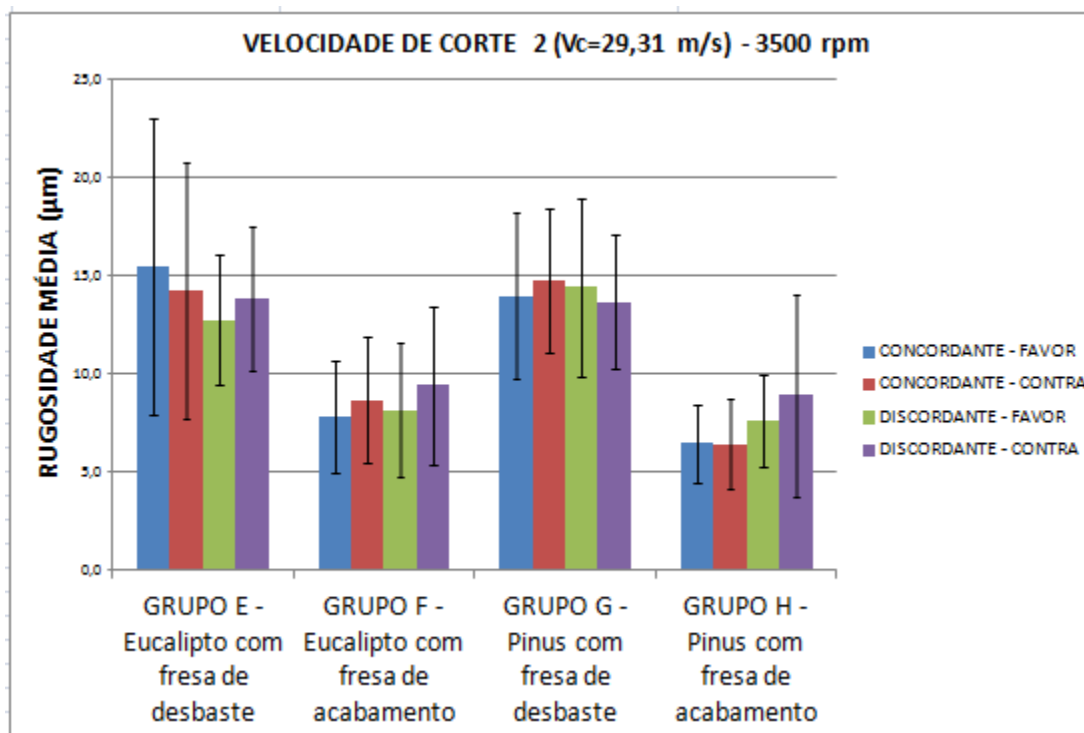


Figura 57. Gráfico de Médias e desvio padrão.

4.4.3 Velocidade de corte 3

Os valores médios de rugosidade coletados após o processo de fresamento, com seus respectivos valores de desvio padrão para a velocidade de corte 3 ($V_c = 25,12$ m/s) estão inseridos na Tabela 10, e deram origem ao gráfico abaixo (Figura 58).

Tabela 10. Valores médios de rugosidade e de seus respectivos desvios padrão para cada Grupo na velocidade de corte 3.

	GRUPO I	GRUPO J	GRUPO K	GRUPO L
Médias	15,7	9,4	14,3	9,5
	15,0	10,0	14,0	9,2
	16,8	8,3	13,5	7,5
	14,9	9,6	13,0	7,1
Desvios Padrão	4,446032653	2,354509351	2,451426536	1,295694947
	4,430786952	2,521450830	2,819321094	1,635401994
	4,089393947	2,452514097	4,377210099	1,587450787
	2,828747979	4,957377059	3,257343352	1,529145420

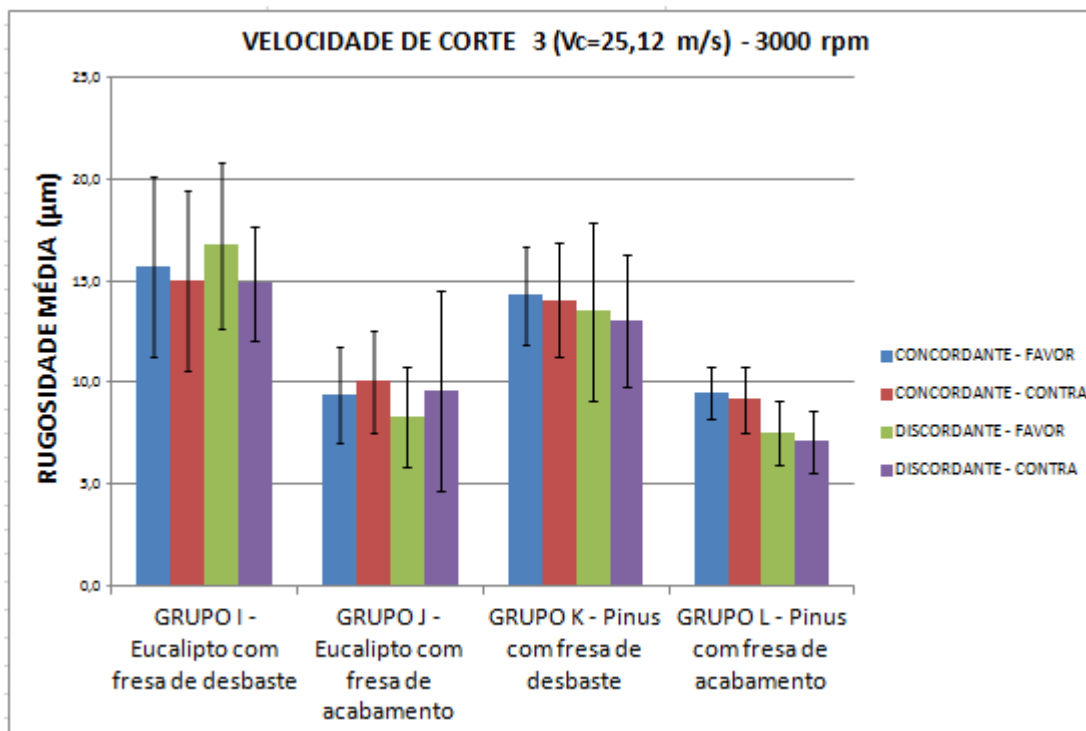


Figura 58. Gráfico de Médias e desvio padrão.

Observando os gráficos 56; 57 e 58, considerando-se as velocidades de corte, há uma tendência de que a rugosidade seja sempre menor à $V_{c1} = 33,49$ m/s. Segundo Korkut & Dornetas (2005), o aumento da velocidade de corte proporcionou, em seus experimentos, uma redução da rugosidade na usinagem de faceamento, conforme Figura 59.

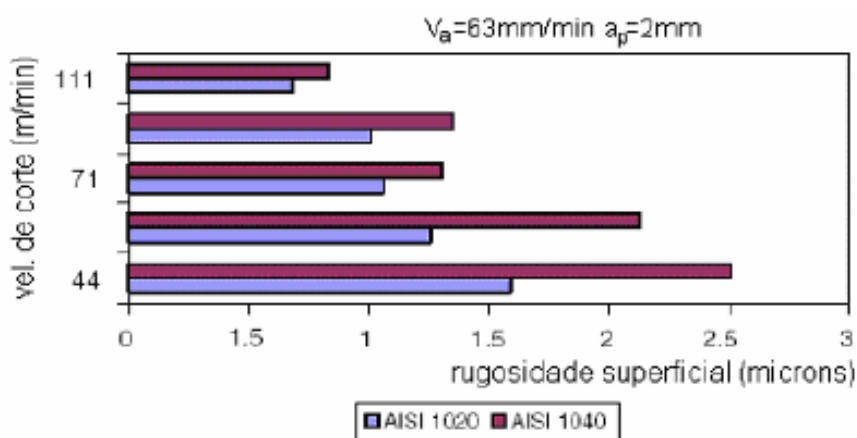


Figura 59. Redução da rugosidade superficial com o aumento da velocidade de corte (Adaptado – Korkut e Dornetas, 2005).

Magoss (2008) reafirma que o aumento da velocidade de corte proporciona uma melhor qualidade de superfície (Figura 60), utilizando os parâmetros de rugosidade comuns, tais como a rugosidade média (Ra).

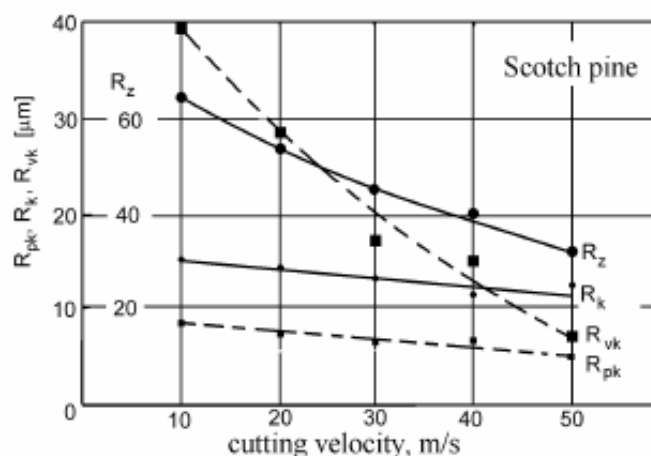


Figura 60. Parâmetros de rugosidade superficial em função da velocidade de corte (Pinho Scotch – adaptado por Magoss, 2008).

Continuando, considerando o sentido da usinagem, há uma tendência de que dentro dos grupos de eucalipto e pinus a rugosidade seja menor no sentido discordante e que a madeira de pinus tenha uma vantagem sobre a madeira de eucalipto. Castro e Gonçalves (1998) através do processo de fresamento em chapas de MDF, analisando a qualidade superficial, apresentou no gráfico (Figura 61) a relação do efeito do sentido de corte sobre a rugosidade superficial. Os resultados mostram que a frequência de valores mais elevados de rugosidade superficial Ra se encontra no corte concordante, e conclui que comportamento do sentido de corte na usinagem do MDF se dá de forma diferenciada do que ocorre com a madeira maciça, de modo que o corte discordante resulta numa tendência de menor rugosidade superficial.

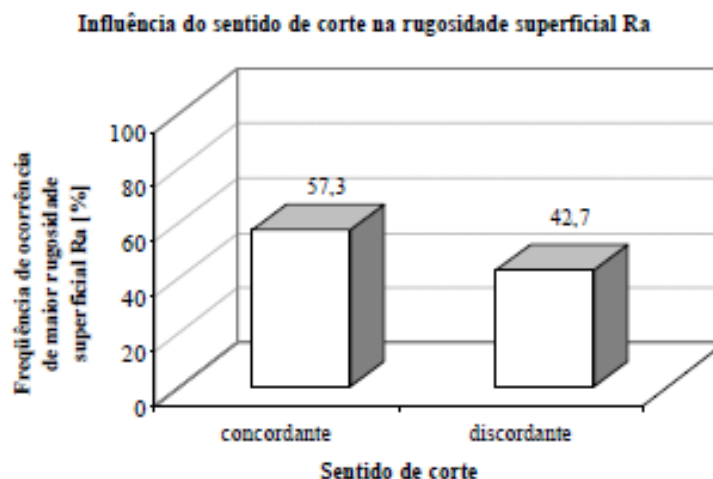


Figura 61. Gráfico da influência do sentido de corte na rugosidade superficial Ra (CASTRO e GONÇALVES, 1998).

