



Universidade Estadual Paulista
"Julio Mesquita Filho"



FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA DE PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

VALTER ROBERTO DE BRITO CELESTINO

**ANÁLISE COMPARATIVA DO USO DE FERRAMENTAS DE
METAL DURO SEM REVESTIMENTO E REVESTIDAS COM
DIBORETO DE TITÂNIO NA USINAGEM DA MADEIRA**

Bauru, SP

Julho - 2015

VALTER ROBERTO DE BRITO CELESTINO

**ANÁLISE COMPARATIVA DO USO DE FERRAMENTAS DE
METAL DURO SEM REVESTIMENTO E REVESTIDAS COM
DIBORETO DE TITÂNIO NA USINAGEM DA MADEIRA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Bauru, no programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica área de Processos de Fabricação, como parte dos requisitos para o título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Orientador: **Prof. Dr. Manoel Cleber de Sampaio Alves**

Bauru, SP

Julho – 2015

CELESTINO, V. R. B.

Análise comparativa do uso de ferramentas de metal duro sem revestimento e revestidas com Diboreto de titânio na usinagem da madeira / Valter Roberto de Brito Celestino, 2015. 194f.

Orientador: Dr. Manoel Cleber de Sampaio Alves

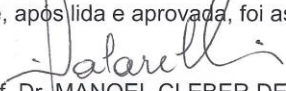
Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2015.

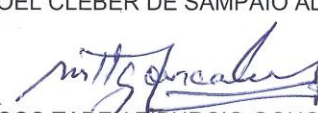
1. Emissão Acústica. 2. Potência. 3. Torneamento. 4. Rugosidade. 5. Vibração I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II Título

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE VALTER ROBERTO DE BRITO CELESTINO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA, DO(A) FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU.

Aos 22 dias do mês de junho do ano de 2015, às 10:00 horas, no(a) Anfiteatro da Seção Técnica de Pós-graduação, da Faculdade de Engenharia de Bauru, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. MANOEL CLEBER DE SAMPAIO ALVES do(a) Departamento de Materiais e Tecnologia / Faculdade de Engenharia de Guaratingueta, Prof. Dr. MARCOS TADEU TIBURCIO GONCALVES do(a) Coordenadoria Executiva / Unidade de Itapeva, Prof. Dr. IVALDO DE DOMENICO VALARELLI do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Bauru, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de VALTER ROBERTO DE BRITO CELESTINO, intitulado "ANÁLISE COMPARATIVA DO USO DE FERRAMENTAS DE METAL DURO SEM REVESTIMENTO E REVESTIDAS COM DIBORETO DE TITÂNIO NA USINAGEM DA MADEIRA".

Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.


Prof. Dr. MANOEL CLEBER DE SAMPAIO ALVES


Prof. Dr. MARCOS TADEU TIBURCIO GONCALVES


Prof. Dr. IVALDO DE DOMENICO VALARELLI

*Faze do instante que passa
Toda a tua aspiração;
Que o mundo cheio de graça
Caberá na tua mão!*

Ronald de Carvalho, 1919.

Dedico este trabalho ao meu pai, Jarbas Tavares e minha mãe, Gilza Celeste de Brito pelos dons que me deram, e dedico também à minha paciente esposa Cristina e para meu adorado e amado filho Péricles Augusto e todos os familiares e amigos, que atuaram como mola propulsora deste trabalho, somando cada um, fragmentos de amor e compreensão, e agregando à coragem, determinação e oportunidades que me trouxeram até esta etapa. Que o conhecimento adquirido neste ou em qualquer trabalho de pesquisa voltada ao torneamento e processamento de madeira, possa contribuir para o futuro e evolução das pesquisas acadêmicas dentro e fora das universidades Brasileiras.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pai todo poderoso, pela infinita bondade a que tem me agraciado e as pessoas que pôs em meu caminho e pela paciência e sabedoria com a qual tem me guiado todos os dias de minha vida, em tudo que faço, como neste trabalho. Agradeço o apoio e a expectativa de minha adorada esposa e meu filho, que mesmo nos momentos mais difíceis, serviram como bússola para que eu encontrasse o caminho certo, baseado na verdade, no amor e na justiça. Ao meu orientador, Professor Dr. Manoel Cleber de Sampaio Alves pela coragem de aceitar o desafio de me orientar e pela ajuda na definição e construção deste trabalho. Ao Professor Dr. Ivaldo de Domenico Valarelli, que me acolheu tendo dado toda atenção necessária e compartilhando comigo além de conhecimento, uma amizade inestimável, ao mais que amigo Marcus Antonio Pereira Bueno, a quem realmente devo muito, seja pela amizade, seja pelas dicas e conselhos muito úteis durante este projeto, Ao amigo Marcelo Capella Campos pela grande amizade que se arrasta desde a graduação na faculdade de tecnologia de Jahu e aos professores Carlos Alberto Soufen e Eduardo Carlos Bianchi tanto pelo conhecimento que compartilharam, como pelas boas horas de conversa durante todo este curso de mestrado. Agradeço ao Professor Doutor Gilberto de Magalhães por dar a oportunidade de ingressar no curso de mestrado, e aos amigos Wanderley, Jonny Max Catarino, Fernanda e Gabriel pelo apoio dado. Agradeço aos profissionais da seção de Pós-Graduação e secretaria acadêmica e aos técnicos de laboratório Hamilton, Luis, Hélio e Cristiano pela paciência e apoio com o aprendizado dos equipamentos utilizados durante a realização deste trabalho. Agradeço a todos os técnicos do departamento de materiais e tecnologia de Guaratinguetá, em especial ao amigo Cleverson Pinheiro pela ajuda na compilação dos dados aquisitados durante o procedimento experimental de torneamento.

RESUMO

ANÁLISE COMPARATIVA DO USO DE FERRAMENTAS DE METAL DURO SEM REVESTIMENTO E REVESTIDAS COM DIBORETO DE TITÂNIO NA USINAGEM DA MADEIRA.

A utilização de processos de usinagem para dar forma e acabamento à madeira tem sido ampliada muito nos últimos anos, levada pela necessidade de peças que contenham um melhor acabamento superficial atrelado à boa produtividade que é conseguida pelo aperfeiçoamento contínuo de equipamentos e de ferramentas para processar a madeira. Este trabalho utilizou um sistema experimental de torneamento com um novo cabeçote porta-ferramenta, contendo sensores de potência, vibração e emissão acústica acoplados em um torno EMCO Compact 5, muito comum para procedimentos didáticos, adaptado para o processamento de madeiras de pinus spp e eucaliptus spp, a fim de demonstrar pela utilização da instrumentação do processo, pode influenciar positivamente na análise de alguns parâmetros como a rugosidade média (R_a) e rugosidade total (R_t), além dos valores de emissão acústica, potência de corte e vibração. A coleta dos dados se mostrou eficiente e precisa para os parâmetros principais de velocidades de avanço em 40 mm/min, 70 mm/min e 100 mm/min e variações da profundidade de corte em 0,5 mm; 1,0 mm; e 1,5 mm; com velocidade de corte constante, e o uso de duas ferramentas de metal duro, uma constituída por metal duro polido e sem revestimento e outra ferramenta revestida com diboreto de titânio. Entre os principais resultados obtidos, nota-se que a ferramenta com revestimento não influenciou na rugosidade média, e proporcionou menor rugosidade total e potência consumida, mas apresentou maiores valores para a vibração e emissão acústica captada durante os experimentos. Com relação ao tipo de madeira, os dados aquistados estão coerentes, exceto pelos valores de potência consumida, que podem estar ligados a características próprias das peças de madeira usadas.

PALAVRAS-CHAVE: Emissão Acústica, Potência. Torneamento, Rugosidade, Vibração.