Continuando, quanto ao sentido (favor e contra) de medição da rugosidade nas peças em relação ao sentido de corte da ferramenta, percebe-se que na maioria das análises não há diferença significativa entre as médias. Teixeira (2011) utilizando velocidades de avanço de 6 m/min e 12,4 m/min encontrou valores médios de Ra no fresamento a favor, respectivamente 26,25683 μm e 27,50394 μm . Em sua análise não houve diferença significativa entre elas, porém para velocidade de alimentação 24 m/min houve diferença (18,63798 μm). Ele ainda cita Kilic *et al.* (2006), que em superfícies de *Populus tremula* preparadas nas mesmas condições obtiveram 7,05 μm , com o uso do rugosímetro eletrônico. Já no sentido contra a orientação da grã não houve diferença significativa para os valores de Ra encontrados entre as três velocidades de avanço avaliadas.

Contudo, através dessa pré-análise, viu-se a necessidade de uma análise de variância para uma ciência mais apurada dos resultados.

4.5 RESULTADO DA ANÁLISE DOS GRUPOS

4.5.1 Eucalipto utilizando fresa de desbaste ($V_c=33,49$ m/s) Grupo A

A análise de variância realizada mostrou diferença significativa entre o tipo de usinagem ($F_{1,141} = 16.39$; P-value < 5%). Logo entre os sentidos (favor e contra) de medição não houve diferença ($F_{1,141} = 0.08$; P-value > 5%).

A Figura 62 mostra o comportamento da rugosidade média (R_a) em função da usinagem para cada sentido (favor e contra) de medição das amostras.

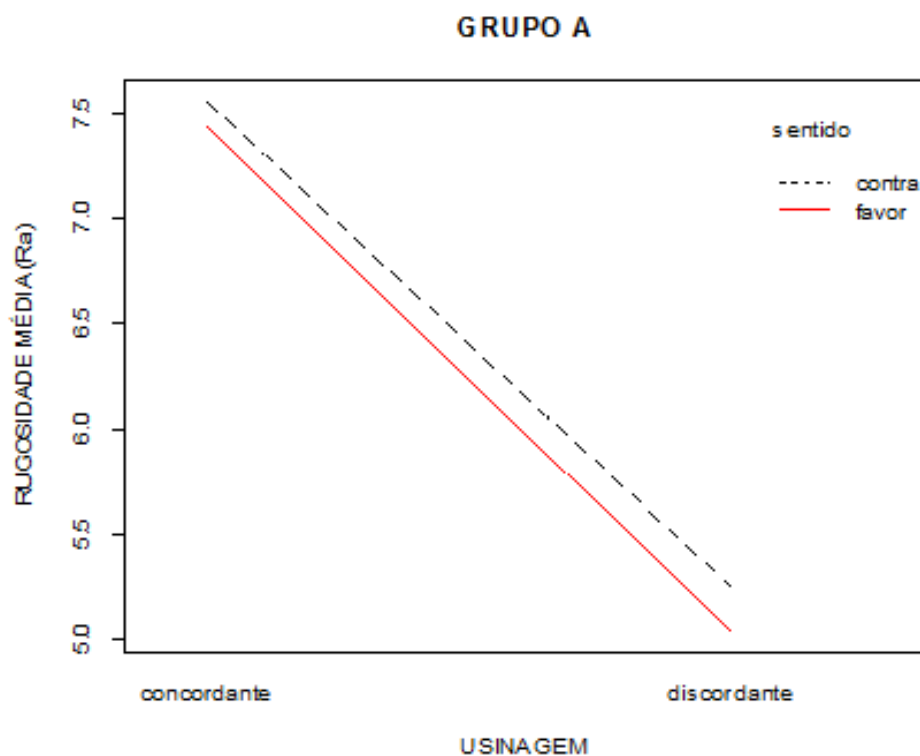


Figura 62. Gráfico da Rugosidade Média (R_a) em função da usinagem para cada sentido de medição.

4.5.2 Eucalipto utilizando fresa de acabamento ($V_c=33,49$ m/s) Grupo B

A análise de variância realizada mostrou diferença significativa entre o tipo de usinagem ($F_{1,141} = 4.749$; P-value < 5%) e entre os sentidos (favor e contra) de medição ($F_{1,141} = 5.073$; P-value < 5%).

A Figura 63 mostra o comportamento da rugosidade média (R_a) em função da usinagem para cada sentido (favor e contra) de medição das amostras.

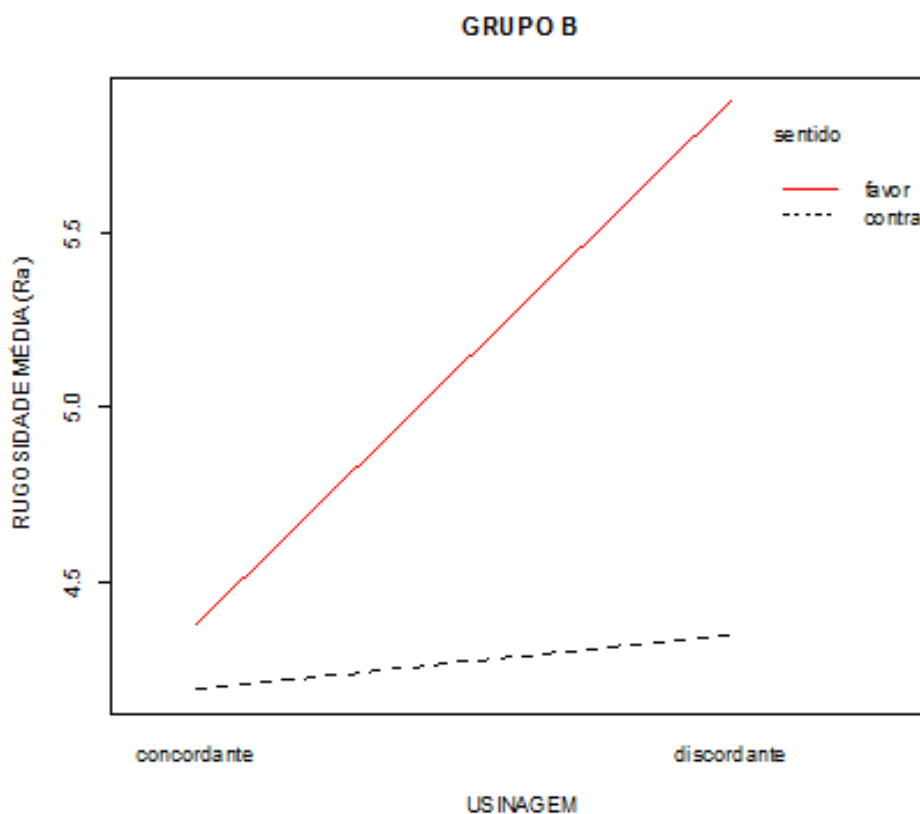


Figura 63. Gráfico da Rugosidade Média (Ra) em função da usinagem para cada sentido de medição.

4.5.3 Pinus utilizando fresa de desbaste ($V_c=33,49$ m/s) Grupo C

A análise de variância realizada mostrou diferença significativa entre o tipo de usinagem ($F_{1,141}= 15.025$; P-value < 5%). Logo entre os sentidos (favor e contra) de medição não houve diferença ($F_{1,141}= 0.263$; P-value > 5%).

A Figura 64 mostra o comportamento da rugosidade média (Ra) em função da usinagem para cada sentido (favor e contra) de medição das amostras.

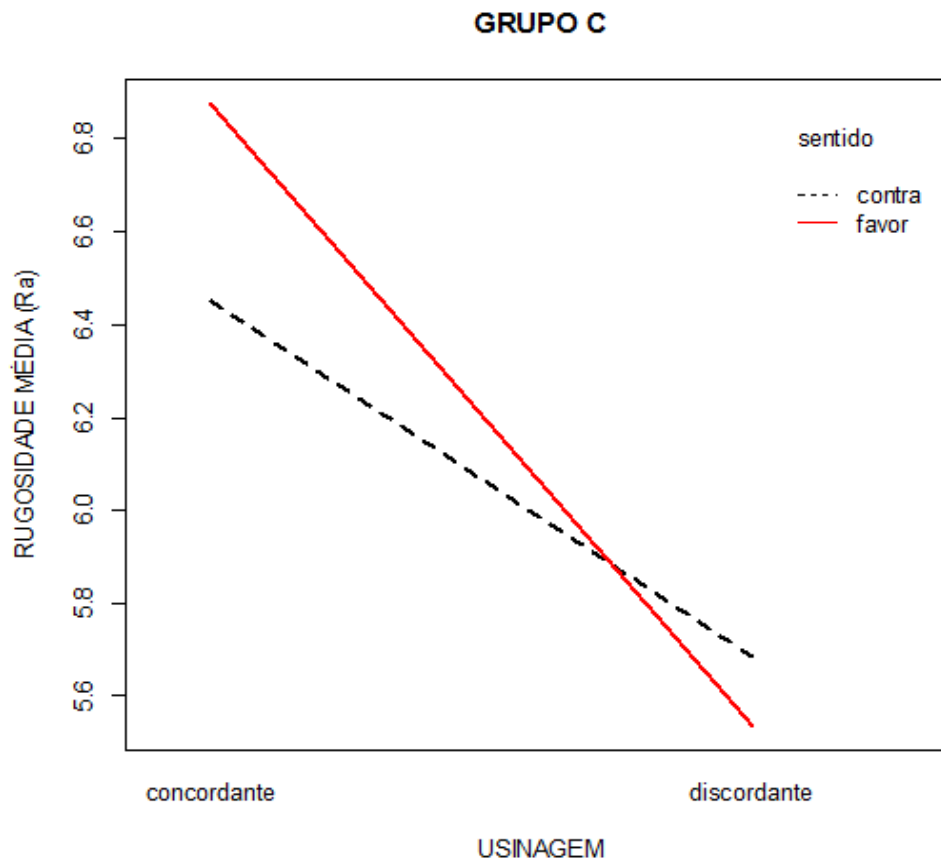


Figura 64. Gráfico da Rugosidade Média (Ra) em função da usinagem para cada sentido de medição.

4.5.4 Pinus utilizando fresa de acabamento ($V_c=33,49$ m/s) Grupo D

A análise de variância realizada mostrou diferença significativa entre o tipo de usinagem ($F_{1,141}= 25.293$; P-value < 5%). Logo entre os sentidos (favor e contra) de medição não houve diferença ($F_{1,141}= 0.019$; P-value > 5%).

A Figura 65 mostra o comportamento da rugosidade média (Ra) em função da usinagem para cada sentido (favor e contra) de medição das amostras.