ABSTRACT

COMPARATIVE ANALYSIS OF CARBIDE COATED TOOLS WITH TITANIUM DIBORATE AND WITHOUT COATED IN THE WOOD MACHINING

The use of machining processes to shape and finish will wood has been greatly expanded in recent years, driven by the need for parts that contain a better surface finish tied will good productivity is achieved by continuous improvement of equipment and tools to process wood. This study used an experimental turning system with a new tool holder head, containing power sensors, vibration and acoustic emission engaged in a lathe EMCO Compact 5, very common for teaching procedures, adapted for the processing of wood pinus spp and eucalyptus spp, to demonstrate the use of the process instrumentation, can positively influence the analysis of some parameters such as the average roughness (R_a), total roughness (R_t), plus the acoustic emission values, cutting performance and vibration. Data collection was efficient and accurate for the main parameters of forward speeds at 40 mm / min, 70 mm / min and 100 mm / min and variations of the cutting depth of 0.5 mm; 1.0 mm; and 1.5 mm; with constant surface speed, and the use of two carbide tools, consisting of a polished carbide and uncoated and coated other tool with titanium diboride. The main results obtained, it is noted that the coating tool did not influence the average roughness, and provided lower total roughness and consumed power, but showed higher values for vibration and acoustic emission captured during the experiments. Regarding the type of wood, obtained data are consistent, except for the consumed power values, which may be linked to characteristics of used pieces of wood.

Keywords: Acoustic Emission, Potency, Turning, Roughness, vibration.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	-	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAF	-	Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas
ANOVA	-	Análise de Variância
ANSI	-	American National Standard Institute
a_p	-	Profundidade de corte
BAM	-	<i>Cerâmica de boro+alumínio+magnésio</i>
CBN	-	<i>Nitreto cúbico de Boro</i>
CNC	-	Comando Numérico Computadorizado
Co	-	<i>Cobalto</i>
CV	-	Coeficiente de Variação
CVD		Chemical vapor deposition
DP	-	Desvio Padrão
EA	-	Emissão Acústica
f1	-	Ferramenta de Metal duro
f2	-	Ferramenta de metal duro com Diboreto de titânio
FEPASA	-	<i>Ferrovia paulista S/A</i>
IPT	-	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISO	-	International Organization for Standardization
m1	-	Madeira de pinus
m2		Madeira de eucaliptus
NBR	-	Norma Brasileira Registrada
Pot.	-	Potência
PVD	-	<i>Physical Vapor Deposition</i>
R_t	-	Rugosidade total
R_a	-	Rugosidade média
TaC	-	<i>Carbeto de Talântio</i>
TiB	-	<i>Monoboreto de Titânio</i>
TiB_2	-	<i>Diboreto de Titânio</i>
TiC	-	<i>Carbeto de Titânio</i>
V_f	-	Velocidade de Avanço
Vib	-	Vibração mecânica.
Wc	-	<i>Carbeto de tungstênio</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Ângulo de incidência da ferramenta	[Graus]
β	Ângulo de cunha da ferramenta	[Graus]
λ	Ângulo de inclinação do gume principal da ferramenta	[Graus]
γ	Ângulo de saída da ferramenta	[Graus]
ϕ_1	Ângulo de entrada da ferramenta	[Graus]
κ_r	Ângulo de direção do gume da ferramenta	[Graus]
ϕ_s	Ângulo de ataque	[Graus]
A_D	Seção transversal de usinagem	[mm ²]
a_e	Penetração de trabalho	[mm]
a_p	Profundidade de corte	[mm]
A_z	Seção transversal do cavaco	[mm ²]
D	Diâmetro da ferramenta	[mm/rot.]
f	Avanço	[N]
F_a	Força ativa	[N]
F_c	Força de corte	[N]
F_{cn}	Força normal de corte	[N]
F_{fn}	Força normal de avanço	[N]
F_n	Força normal	[N]
F_z	Avanço por dente (gume)	[mm/rot.]
H	Espessura de corte	[mm]
h_m	Espessura média de cavaco	[mm]
h_{max}	Espessura máxima de corte	[mm]
$K_{cl.1}$	Força específica de corte	[N/mm ²]
V_f	Velocidade de avanço da peça	[m/min]
V_c	Velocidade de corte	[m/s]
M_e	Massa específica básica da madeira	[g/cm ³]
n	Rotação da ferramenta	[RPM]
P_e	Potência específica	[KW/mm ²]
R_a	Rugosidade média	[μm]
R_t	Rugosidade total	[μm]
U	Teor de umidade	[%]
r_o	Raio do gume	[μm]

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. . Mapa das áreas plantadas de pinus e eucaliptus no Brasil.....	21
Figura 2. Padrões de densidade para varias espécies de árvore.....	23
Figura 3. Características visuais da madeira de pinus	26
Figura 4 Características visuais do <i>Eucalyptus grandis</i>	30
Figura 5. Relação da dureza da ferramenta com desgaste e tenacidade	34
Figura 6. Micrografia do pó triturado de WC, e micrografia de Boro triturado	37
Figura 7. Rede de átomos de Boro em matriz da estrutura cristalina hexagonal de Titânio	42
Figura 8. Arranjo Estrutural do TiB_2 e formação da estrutura cristalina de TiB_2 e TiB	43
Figura 9. Ligas de Aço Cr-Mo, com adição de 10 e 20 % de TiB_2	44
Figura 10. Posicionamento da ferramenta e ângulos principais	45
Figura 11. Indústrias Tonet e produção de moveis em escala na década de 30	48
Figura 12. Direcionamento de corte e formação de cavacos	49
Figura 13. Pontos para somatória das áreas (A); Calculo de rugosidade média (B). ..	53
Figura 14. Análise da superfície tridimensional medida por Rugosímetro 3D	54
Figura 15. Influência da geometria da ferramenta no efeito da vibração para o torneamento	56
Figura 16 Análise de intensidade de som e rugosidade de acordo com a inclinação ..	59
Figura 17. Amostras da seleção de corpos de prova de pinus e eucaliptus utilizados.	62
Figura 18. Modelo do suporte de ferramentas e ponto de fixação do suporte no cabeçote.....	63
Figura 19. Ferramenta metal duro polido fixa no suporte (A) e vista em perfil, (B). ..	64
Figura 20. Informações técnicas da ferramenta de metal duro polido.....	64
Figura 21. Fixação da ferramenta diboreto de titânio (A) e perfil da ferramenta (B). ..	65

Figura 22. Descrição dos ângulos principais da ferramenta de TiB_2 classe KC5410.	65
Figura 23. Modo de fixação da ferramenta na mesa de torneamento.	66
Figura 24. Torno utilizado e novo magazine de ferramentas desenvolvido para torneamento.	67
Figura 25. Vista do modulo de emissão acústica (1,2), e amplificador de sinal (3). ..	68
Figura 26. Vistas do sensor de vibração Vibro Control 25 mm/s RMS.	68
Figura 27. Sensor modelo Hall AT5B10 e placa de captação de dados.	69
Figura 28. Detalhes do modulador de canais NIPCI622.	70
Figura 29. Interface de trabalho da plataforma LABWIEW 7.1	70
Figura 30 . Definição esquemática dos parâmetros do projeto	71
Figura 31. Programação dos comandos numéricos para o equipamento Emco.	72
Figura 32. Vistas da atuação da ferramenta e formação de cavacos durante a operação	73
Figura 33. Vista do torneamento (A,B) acabamento das peças (C,D) e amostra do lote com os 12 procedimentos diferentes de torneamento (E).	74
Figura 34. Interface do Rugosímetro MarSurf M 300 e Medições dos Corpos de prova.	75
Figura 35. Principais interações de R_a na interpolação via Minitab.	77
Figura 36. Valores de R_a para velocidade de avanço e profundidade de corte.....	78
Figura 37. Valores de R_a para Velocidade de avanço e tipo de madeira	78
Figura 38. Valores de R_a na interação entre Velocidade de avanço e tipo de ferramenta.....	79
Figura 39. Valores de R_a para ferramenta de corte e profundidade de corte	80
Figura 40. Valores de R_a para profundidade de corte e madeira utilizada	80
Figura 41. Valores de R_a para Interação da ferramenta aplicada e madeira utilizada	81
Figura 42. Comparação de R_a na comparação com avanço de corte em a_p de 0,5 mm	82
Figura 43. Comparação de R_a na comparação com avanço de corte em a_p de 1,0 mm	83