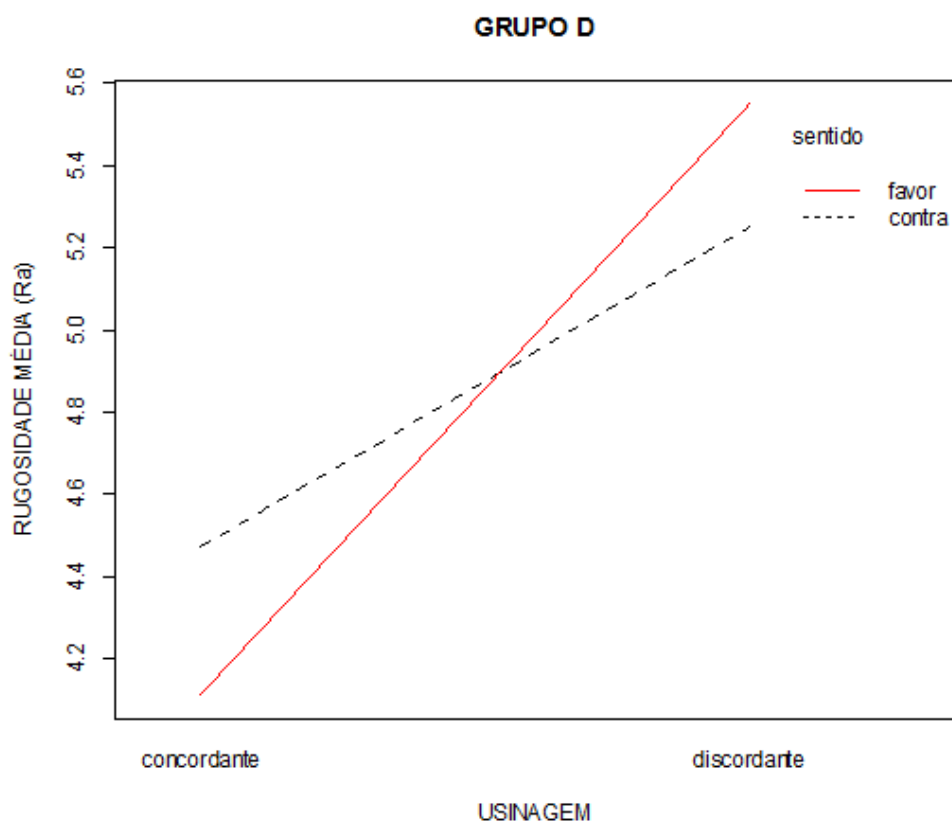


Figura 65. Gráfico da Rugosidade Média (Ra) em função da usinagem para cada sentido de medição.

4.5.5 Eucalipto utilizando fresa de desbaste ($V_c=29,31$ m/s) Grupo E

A análise de variância realizada não mostrou diferença significativa entre o tipo de usinagem ($F_{1,141}= 2.768$; P-value > 5%) e entre os sentidos (favor e contra) de medição ($F_{1,141}= 0.007$; P-value > 5%).

A Figura 66 mostra o comportamento da rugosidade média (Ra) em função da usinagem para cada sentido (favor e contra) de medição das amostras.

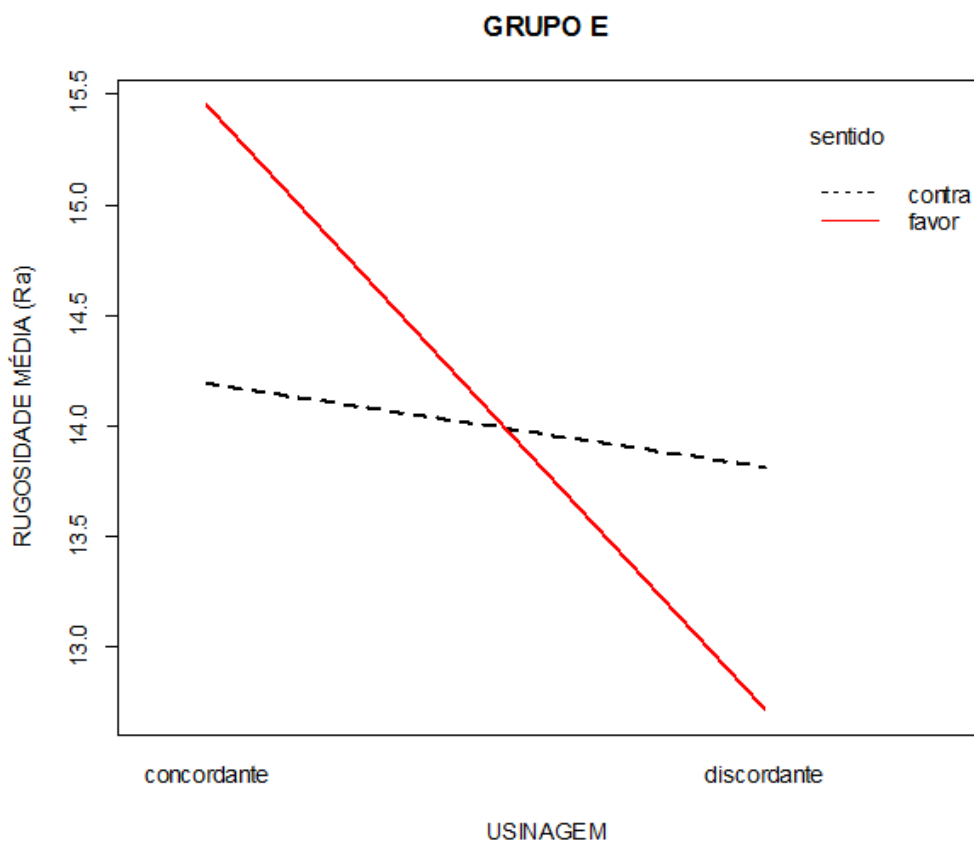


Figura 66. Gráfico da Rugosidade Média (Ra) em função da usinagem para cada sentido de medição.

4.5.6 Eucalipto utilizando fresa de acabamento ($V_c=29,31$ m/s) Grupo F

A análise de variância realizada não mostrou diferença significativa entre o tipo de usinagem ($F_{1,141}= 0.906$; P-value > 5%) e entre os sentidos (favor e contra) de medição ($F_{1,141}= 3.476$; P-value > 5%).

A Figura 67 mostra o comportamento da rugosidade média (Ra) em função da usinagem para cada sentido (favor e contra) de medição das amostras.

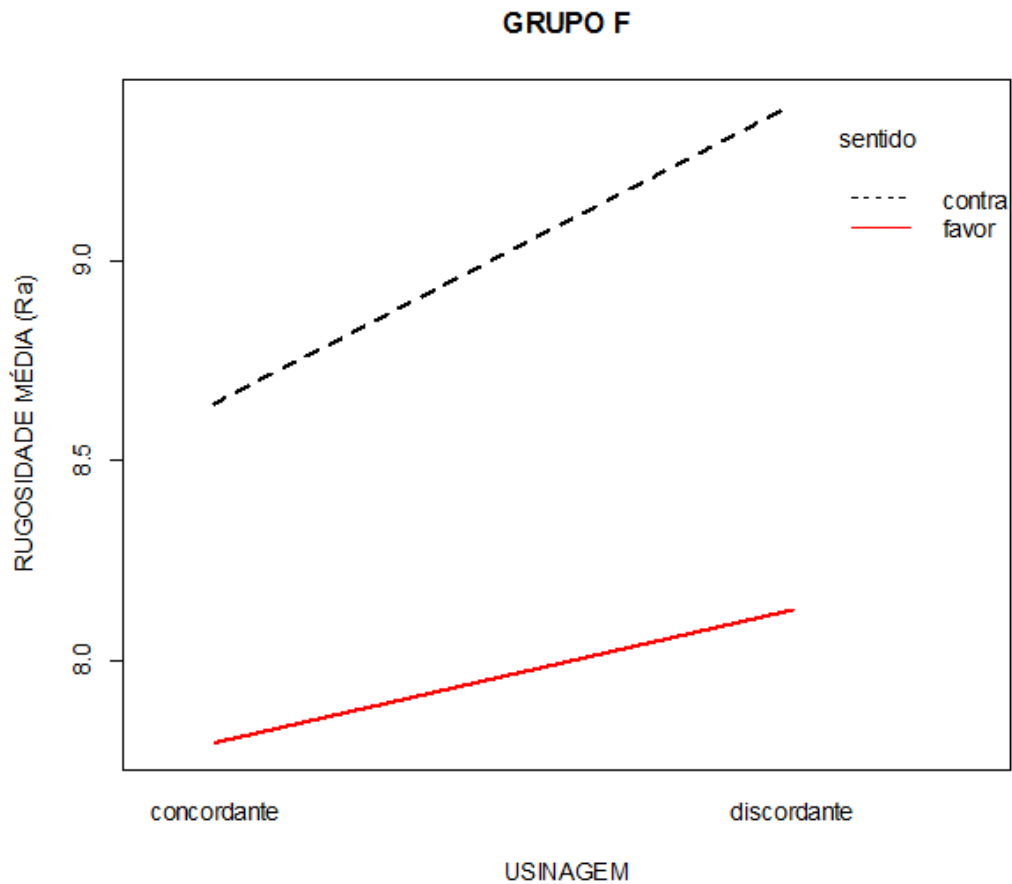


Figura 67. Gráfico da Rugosidade Média (Ra) em função da usinagem para cada sentido de medição.

4.5.7 Pinus utilizando fresa de desbaste ($V_c=29,31$ m/s) Grupo G

A análise de variância realizada não mostrou diferença significativa entre o tipo de usinagem ($F_{1,141}= 0.231$; P-value > 5%) e entre os sentidos (favor e contra) de medição ($F_{1,141}= 0.001$; P-value > 5%).

A Figura 68 mostra o comportamento da rugosidade média (Ra) em função da usinagem para cada sentido (favor e contra) de medição das amostras.

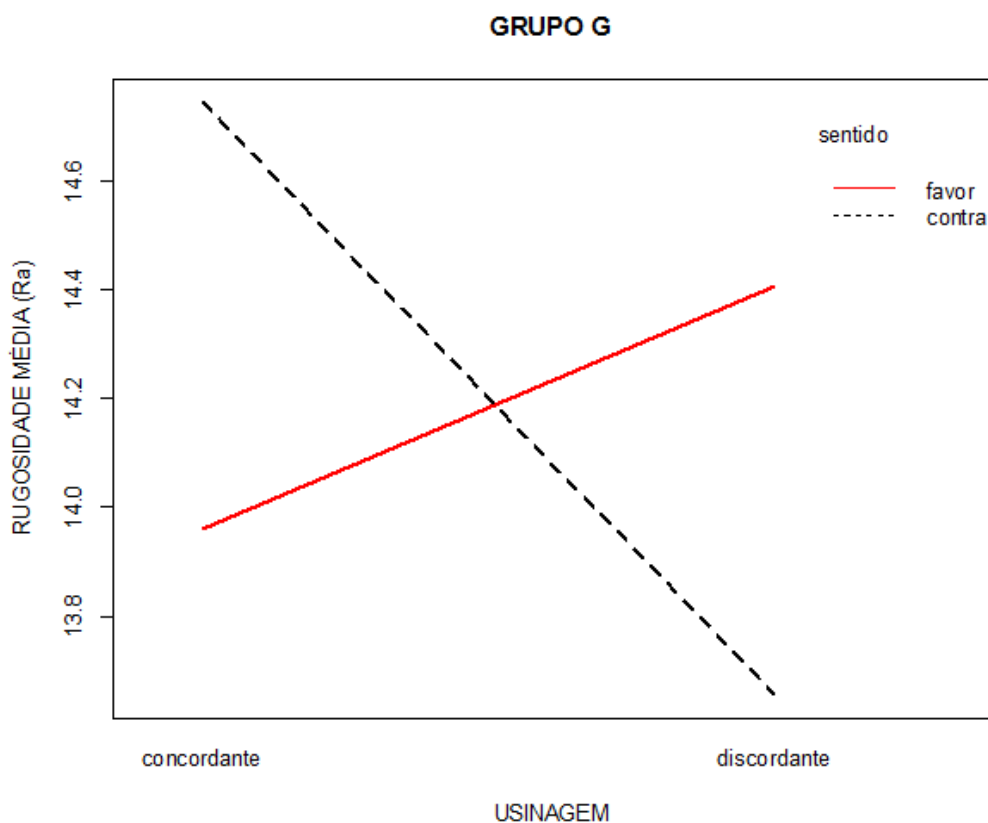


Figura 68. Gráfico da Rugosidade Média (Ra) em função da usinagem para cada sentido de medição.

4.5.8 Pinus utilizando fresa de acabamento ($V_c=29,31$ m/s) Grupo H

A análise de variância realizada mostrou diferença significativa entre o tipo de usinagem ($F_{1,141}= 11.107$; P-value < 5%). Logo entre os sentidos (favor e contra) de medição não houve diferença ($F_{1,141}= 1.441$; P-value > 5%).

A Figura 69 mostra o comportamento da rugosidade média (Ra) em função da usinagem para cada sentido (favor e contra) de medição das amostras.

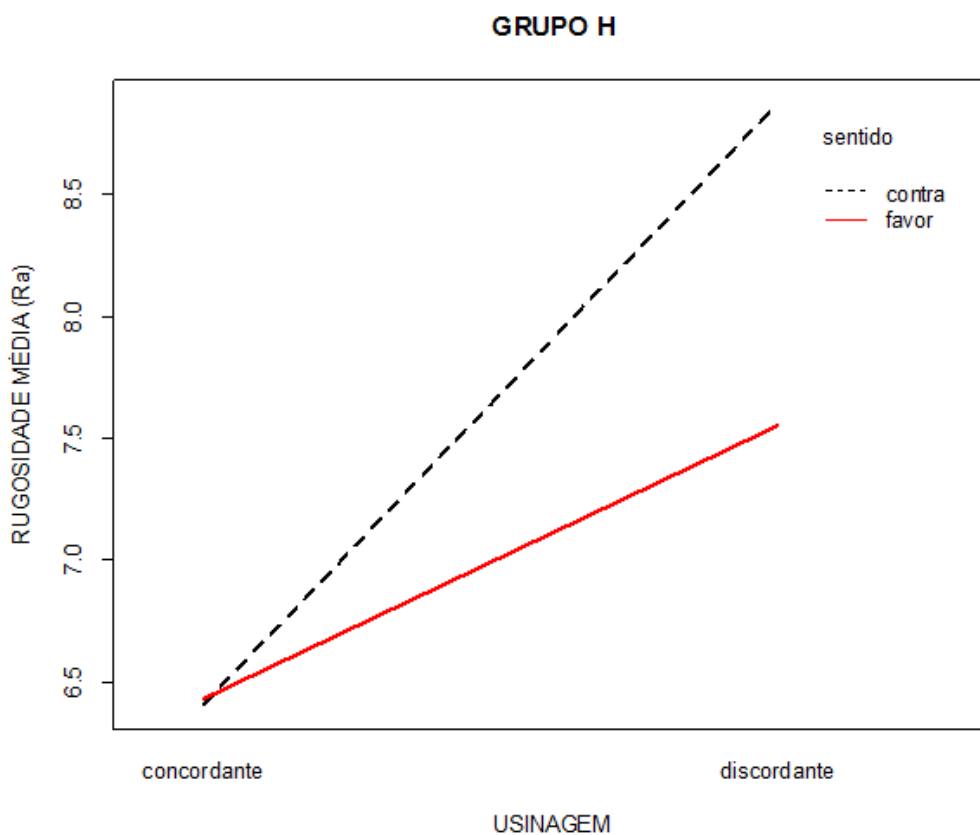


Figura 69. Gráfico da Rugosidade Média (Ra) em função da usinagem para cada sentido de medição.

4.5.9 Eucalipto utilizando fresa de desbaste ($V_c=25,12$ m/s) Grupo I

A análise de variância realizada não mostrou diferença significativa entre o tipo de usinagem ($F_{1,141}= 0.554$; P-value > 5%) e entre os sentidos (favor e contra) de medição ($F_{1,141}= 3.456$; P-value > 5%).

A Figura 70 mostra o comportamento da rugosidade média (Ra) em função da usinagem para cada sentido (favor e contra) de medição das amostras.

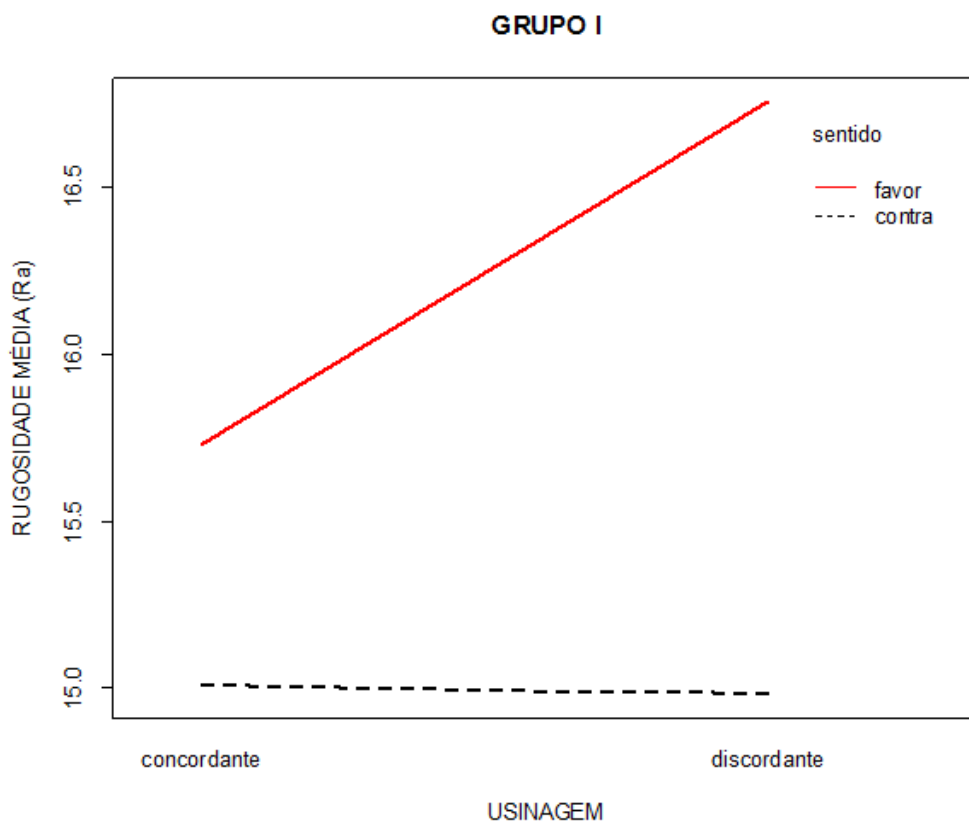


Figura 70. Gráfico da Rugosidade Média (Ra) em função da usinagem para cada sentido de medição.

4.5.10 Eucalipto utilizando fresa de acabamento ($V_c=25,12$ m/s) Grupo J

A análise de variância realizada não mostrou diferença significativa entre o tipo de usinagem ($F_{1,141}= 2.045$; P-value > 5%) e entre os sentidos (favor e contra) de medição ($F_{1,141}= 3.091$; P-value > 5%).

A Figura 71 mostra o comportamento da rugosidade média (Ra) em função da usinagem para cada sentido (favor e contra) de medição das amostras.

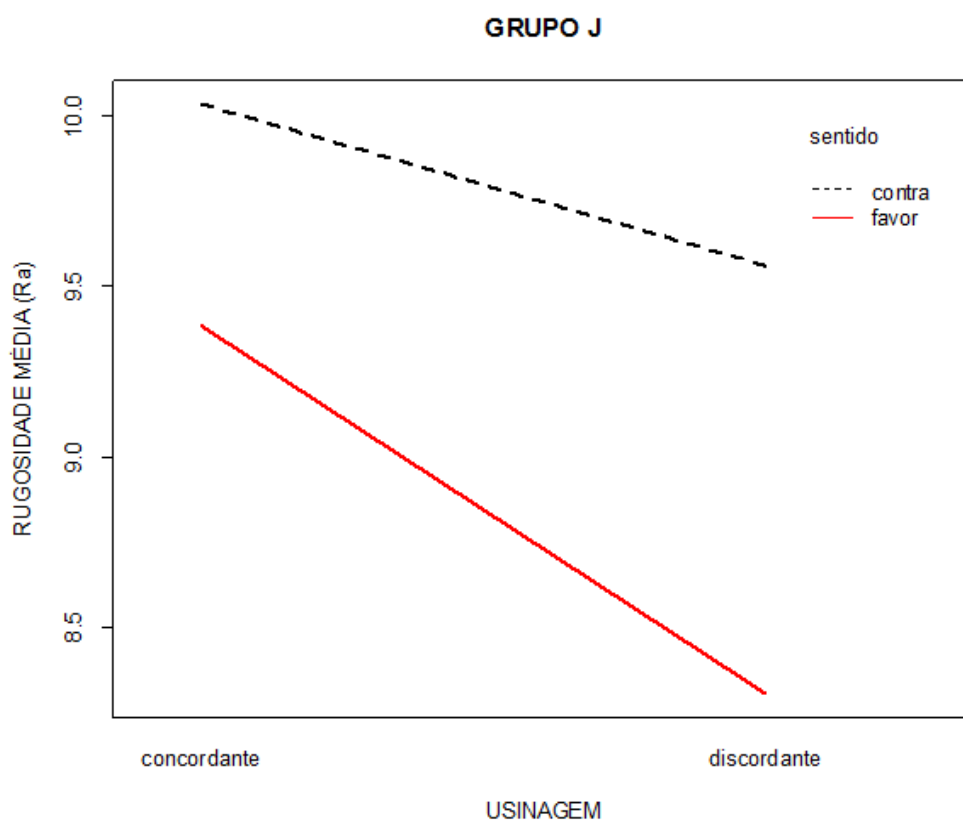


Figura 71. Gráfico da Rugosidade Média (Ra) em função da usinagem para cada sentido de medição.

4.5.11 Pinus utilizando fresa de desbaste ($V_c=25,12$ m/s) Grupo K

A análise de variância realizada não mostrou diferença significativa entre o tipo de usinagem ($F_{1,141}= 2.685$; P-value > 5%) e entre os sentidos (favor e contra) de medição ($F_{1,141}= 0.459$; P-value > 5%).

A Figura 72 mostra o comportamento da rugosidade média (Ra) em função da usinagem para cada sentido (favor e contra) de medição das amostras.