Figura 44. Comparação de R_a na comparação com avanço de corte em a_p de 1,5 mm	83
Figura 45. Valores para efeitos principais de R_t	84
Figura 46. Valores de R_t para velocidade de avanço e profundidade de corte	85
Figura 47. Valores de R_t para velocidade de avanço e tipo de ferramenta	86
Figura 48. Valores de R_t na interação entre velocidade de avanço e tipo de madeira	86
Figura 49. Valores de R_t para interação de profundidade de corte e tipo de ferramenta	87
Figura 50. Valores de R_t para interação de Profundidade de corte e tipo de madeira	87
Figura 51. Valores de R_t em comparação com o tipo de ferramenta e tipo de madeira	88
Figura 52. Comparação de R_t na comparação com avanço de corte em a_p de 0,5 mm	89
Figura 53. Comparação de R_t na comparação com avanço de corte em a_p de 1,0 mm	89
Figura 54. Comparação de R_t na comparação com avanço de corte em a_p de 1,5 mm	90
Figura 55. Valores das principais interações para efeito de potência.	91
Figura 56. Valores da interação entre velocidade de avanço e profundidade de corte	92
Figura 57. Valores de potência entre velocidade de avanço e tipo de ferramenta	93
Figura 58. Valores de potência entre velocidade de avanço e tipo de madeira	93
Figura 59. Valores de potência para profundidade de corte e tipo de ferramenta	94
Figura 60. Valores de potência na comparação entre profundidade de corte e tipo de madeira	95
Figura 61. Valores de interação ente tipo de ferramenta e tipo de madeira	95
Figura 62. Comparação de potência em relação a velocidade de avanço para a_p de 0,5 mm	96
Figura 63. Comparação de potência em relação a velocidad de avanço para a_p de 1,0 mm	97

Figura 64. Comparação de potência em relação a velocidade de avanço para a_p de 1,5 mm	97
Figura 65. Valores para os principais efeitos da vibração	99
Figura 66. Valores de vibração para velocidade de avanço e profundidade de corte	100
Figura 67. Valores de vibração para velocidade de avanço e tipo de ferramenta ...	101
Figura 68. Valores de vibração em relação à velocidade de avanço e tipo de madeira	101
Figura 69. Valores de vibração ara profundidade de corte e tipo de ferramenta.....	102
Figura 70. Valores de vibração para profundidade de corte e tipo de madeira	103
Figura 71. Valores de vibração entre o tipo de ferramenta e tipo de madeira	103
Figura 72. Comparação das ferramentas em função da vibração com a_p 0,5 mm .	104
Figura 73. Comparação das ferramentas em função da vibração com a_p 1,0 mm .	105
Figura 74. Comparação das ferramentas em função da vibração com a_p 1,5 mm .	105
Figura 75. Valores e Efeitos principais para Emissão Acústica.....	106
Figura 76. Valores de Emissão Acústica para velocidade de avanço e profundidade de corte	107
Figura 77. Valores de Emissão Acústica para velocidade de avanço e tipo de ferramenta.....	108
Figura 78. Valores de Emissão Acústica para velocidade de avanço e tipo de madeira	108
Figura 79. Valores de emissão acústica para profundidade de corte e tipo de ferramenta.....	109
Figura 80. Valores de emissão acústica para profundidade de corte e tipo de madeira	109
Figura 81. Valores de emissão acústica comparando tipo de ferramenta e tipo de madeira	110
Figura 82. Comparação Emissão Acústica e ferramentas com a_p de 0,5 mm	111
Figura 83. Comparação função da Emissão Acústica e ferramentas com a_p de 1,0 mm	111
Figura 84. Comparação da Emissão Acústica e ferramentas com a_p de 1,0 mm....	112