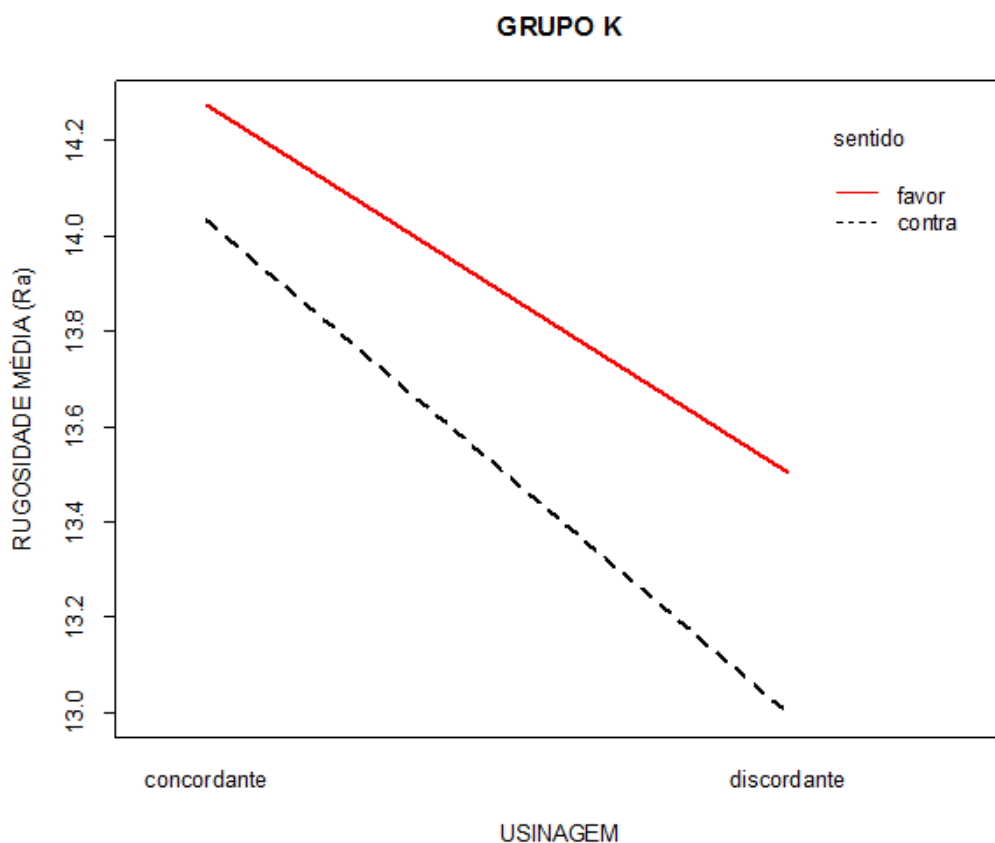


Figura 72. Gráfico da Rugosidade Média (Ra) em função da usinagem para cada sentido de medição.

4.5.12 Pinus utilizando fresa de acabamento ($V_c=25,12$ m/s) Grupo L

A análise de variância realizada mostrou diferença significativa entre o tipo de usinagem ($F_{1,141}= 65.972$; P-value < 5%). Logo entre os sentidos (favor e contra) de medição não houve diferença ($F_{1,141}= 2.415$; P-value > 5%).

A Figura 73 mostra o comportamento da rugosidade média (Ra) em função da usinagem para cada sentido (favor e contra) de medição das amostras.

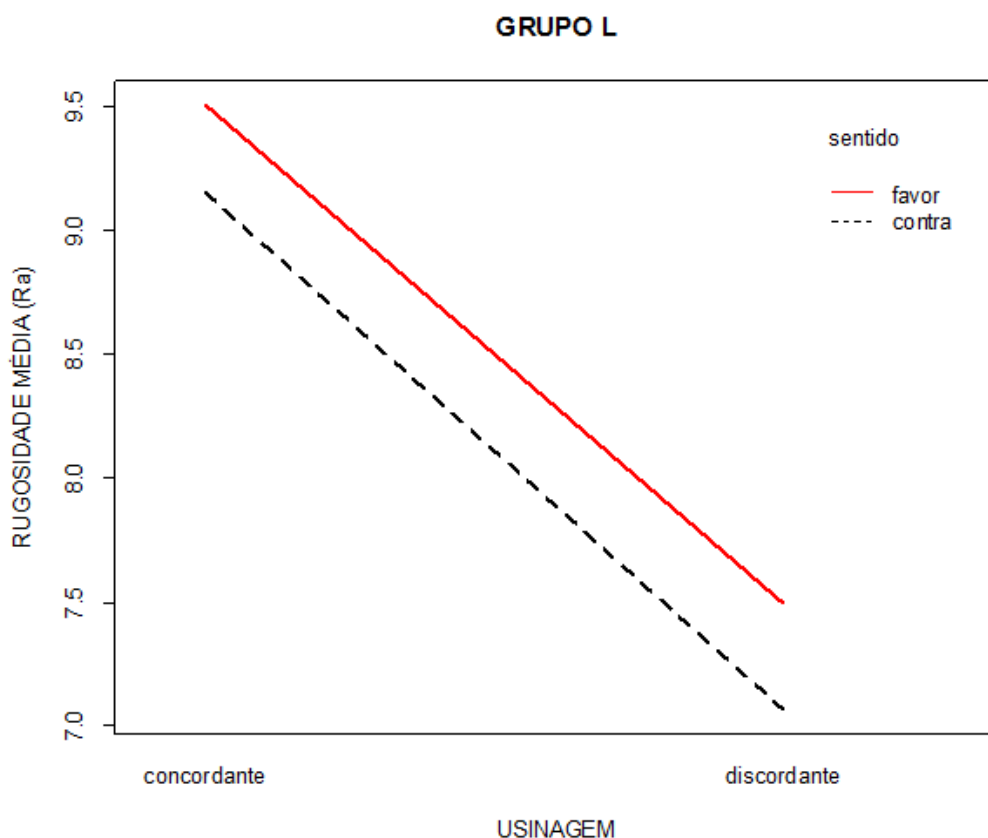


Figura 73. Gráfico da Rugosidade Média (Ra) em função da usinagem para cada sentido de medição.

4.5.13 Eucalipto x Pinus

Para análise da escolha da melhor espécie de madeira que gera o melhor resultado de rugosidade, optou-se em afunilar mais os resultados. Os melhores resultados, que diferem mais, partem de grande maioria da fresa de acabamento.

A análise de variância mostrou diferença significativa entre as espécies ($F_{1,428} = 4.469$; P-value < 5%) e as velocidades de corte ($F_{2,428} = 45.674$; P-value < 5%), utilizando os dados de fresa de acabamento.

A Figura 74 mostra o comportamento da rugosidade média (Ra) em função das velocidades de corte para cada espécie.

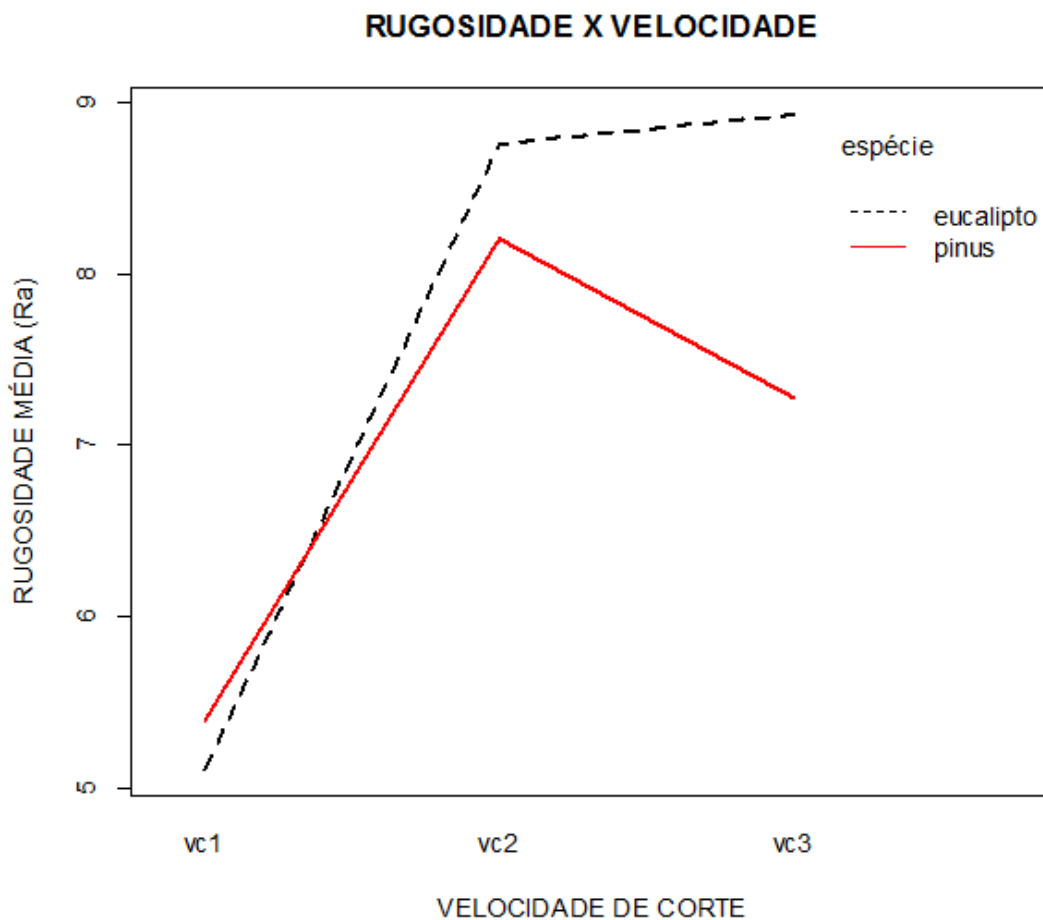


Figura 74. Gráfico da Rugosidade Média (Ra) em função das velocidades de corte para cada espécie.

No caso das velocidades de corte, para saber qual delas diferiu significativamente, foi realizado o teste de Tukey, como mostra a tabela 11.

Tabela 11. Teste de Tukey.

	Vc1 (m/min)	Vc2(m/min)	Vc3(m/min)	Média (espécies)
Eucalipto	5,1	8,8	8,9	7,6 a
Pinus	5,4	8,2	7,3	7,0 b
Média (Vc)	5,2 A*	8,5 B	8,1 B	

**Médias seguidas pelas mesmas letras (minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas) não apresentam diferença estatística (Tukey, $\alpha = 0,05$).*

4.6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.6.1 Entre grupos

Como se observou, considerando-se os sentidos de usinagem concordante e discordante, percebeu-se que na $Vc1 = 33,49$ m/s, as medições de rugosidade média (Ra) a favor e contra não diferem, salve o Grupo B (Figura 63), onde é utilizada a fresa de acabamento. Além disso, o sentido discordante mostra ser mais apropriado para se obter uma rugosidade melhor.

Já nas velocidades de corte $Vc2$ e $Vc3$, apenas os grupos H (Figura 69) e L (Figura 73) se diferem do restante, os outros grupos mostram que quando usadas essas rotações, não existem influências significantes no sentido da medição de rugosidade a favor ou contra e também no sentido concordante ou discordante das peças. Os grupos H e L demonstram então, que a madeira de eucalipto e pinus, usinadas com fresa de acabamento em qualquer das velocidades e no sentido discordante oferecerão uma rugosidade mais apropriada.

4.6.2 Entre espécies de madeira

O gráfico da Figura 74 comprova que a madeira de pinus tem uma tendência a resultar uma melhor rugosidade, quando utilizada a $Vc1 = 33,49$ m/s. O teste de Tukey comprova que a melhor velocidade de corte para usinagem é a que possui rotação igual a 4000 rpm ($Vc1$).