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Diagrama de equilíbrio Ti – B em função de massa e variação de temperatura.....	43
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Consumo industrial de madeira in natura em 2013.	21
Tabela 2. Classificação de espécies madeireiras quanto ao peso e densidade.....	23
Tabela 3. Propriedades Físicas de Espécies de Pinus usadas no Brasil.	26
Tabela 4. Indicação de uso do pinus de acordo com sua característica	27
Tabela 5. Características das principais espécies de eucaliptus no Brasil.....	30
Tabela 6. Composição química qualidades das ferramentas para usinar madeira. ...	36
Tabela 7. Revestimentos depositados pelos processos PVD e CVD.....	40
Tabela 8. Valores médios de densidade aparente, velocidade de propagação de onda.	58
Tabela 9. Valores de densidade básica e aparente dos Corpos de prova	76

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
1.1. OBJETIVOS DO TRABALHO	18
1.2. MOTIVAÇÃO PARA DESENVOLVIMENTO DESTE TRABALHO	19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1. USO DA MADEIRA NO PROCESSO PRODUTIVO	20
2.2. PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA.	22
2.2.1. Características da madeira de <i>pinus</i>	25
2.2.2. Características da madeira de <i>eucaliptus</i>	28
2.3. USINAGEM DE MADEIRA	31
2.4. PRINCIPAIS TIPOS DE FERRAMENTAS PARA CORTAR MADEIRA.....	33
2.5. FERRAMENTAS DE METAL DURO	37
2.5.1. Recobrimento de ferramentas de Metal duro.....	39
2.5.2. Ferramentas de metal duro com Diboreto de Titânio (TiB_2)	40
2.5.3. Efeitos da ação da ferramenta para o torneamento	45
2.6. TORNEAMENTO EM MADEIRA.	47
2.7. ACABAMENTO SUPERFICIAL EM MADEIRA	51
2.8. MEDIÇÃO E AVALIAÇÃO DA RUGOSIDADE	52
2.9. VIBRAÇÃO MECÂNICA	55
2.10. EMISSÃO ACÚSTICA EM MADEIRA.	57
2.11. INFLUÊNCIA DA POTÊNCIA NO TORNEAMENTO	60
2.12. INSTRUMENTAÇÃO DOS PROCESSOS DE USINAGEM	61
3. MATERIAIS E MÉTODOS	62
3.1. SELEÇÃO DAS PEÇAS DE MADEIRA UTILIZADAS	62
3.2. FERRAMENTAS UTILIZADAS	63
3.3. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	66
3.4. DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA DE TRABALHO	71
3.5. DEFINIÇÃO DO PLANO DE CORTE A SER APLICADO NO TORNEAMENTO	72
3.6. EQUIPAMENTOS E MEDIÇÃO DE RUGOSIDADE	75
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	76
4.1. DENSIDADE DAS PEÇAS TORNEADAS	76
4.2. PRINCIPAIS INTERAÇÕES E VALORES PARA RUGOSIDADE MÉDIA (R_A).	77
4.3. PRINCIPAIS INTERAÇÕES E VALORES PARA RUGOSIDADE TOTAL (R_T).	84
4.4. PRINCIPAIS RESULTADOS DE POTÊNCIA	91
4.5. PRINCIPAIS RESULTADOS DE VIBRAÇÃO NO TORNEAMENTO.....	98
4.6. RESULTADOS DE EMISSÃO ACÚSTICA NO TORNEAMENTO DE MADEIRA.....	106
5. CONCLUSÃO	113
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	114
7. BIBLIOGRAFIA	115

7.1 BIBLIOGRAFIAS UTILIZADAS	115
7.2 BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS.....	122
APÊNDICE A – RUGOSIDADE MÉDIA PROFUNDIDADE DE 0,5 MM.....	123
APÊNDICE B – RUGOSIDADE MÉDIA PROFUNDIDADE 1,0 MM.....	127
APÊNDICE C – RUGOSIDADE MÉDIA PROFUNDIDADE DE 1,5 MM.....	131
APÊNDICE D – RUGOSIDADE TOTAL PROFUNDIDADE DE 0,5 MM.....	135
APÊNDICE E – RUGOSIDADE TOTAL PROFUNDIDADE DE 1,0 MM.....	139
APÊNDICE F – RUGOSIDADE TOTAL PROFUNDIDADE DE 1,5 MM.....	143
APÊNDICE G – POTÊNCIA PARA PROFUNDIDADE DE 0,5 MM.....	147
APÊNDICE H – POTÊNCIA PARA PROFUNDIDADE DE 1,0 MM.....	151
APÊNDICE I – POTÊNCIA PARA PROFUNDIDADE DE 1,5 MM.....	155
APÊNDICE J – VIBRAÇÃO PARA PROFUNDIDADE DE 0,5 MM.....	159
APÊNDICE K – VIBRAÇÃO PARA PROFUNDIDADE DE 1,0 MM.....	163
APÊNDICE L – VIBRAÇÃO PARA PROFUNDIDADE DE 1,5 MM.....	167
APÊNDICE M – EMISSÃO ACÚSTICA PARA PROFUNDIDADE DE 0,5 MM.....	171
APÊNDICE N – EMISSÃO ACÚSTICA PARA PROFUNDIDADE DE 1,0 MM.....	175
APÊNDICE O – EMISSÃO ACÚSTICA PARA PROFUNDIDADE DE 1,5 MM.....	179
APÊNDICE P – ANÁLISES DE VARIÂNCIA.....	183
APÊNDICE Q – RESULTADOS MINITAB.....	186

1. INTRODUÇÃO

O torneamento pode ser descrito como um dos processos com capacidade de reproduzir peças de vários formatos e com acabamento extraordinariamente eficiente, sendo utilizado pela indústria Moveleira para acabamento de qualidade que dependa de formas e acabamento mais exigente, tendo enorme versatilidade na aplicação em peças de geometria mais complexas.

Com isso, o desenvolvimento de novas técnicas e novas ferramentas, além do aperfeiçoamento das ferramentas já existentes a fim de atender a demanda por peças torneadas, comumente usadas na indústria metalúrgica, o torneamento em madeira vem suprir esta demanda de fabricação de ornamentos ou peças mais sofisticadas para o uso em mobiliário em geral, desempenhando um papel significativo tanto com relação à quantidade a ser produzida como do tipo de qualidade no acabamento final da peça, com a chance de diminuir o tempo de processo que também conta como fator primordial no processo.

Avaliar a influência destes parâmetros e de novas ferramentas na qualidade final do produto e em seu acabamento superficial a fim de estabelecer uma temática coerente com a literatura existente nas relações de velocidade de avanço, profundidade de corte e a interpolação destes e demais parâmetros que venham causar uma influência significativa no acabamento final e rugosidade superficial de ambas as espécies de madeira estudadas.

1.1. Objetivos do trabalho

Este trabalho tem como foco na utilização de instrumentação para a aquisição de dados pertinentes ao comportamento das ferramentas de metal duro com e sem revestimento, na usinagem de peças de madeira de *pinus spp* e *eucalyptus spp* coletadas de forma aleatória, buscando assim a interação de diversos fatores para uma comparação de todas as variáveis de saída do processo como potência consumida, vibração, emissão acústica e rugosidade com os fatores de entrada como os tipos de ferramenta e madeira utilizados, além dos efeitos gerados durante a usinagem.

Vale salientar que esta trabalho foi desenvolvido em um torno EMCO Compact 5 para uso didático, tendo assim as definições de processo com revoluções por volta e avanço de corte muito abaixo da especificada para processamento convencional de madeira, onde o foco está direcionado para a análise do acabamento superficial da madeira através da instrumentação e do controle e monitoramento de processo automatizado.