5 CONCLUSÃO

- A metodologia empregada mostrou-se precisa e eficiente, dando agilidade ao processo e verificação na aquisição dos dados necessários para as análises de qualidade superficial dos corpos de prova. Isso se deve principalmente pela utilização da máquina CNC.
- A madeira de pinus elioti (*Pinus elliottii*) obteve melhor acabamento superficial.
- A velocidade de corte de 33,49 m/s (4000 rpm) proporcionou melhor acabamento superficial nas peças usinadas;
- A ferramenta de fresa de acabamento proporcionou melhor acabamento superficial nas peças usinadas;
- A rugosidade (qualidade superficial) das peças após o processo de fresamento possuiu relação significativa quando utilizada a rotação de 4000 rpm, ou seja, a velocidades de corte de 33,49 m/s usando a madeira de pinus elioti (*Pinus elliottii*) e usinando com fresa de acabamento no sentido discordante da peça. Conclui-se que esta formação, quando utilizada uma velocidade de avanço de 3 m/min e uma profundidade de corte de 1 mm, é a que formação que obtem melhores resultados neste trabalho. Além disso, também, que o fator de definição da medição a favor ou contra ao corte da ferramenta no corpo de prova não obteve relação significativa para com as velocidades de corte usadas neste trabalho.

Finalizando, o uso do CNC é uma boa alternativa para o argumento de pesquisa dentro da na área industrial madeireira, e que o emprego deste equipamento trás boas vantagens no quesito velocidade e precisão na usinagem de peças de madeira. Dentre os questionamentos, sugere-se que os corpos de prova fossem normatizados quando fossem realizados estudos semelhantes a este, e que fossem realizados também a medição de umidade, densidade e estabilidade dimensional das peças de madeira para uma conformidade maior dos dados e melhores resultados.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, P.R.G. **Resistência da linha de cola em superfícies lixadas da madeira de eucalipto**. 2012. 108f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Univ: Estadual Paulista - UNESP, Guaratinguetá 2012.

AMORIM, Heraldo José de. **Estudo da relação entre velocidade de corte, desgaste de ferramenta, rugosidade e forças de usinagem em torneamento com ferramenta de metal duro**. 2002. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE - ABIMC. **O SETOR**. Disponível em: <<http://www.abimci.com.br>>. Acesso em: 06 mar. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE - ABIMCI (Brasil). **Estudo setorial 2009 ano base 2008: CENTRAL DE DOCUMENTOS**. 2011. Disponível em: <<http://www.abimci.com.br>>. Acesso em: 06 mar. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1988). **NBR – 6162/88 – Conceito da Técnica de Usinagem, Movimentos e Relações Geométricas – Terminologia**. São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997). **NBR – 7190/97 – Projetos de Estruturas de Madeira**. São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2002). **NBR – ISO 4287/2002 - Especificações geométricas do produto (GPS) – Rugosidade: método do perfil – Termos, definições e parâmetros de rugosidade**. ABNT, 2002.

BATISTA, M. F. (2006). **Estudo da rugosidade de superfícies planas usinadas por fresas de topo esférico**. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo. São Carlos, 2006.

BERNARDOS, P. G., VOSNIAKOS, G. S., 2003. **Predicting surface roughness in machining: a review**. Int. J. Mach. Tools Manuf. 43, 833-844. Blucher, 1977.

BROWN, J. **Advanced machining technology handbook**. 2. ed. New York: Mcgraw-hill, 1998.

CASTRO, Eduardo Martins de; GONÇALVES, Marcos Tadeu Tibúrcio. **Estudo do acabamento superficial em chapas MDF usinadas em processo de fresamento**. 1998.

COSTA, A. R. **Otimização do processo de fresamento de cavidades com fresas de insertos intercambiáveis**. 2003. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica - UNICAMP, Campinas.

COSTA, E. S. **“Disciplina: Processo de Usinagem”**. Divinópolis, MG. 2006. 6 p.

DE CONTI, A. C. **Resistência mecânica de juntas coladas em madeira de *Eucalyptus* sp.** 2011. 103 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L.; **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. 5. Ed., São Paulo: Artliber Editora, 2001.

ESPANHOL, Victor. **Manual Didático CNC**. Porto Alegre: Sagra, 1989.

FENG, C. X. J., WANG, X., 2002. **Development of empirical models for surface roughness prediction in finish turning**. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 20, 348-356.

FERRARESI, D. **Fundamentos da usinagem dos metais**. 9. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1995.

GILBERTO COSTA (Brasil). Agência Brasil. **Setor madeireiro: moderno por combater o desmatamento**. NOTÍCIAS. Disponível em: <planetasustentavel.abril.com.br>. Acesso em: 06 mar. 2013.

GONÇALVES, Marcos Tadeu Tibúrcio. **Processamento da Madeira**. Bauru, SP: Document Center Xerox - USC - Bauru/SP, 2000. 242 p.

HIOKI, D. Influência **dos Parâmetros de Corte do Fresamento HSM sobre o Desempenho Tribológico do Aço AISI H13 Endurecido**. 2006. 233p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – USP, São Paulo.

INDUFRESA - INDAÇO. **Fresas**. Disponível em: <<http://www.grupoindaco.com.br/>>. Acesso em: 11 mar. 2013.

KILIC, M.; HIZIROGLU, S.; BURDURLU, E. **Effect of machining on surface roughness of wood**. Building and Environment, V.41, n.8, p.1074-1078, 2006.

KORKUT, I.; DORNETAS, M. A. (2005). **The influence of feedrate and cutting speed on the cutting forces, surface roughness and tool-chip contact length during face milling**. Materials & Design, Oxford, v.28, n.1, p.308-312.

LYRA, PABLO V. A., (2010). **Desenvolvimento de uma Máquina Fresadora CNC Didática. Trabalho de Graduação em Engenharia de Controle e Automação**, Publicação FT.TG-nº. Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 123p.

MACHADO, A. **“comando numérico aplicado às máquinas-ferramenta”**, 1ª edição-cone Editora, 1986.

MAGOSS, Endre. **General Regularities of Wood Surface Roughness**. 2008. v.4. Artigo - Department Of Wood Engineering, University Of West Hungary, Sopron, Hungary, 2008. p.81-86.

MAIA, L. H. A. **Influência das condições de corte do fresamento do aço baixa liga nos sinais vibracionais e de emissão acústica**. Belo Horizonte, 2009.

PALMA, E. S, **Tolerância de Acabamento – Rugosidade**. 2006. 20p. (Apostila de Metrologia) - PUC MINAS.

PIRATELLI FILHO, Antonio. Rugosidade Superficial. In: 3º SEMINÁRIO-METROLOGIA, 2011, Brasília. **Rugosidade Superficial**. Brasília: Universidade de Brasília (UnB) - Faculdade de Tecnologia - Depto. Engenharia Mecânica, 2011. Pág. 1 – 41.

REDDY, N. S. e RAO, P. V. 2005. **Selection of optimum tool geometry and cutting conditions using a surface roughness prediction model for end milling**. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 26, 1202 – 1210.

SCM GROUP S.P.A (Italy). **Catálogo TECH Z1**, ITA – SPA, 2011. 24 p.

SCM GROUP S.P.A (Italy). **Manual de Instruções: Furadeira - Fresadora CNC**. Rel. 4.1 / 01 - 2011 Rimini (rn): Scm Group S.p.a, 2011. 340 p. (TECH Z1).

SEBRAE NACIONAL – unidade de acesso a mercados (Brasil). Analista: Iuri Barbosa de Andrade. **Tendência do Mercado Brasileiro para o Setor de Móveis: Madeira e Móveis**. 2009. Disponível em: <<http://www.biblioteca.sebrae.com.br>>. Acesso em: 06 mar. 2013.

SENAI – PR. DET. **Fresagem**. Curitiba, 2001. 8 – 20p.

SILVA, S. D. **“CNC: programação de comandos numéricos computadorizados - torneamento”**, 4ª edição – Editora Érica , 2005.

SLACK, N. et. al. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 1996.

SOUZA JÚNIOR, A. M.; **Estudos da Utilização de PCBN e Cerâmica Mista no Fresamento de Blocos de Motores de Ferro Fundido Cinzento**. 2001. 142p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – PUCMINAS, Belo Horizonte.

SOUZA, A. J. D. **Proposição de um novo método de medição do desgaste em ferramentas de corte empregadas em operações de fresamento da madeira**. 2009. 108 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2009.

STEMMER, Caspar Erich. **Ferramentas de corte II: brocas, alargadores, ferramentas de roscas, fresas, brochas, rebolos e abrasivos**. – Florianópolis: Ed. da UFSC, 1992.

STOETERAU, Rodrigo Lima. **Introdução ao Projeto de Máquina - Ferramentas Modernas**. Disciplina de Projeto de Máquinas-Ferramentas. Universidade Federal de Santa Catarina - Centro Tecnológico - Departamento de Engenharia Mecânica. Disponível em: <<http://www.imp.ufsc.br/disciplinas/Stoterau/Maq-ferr-Final-v11.pdf>>. Acesso em: 11 mar. 2013.

TEIXEIRA, Vitor Cesar Magnan. **Avaliação da usinagem da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.)** 2011. 45 f. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Florestal, Departamento de Instituto De Florestas, Universidade Federal Rural Do Rio De Janeiro, Seropédica - RJ, 2011.

VENSON I. **Apostila de Processos de Corte em Madeiras: Fresas para madeira**. Engenharia Industrial Madeireira - Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasivan/>>. Acesso em: 14 mar. 2013.

ZANUTTINI, R. e CREMONINI C. Optimization of the test method for determining the bonding quality of core plywood (blockboard). **Materials and Structures**, v. 35, p. 126-132. 2002.

7 ANEXO A

7.1 MATRIZ DE DADOS

7.1.1 Velocidade de Corte 1 (Vc1) – 4000 rpm

DADOS								
Velocidade de corte --> Vc1 = 33,49 m/min								
GRUPOS	A				B			
Madeira	Eucalipto	Eucalipto	Eucalipto	Eucalipto	Eucalipto	Eucalipto	Eucalipto	Eucalipto
Ferramenta	Desbaste	Desbaste	Desbaste	Desbaste	Acabamento	Acabamento	Acabamento	Acabamento
Usinagem	Concordante	Concordante	Discordante	Discordante	Concordante	Concordante	Discordante	Discordante
Sentido	favor	contra	favor	contra	favor	contra	favor	contra
R u g o s i d a d e	9,4	6,8	8,6	7,2	4,4	4,8	2,4	5,2
	7,2	9,0	4,2	6,2	5,6	5,2	10,4	2,6
	6,2	3,2	3,6	2,8	5,6	7,6	3,0	6,6
	8,2	3,2	3,2	4,8	2,0	6,6	1,3	3,4
	6,4	6,0	4,0	4,8	6,6	3,4	4,0	5,2
	5,0	2,6	6,8	6,4	5,8	3,4	5,0	2,4
	4,2	8,0	7,0	5,6	2,4	4,8	11,8	2,6
	3,8	4,0	5,6	6,6	5,0	1,6	4,8	9,6
	8,2	10,6	3,2	4,4	6,2	3,2	10,8	3,2
	7,4	5,0	6,6	4,4	3,8	2,8	8,4	2,4
	6,8	3,6	5,4	4,6	2,4	5,2	5,4	2,4
	14,8	3,2	4,0	4,4	3,6	5,0	2,0	3,8
	3,8	5,6	4,2	4,0	4,6	5,4	6,4	2,2
	10,4	5,0	4,6	6,0	3,6	3,6	4,4	3,8
	2,8	8,0	7,2	4,8	4,8	4,2	7,6	9,0
	14,4	13,4	3,8	5,8	2,0	4,2	3,4	2,6
	7,2	6,2	3,8	3,4	8,2	4,6	2,8	2,4
	4,8	3,2	4,2	2,8	6,4	2,8	5,0	6,6
	4,2	5,8	6,4	3,8	4,4	3,2	9,0	5,2
	9,0	4,6	2,4	5,0	2,8	2,0	4,8	3,4
7,8	7,2	5,0	3,6	5,2	3,6	2,8	5,0	
27,2	7,6	3,0	6,6	4,4	2,8	3,8	2,8	
6,0	8,0	4,6	5,6	2,8	6,2	13,4	3,0	
11,2	19,0	4,0	9,8	2,8	5,4	2,8	3,4	
8,0	27,6	5,6	4,4	5,8	9,0	13,6	3,6	
5,2	6,8	3,2	7,2	4,4	4,0	3,0	6,2	
5,0	5,4	5,6	7,4	3,8	2,8	4,2	7,2	
4,6	6,6	10,0	5,6	4,4	3,4	6,6	4,8	
9,6	9,2	6,8	2,8	2,4	3,6	4,8	3,2	
4,8	14,8	5,0	2,8	6,6	5,0	8,0	3,0	
6,2	11,0	3,6	9,6	6,6	2,2	4,0	3,8	
7,2	7,6	7,4	6,2	2,4	0,8	3,6	9,2	
5,4	6,4	4,8	3,6	3,8	5,6	8,4	5,0	
4,2	5,4	7,0	4,8	5,4	2,4	3,8	3,0	
6,2	5,6	3,6	6,2	3,0	7,2	5,8	2,8	
4,8	6,6	3,6	5,2	3,6	3,4	10,2	6,0	
MÉDIA	7,4	7,6	5,0	5,3	4,4	4,2	5,9	4,4
DESvio	4,363615801	4,85548291	1,733772838	1,702845424	1,56152144	1,742566981	3,276441885	2,045412987

C				D			
Pinus	Pinus	Pinus	Pinus	Pinus	Pinus	Pinus	Pinus
Desbaste	Desbaste	Desbaste	Desbaste	Acabamento	Acabamento	Acabamento	Acabamento
Concordante	Concordante	Discordante	Discordante	Concordante	Concordante	Discordante	Discordante
favor	contra	favor	contra	favor	contra	favor	contra
7,0	5,8	8,4	5,2	3,0	5,6	6,8	3,4
6,6	12,6	4,6	3,6	4,4	4,6	6,8	5,4
5,0	6,6	9,6	7,2	6,8	3,8	6,2	8,6
5,2	9,6	7,6	3,8	6,4	3,4	7,0	9,0
6,8	3,8	7,0	5,0	2,6	4,4	7,6	7,6
8,8	4,8	6,6	9,0	5,0	4,8	7,8	5,6
6,4	7,8	3,4	4,4	3,0	3,4	6,2	4,2
4,8	7,0	4,2	4,4	4,6	6,8	4,2	3,8
6,0	6,8	5,0	7,6	3,4	3,8	5,8	6,2
6,6	6,8	4,0	6,8	4,6	6,0	3,4	7,4
8,0	3,4	5,4	5,4	4,6	4,2	7,0	4,4
5,6	6,6	6,0	7,6	4,6	3,6	5,6	5,2
5,0	10,6	4,8	6,8	5,0	5,0	4,6	7,0
6,4	5,0	4,8	7,2	2,6	6,4	5,6	5,6
7,2	5,2	5,8	5,4	5,6	8,2	7,8	3,8
6,8	5,4	5,8	6,8	3,6	3,8	6,0	5,2
6,8	6,2	4,6	4,8	5,4	3,8	4,6	5,4
7,2	6,4	6,8	6,4	4,0	5,0	5,4	4,4
8,2	5,8	6,0	3,6	2,4	5,0	6,2	7,2
7,4	5,4	3,8	6,8	6,8	2,6	6,2	5,8
5,2	5,2	7,8	5,2	5,8	5,2	5,6	4,4
7,4	6,6	4,2	4,6	3,4	3,6	5,6	6,8
8,2	5,2	6,2	7,0	5,2	3,6	4,8	5,8
8,6	5,6	6,6	6,2	3,8	3,8	5,0	5,2
8,6	4,2	3,8	5,6	3,0	3,8	6,0	5,8
9,2	4,8	6,0	4,6	3,0	5,0	4,4	3,0
4,2	6,0	5,2	3,0	5,0	2,8	5,2	4,0
7,0	5,8	3,6	8,4	2,4	3,2	6,0	4,4
8,8	7,0	5,6	3,4	4,4	4,2	2,8	5,6
9,8	7,4	4,4	4,2	2,4	2,8	3,6	4,6
3,2	7,0	4,6	5,0	2,4	2,4	5,4	4,0
7,6	6,0	6,0	6,4	3,4	4,8	3,8	2,6
4,4	7,8	3,8	4,6	4,2	5,8	4,6	4,8
5,4	5,6	6,6	9,0	4,4	6,0	6,4	5,2
9,0	8,2	4,0	4,6	3,4	5,4	4,4	3,2
9,0	8,2	6,8	5,0	3,4	4,4	5,4	4,4
6,9	6,5	5,5	5,7	4,1	4,5	5,6	5,3
1,615745933	1,819497576	1,467218511	1,576524206	1,257157287	1,26414536	1,219250355	1,505323885

7.1.2 Velocidade de Corte 2 (Vc2) – 3500 rpm

DADOS								
Velocidade de corte --> Vc1 = 29,31 m/min								
GRUPOS	E				F			
Madeira	Eucalipto	Eucalipto	Eucalipto	Eucalipto	Eucalipto	Eucalipto	Eucalipto	Eucalipto
Ferramenta	Desbaste	Desbaste	Desbaste	Desbaste	Acabamento	Acabamento	Acabamento	Acabamento
Usinagem	Concordante	Concordante	Discordante	Discordante	Concordante	Concordante	Discordante	Discordante
Sentido	favor	contra	favor	contra	favor	contra	favor	contra
R u g o s i d a d e	12,0	10,6	16,6	13,8	5,8	11,4	12,0	5,8
	14,6	15,4	14,6	20,2	7,8	4,8	14,0	4,8
	16,6	12,2	15,2	19,2	7,0	10,2	5,8	4,8
	18,0	13,4	11,8	15,8	7,2	7,6	7,6	6,0
	22,2	17,4	13,2	13,0	6,0	16,2	15,6	6,6
	23,2	44,8	10,0	11,6	8,4	8,4	9,2	4,6
	5,0	18,0	8,8	9,2	7,4	9,4	4,4	17,4
	10,2	14,2	8,2	13,0	10,8	7,8	10,6	11,8
	11,0	12,6	14,4	11,8	5,2	6,8	6,6	14,6
	4,6	13,2	12,8	14,2	7,8	18,2	7,2	7,4
	9,4	6,8	11,4	11,6	10,4	11,0	13,0	5,2
	8,0	8,8	10,6	10,8	7,6	9,6	7,6	9,4
	5,6	6,4	13,4	12,8	8,4	7,2	5,8	7,4
	8,8	5,8	10,8	12,8	5,4	4,6	5,0	16,2
	13,4	14,2	9,0	12,2	14,0	13,2	8,2	7,6
	12,2	13,4	7,6	17,2	4,4	5,6	4,4	5,2
	8,8	5,2	13,0	15,6	13,2	6,8	3,8	12,8
	19,4	13,4	10,0	11,8	4,6	5,0	3,0	11,2
	13,6	9,6	18,6	9,0	11,4	5,2	10,2	7,2
	9,6	10,6	9,2	13,0	9,2	9,2	11,0	9,8
12,4	15,0	11,0	14,0	13,2	7,6	5,0	5,8	
13,2	11,6	10,2	16,6	5,0	6,8	12,8	5,2	
6,6	9,8	12,8	12,6	5,0	9,6	4,4	12,2	
10,0	16,4	14,6	17,4	4,6	4,4	7,0	8,8	
39,8	15,0	12,2	14,2	7,8	9,6	6,0	9,8	
22,4	16,0	12,6	4,4	9,6	11,4	6,8	10,0	
12,0	16,0	11,0	15,2	6,0	5,4	12,6	7,4	
19,8	20,6	8,0	6,8	6,4	7,4	5,0	15,4	
23,8	15,4	8,8	11,4	9,8	10,6	5,8	21,0	
14,8	17,0	19,4	12,2	9,2	12,4	7,4	10,6	
26,0	15,0	13,8	13,8	14,2	7,0	4,6	14,4	
19,6	10,8	13,4	13,2	4,2	4,8	6,0	6,2	
21,4	15,6	20,2	17,2	6,4	5,4	14,8	10,0	
20,4	14,8	15,6	16,4	4,6	9,4	8,6	10,4	
18,6	23,2	17,8	23,2	5,2	10,6	9,2	9,0	
29,2	12,6	17,2	20,2	7,4	10,6	11,6	6,0	
MÉDIA	15,5	14,2	12,7	13,8	7,8	8,6	8,1	9,4
DESvio	7,555414331	6,551762152	3,324497814	3,720637426	2,849956836	3,211447777	3,421663013	4,0380885

G				H			
Pinus	Pinus	Pinus	Pinus	Pinus	Pinus	Pinus	Pinus
Desbaste	Desbaste	Desbaste	Desbaste	Acabamento	Acabamento	Acabamento	Acabamento
Concordante	Concordante	Discordante	Discordante	Concordante	Concordante	Discordante	Discordante
favor	contra	favor	contra	favor	contra	favor	contra
9,8	17,8	14,2	14,8	6,0	3,0	12,0	23,2
23,6	24,0	15,8	12,8	5,0	6,8	9,4	17,4
12,0	27,2	14,8	19,6	7,4	3,4	8,6	26,6
16,2	11,2	21,0	15,4	4,0	8,2	13,4	15,6
17,0	9,2	17,8	15,8	9,4	4,6	11,4	19,0
11,8	16,6	14,4	12,2	7,6	6,8	12,0	13,2
16,8	16,8	18,4	19,4	6,0	6,2	6,6	7,4
27,6	14,6	18,8	14,8	7,2	5,2	7,0	7,8
13,4	13,4	18,0	19,8	6,6	6,4	7,2	7,2
11,8	15,4	21,2	19,8	4,8	4,6	10,0	5,2
20,8	13,0	15,0	24,6	8,4	8,4	8,4	8,8
10,4	14,4	18,0	15,0	4,6	11,0	9,2	6,4
8,2	13,6	12,4	11,6	7,6	3,8	7,4	7,6
14,2	14,0	13,6	12,6	3,2	4,2	6,2	7,4
13,2	12,2	17,6	12,8	6,8	6,6	8,4	5,2
10,8	21,8	21,8	11,0	5,4	6,8	7,4	7,4
17,2	18,8	20,8	10,4	5,8	5,8	8,6	7,4
15,4	17,2	28,4	10,6	5,0	4,0	6,8	6,4
11,8	14,0	10,0	12,4	3,6	8,2	7,2	7,4
14,2	13,0	12,0	12,0	8,8	6,0	4,6	7,6
13,2	13,0	12,0	11,8	8,0	8,2	5,0	7,0
12,2	12,0	13,2	12,2	4,2	6,0	6,2	6,2
10,8	10,8	8,2	9,2	7,6	5,6	8,6	9,2
10,0	13,4	10,6	12,4	4,8	5,6	7,4	5,4
9,8	15,4	9,8	12,2	9,8	6,0	7,8	6,6
10,8	11,8	14,2	12,0	12,6	7,2	8,0	7,0
13,0	15,2	11,0	10,8	4,8	4,6	6,0	6,8
10,2	13,0	10,4	13,8	5,8	6,6	4,4	6,4
17,4	11,2	10,2	11,8	6,4	7,2	7,2	7,6
9,4	14,0	12,0	17,6	6,6	5,0	9,8	6,6
12,8	11,4	10,2	12,0	8,6	5,8	7,2	8,6
12,8	17,6	11,4	11,0	8,0	7,2	5,2	4,0
15,0	12,0	11,8	14,0	4,0	4,6	5,2	8,2
22,6	16,2	11,2	10,4	4,6	7,2	4,0	6,0
12,2	11,6	7,8	11,8	5,4	8,4	3,8	4,6
14,2	14,0	10,6	11,2	7,2	15,4	4,2	4,8
14,0	14,7	14,4	13,7	6,4	6,4	7,6	8,9
4,271318149	3,717022191	4,569335334	3,401381605	2,007699465	2,266519603	2,350136774	5,160509388

7.1.3 Velocidade de Corte 3 (Vc3) – 3000 rpm

DADOS									
Velocidade de corte --> Vc1 = 25,12 m/min									
GRUPOS	I				J				
Madeira	Eucalipto	Eucalipto	Eucalipto	Eucalipto	Eucalipto	Eucalipto	Eucalipto	Eucalipto	
Ferramenta	Desbaste	Desbaste	Desbaste	Desbaste	Acabamento	Acabamento	Acabamento	Acabamento	
Usinagem	Concordante	Concordante	Discordante	Discordante	Concordante	Concordante	Discordante	Discordante	
Sentido	favor	contra	favor	contra	favor	contra	favor	contra	
R u g o s i d a d e	14,8	14,2	15,6	12,6	14,8	7,4	8,4	10,8	
	18,8	9,6	15,8	12,6	10,2	9,0	7,2	12,4	
	11,2	12,2	17,2	17,4	7,6	7,8	8,0	7,8	
	11,6	15,2	18,8	14,0	7,4	14,0	5,0	5,2	
	10,2	15,6	16,4	16,4	10,4	11,6	12,0	7,4	
	17,0	17,2	17,2	12,6	13,0	8,8	7,6	6,4	
	15,6	17,6	14,8	14,2	12,0	8,8	8,6	9,8	
	13,2	18,4	15,8	16,6	11,8	8,2	9,4	9,2	
	20,8	12,8	20,8	17,6	10,8	7,8	10,4	9,4	
	17,6	13,4	12,6	19,0	9,0	16,4	11,2	6,8	
	21,0	15,4	15,4	10,0	7,2	11,0	6,6	7,4	
	14,2	25,4	12,6	16,8	10,8	9,8	8,0	5,4	
	9,8	11,6	12,8	14,4	13,6	9,2	5,6	13,4	
	21,6	12,8	12,0	19,2	12,8	7,2	5,2	10,4	
	14,0	7,0	20,4	17,8	7,6	10,2	6,2	7,0	
	9,0	11,0	23,8	19,2	11,4	11,0	7,8	9,8	
	16,4	11,8	24,4	14,8	8,8	14,4	5,0	8,4	
	16,0	13,6	27,0	16,8	8,2	7,8	13,2	7,2	
	M é d i a	12,4	15,8	14,4	10,6	10,8	11,8	5,2	6,8
		17,4	8,8	16,2	8,6	5,4	6,6	9,8	5,8
21,6		9,6	15,8	21,6	11,2	9,6	7,6	7,8	
24,8		20,4	9,4	13,6	7,6	11,6	6,8	11,0	
19,4		20,0	23,2	13,4	8,8	5,8	9,6	4,4	
21,2		20,0	17,8	10,8	8,8	9,0	7,6	7,0	
11,4		15,2	10,8	16,4	12,8	10,6	6,2	21,6	
8,2		11,0	14,4	14,8	7,8	12,0	7,0	28,2	
11,6		12,8	16,4	15,4	5,6	8,2	8,2	16,0	
13,8		10,6	19,6	13,8	8,2	14,0	10,6	9,4	
R a v	21,8	23,8	10,0	13,0	7,8	13,8	14,0	5,2	
	24,6	15,2	15,8	13,2	7,6	10,0	12,0	4,8	
	10,4	17,2	16,8	13,8	6,8	11,0	12,6	18,0	
	17,4	15,6	19,0	15,8	8,4	9,4	8,8	13,0	
	15,6	9,8	12,8	14,4	8,0	9,2	5,2	7,8	
	13,2	19,2	16,4	18,4	10,4	6,6	6,8	6,4	
	14,0	24,2	22,6	17,4	6,2	8,0	6,2	11,6	
	14,6	16,4	18,2	12,4	8,2	13,6	9,4	5,2	
	MÉDIA	15,7	15,0	16,8	15,0	9,4	10,0	8,3	9,6
	DESvio	4,446032653	4,430786952	4,089393947	2,880228166	2,354509351	2,52145083	2,452514097	4,957377059

K				L			
Pinus	Pinus	Pinus	Pinus	Pinus	Pinus	Pinus	Pinus
Desbaste	Desbaste	Desbaste	Desbaste	Acabamento	Acabamento	Acabamento	Acabamento
Concordante	Concordante	Discordante	Discordante	Concordante	Concordante	Discordante	Discordante
favor	contra	favor	contra	favor	contra	favor	contra
15,0	14,4	19,8	18,8	9,4	12,4	7,6	6,2
21,4	13,2	13,4	14,8	10,4	9,0	5,6	6,4
13,2	13,2	13,6	16,6	9,2	8,6	8,2	11,4
14,2	13,8	14,0	14,4	10,0	7,2	8,2	7,6
11,0	12,2	21,6	18,2	7,2	7,8	4,8	4,8
11,6	15,6	11,4	18,0	8,8	8,8	8,4	7,2
15,8	13,0	17,6	15,8	10,2	9,0	7,0	8,4
14,0	11,2	16,2	15,8	9,0	10,0	5,8	6,0
13,0	21,4	15,8	17,2	9,0	13,4	7,0	6,6
14,8	12,6	28,2	22,0	10,8	8,2	7,0	5,8
13,0	14,8	22,2	14,8	11,2	6,6	9,2	6,6
13,4	13,8	16,4	13,0	9,0	11,2	13,2	8,6
12,6	14,8	11,6	9,0	10,4	9,6	6,8	8,4
13,4	10,2	12,0	17,2	9,4	10,8	5,8	7,0
17,4	14,2	11,6	10,2	10,0	7,2	9,6	7,2
14,4	16,4	18,8	12,4	7,8	8,6	9,4	10,8
11,4	11,2	17,0	12,0	9,8	7,2	5,6	6,2
11,8	14,2	12,2	11,2	8,4	12,4	6,4	6,4
12,8	17,8	9,6	13,4	11,2	10,0	6,2	10,0
15,6	14,6	10,4	10,0	8,8	7,2	6,8	7,0
14,8	13,6	8,8	11,6	9,2	8,2	5,6	7,8
12,6	13,6	10,4	11,8	7,2	7,8	6,8	6,6
13,0	14,4	11,8	10,8	8,0	10,8	8,8	5,2
18,4	18,8	10,0	10,2	12,4	9,4	6,4	5,2
10,4	23,4	11,2	13,2	8,4	9,4	7,8	7,0
15,2	13,8	9,4	11,4	8,8	10,0	6,6	7,0
15,6	12,2	11,6	10,6	7,8	6,6	8,4	6,8
18,6	12,0	12,4	9,6	9,0	8,8	7,0	6,8
18,0	14,4	13,2	11,0	9,6	10,4	7,6	4,8
14,8	12,6	12,0	9,4	8,0	9,0	8,8	7,0
14,4	13,0	9,0	11,4	11,2	9,8	8,8	6,6
10,2	11,2	11,6	11,4	12,2	8,8	7,2	6,4
15,8	9,2	9,2	10,0	11,0	10,6	8,8	8,4
13,4	15,6	8,6	8,8	10,2	7,4	7,6	5,8
12,2	12,0	10,0	12,0	8,8	8,6	6,2	9,0
16,6	12,8	13,6	10,0	10,4	8,8	9,0	5,4
14,3	14,0	13,5	13,0	9,5	9,2	7,5	7,1
2,451426536	2,819321094	4,377210099	3,257343352	1,295694947	1,635401994	1,587450787	1,52914542

7.2 ANÁLISES DE VARIÂNCIA DOS GRUPOS

7.2.1 Grupo A

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
usi	1	197.4	197.40	16.39	8.47e-05	***
sentido	1	1.0	0.97	0.08	0.777	
Residuals	141	1698.4	12.05			

7.2.2 Grupo B

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
usi	1	24.6	24.585	4.749	0.0310	*
sentido	1	26.3	26.266	5.073	0.0258	*
Residuals	141	730.0	5.177			

7.2.3 Grupo C

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
usi	1	39.7	39.69	15.025	0.000162	***
sentido	1	0.7	0.69	0.263	0.608946	
Residuals	141	372.5	2.64			

7.2.4 Grupo D

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
usi	1	44.22	44.22	25.293	1.47e-06	***
sentido	1	0.03	0.03	0.019	0.89	
Residuals	141	246.52	1.75			

7.2.5 Grupo E

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
usi	1	87	86.80	2.768	0.0984
sentido	1	0	0.23	0.007	0.9313
Residuals	141	4422	31.36		

7.2.6 Grupo F

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
usi	1	10.5	10.45	0.906	0.3428
sentido	1	40.1	40.11	3.476	0.0644
Residuals	141	1627.3	11.54		

7.2.7 Grupo G

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
usi	1	3.7	3.738	0.231	0.631
sentido	1	0.0	0.010	0.001	0.980
Residuals	141	2279.0	16.163		

7.2.8 Grupo H

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
usi	1	115.2	115.20	11.107	0.0011
sentido	1	15.0	14.95	1.441	0.2319
Residuals	141	1462.5	10.37		

7.2.9 Grupo I

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
usi	1	8.9	8.90	0.554	0.4579
sentido	1	55.5	55.50	3.456	0.0651
Residuals	141	2264.6	16.06		

7.2.10 Grupo J

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
usi	1	21.6	21.62	2.045	0.1549
sentido	1	32.7	32.68	3.091	0.0809
Residuals	141	1490.5	10.57		

7.2.11 Grupo K

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
usi	1	29.2	29.160	2.685	0.104
sentido	1	5.0	4.988	0.459	0.499
Residuals	141	1531.1	10.859		

7.2.12 Grupo L

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
usi	1	150.9	150.88	65.972	2.07e-13
sentido	1	5.5	5.52	2.415	0.122
Residuals	141	322.5	2.29		