1.2. Motivação para desenvolvimento deste trabalho

A necessidade deste trabalho surge pela dificuldade de se encontrar na literatura atual, muitas explicações capazes de descrever o comportamento da madeira quando submetida a processos de usinagem e remoção de material com auxílio de ferramentas com e sem revestimento. Sempre que se busca aperfeiçoar as técnicas de processamento em madeira, esbarra-se na anisotropia e diferença de comportamento se comparado á peças metálicas ou polímeros, pois existem muitos fatores naturais relacionados a clima e solo, além de variações de densidade e umidade para cada região ou estado, que podem interferir diretamente na qualidade da madeira a ser processada.

A condição de instrumentar um torno para processar madeira, e a coleta precisa dos dados também é fundamental, pois pode facilitar o entendimento dos mecanismos como remoção de cavaco e falhas estruturais da madeira. Também há de se levar em consideração que o uso de ferramentas de metal duro e ferramentas com recobrimento cerâmico podem ser de muita utilidade, pois podem driblar as características abrasivas e lignocelulósicas de algumas espécies de madeira.

A pesquisa destas particularidades faz-se necessária pela expansão do consumo de produtos derivados da madeira in natura e de estabelecer nesta pesquisa uma melhora no entendimento de alguns fatores que ocorrem dentro do processo, para que se possam ser aperfeiçoados a fim de aumentar a qualidade de superfície das peças de madeira aumento do controle de produção.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Uso da madeira no processo produtivo

Aperfeiçoar os métodos de usinagem e de como trabalhar a madeira sempre foi uma das mais importantes funções da indústria madeireira e de compósitos à base de derivados de madeira no Brasil. E dentro dos diversos processos produtivos utilizados em nossas indústrias madeireiras Brasil afora, técnicas de definição de formato e acabamento como o torneamento, fresamento, e lixamento vêm ganhando cada vez mais destaque dentro deste segmento. O setor florestal brasileiro tem contribuído de maneira importantíssima na geração de novos e melhorados produtos, tanto para consumo interno direto, quanto para produtos tipo exportação, agindo diretamente no efeito de conservação e preservação dos recursos naturais, e proporcionando maior geração de renda e tributos fiscais para a economia brasileira (ABIMCI, 2009).

O cultivo de florestas para uso exclusivo de madeira para indústria e comércio só ganhou notoriedade depois que o governo federal adotou incentivos fiscais na década de 60, desde então, somam milhões e milhões de hectares plantados todos os anos, cujas maiores áreas estão localizadas em Minas Gerais, Santa Catarina, São Paulo, Paraná, e Bahia que juntos são responsáveis por 73% das florestas plantadas tornando o Brasil uma das bases florestas mais competitivas a nível mundial (CAMARGO, 2008).

Para Floriano et. al. (2010), algumas espécies utilizadas em áreas reflorestáveis são consideradas mais promissoras para a produção e consumo, tanto pelo enorme poder de adaptação da planta, quanto das condições, climáticas e da qualidade do solo para a região Sul e sudeste do país, com destaque para o *Eucalyptus saligna* Smith, o *Eucalyptus dunnii* Maiden, o *Pinus elliottii* Engelm, o *Pinus taeda* L. e a *Acacia mearnsii* De Wild.

Observa-se na Tabela 1, o estudo da utilização e consumo de madeira no ano de 2013, destacando a madeira in natura na utilização industrial chegou ao patamar de 185,3 milhões de metros cúbicos representando 1,8% em relação do que foi consumido em 2012, e do segmento de madeiras serradas e outros produtos sólidos, que podem também ser destinados para usinagem, atingindo algo em torno de 6,8 milhões de metros cúbicos de *eucalyptus* e 15,3 milhões de metros cúbicos de *pinus* neste segmento, enquanto que outras espécies somaram apenas 357 milhões de metros cúbicos, segundo o Instituto Brasileiro da Arvore (IBA, 2014).

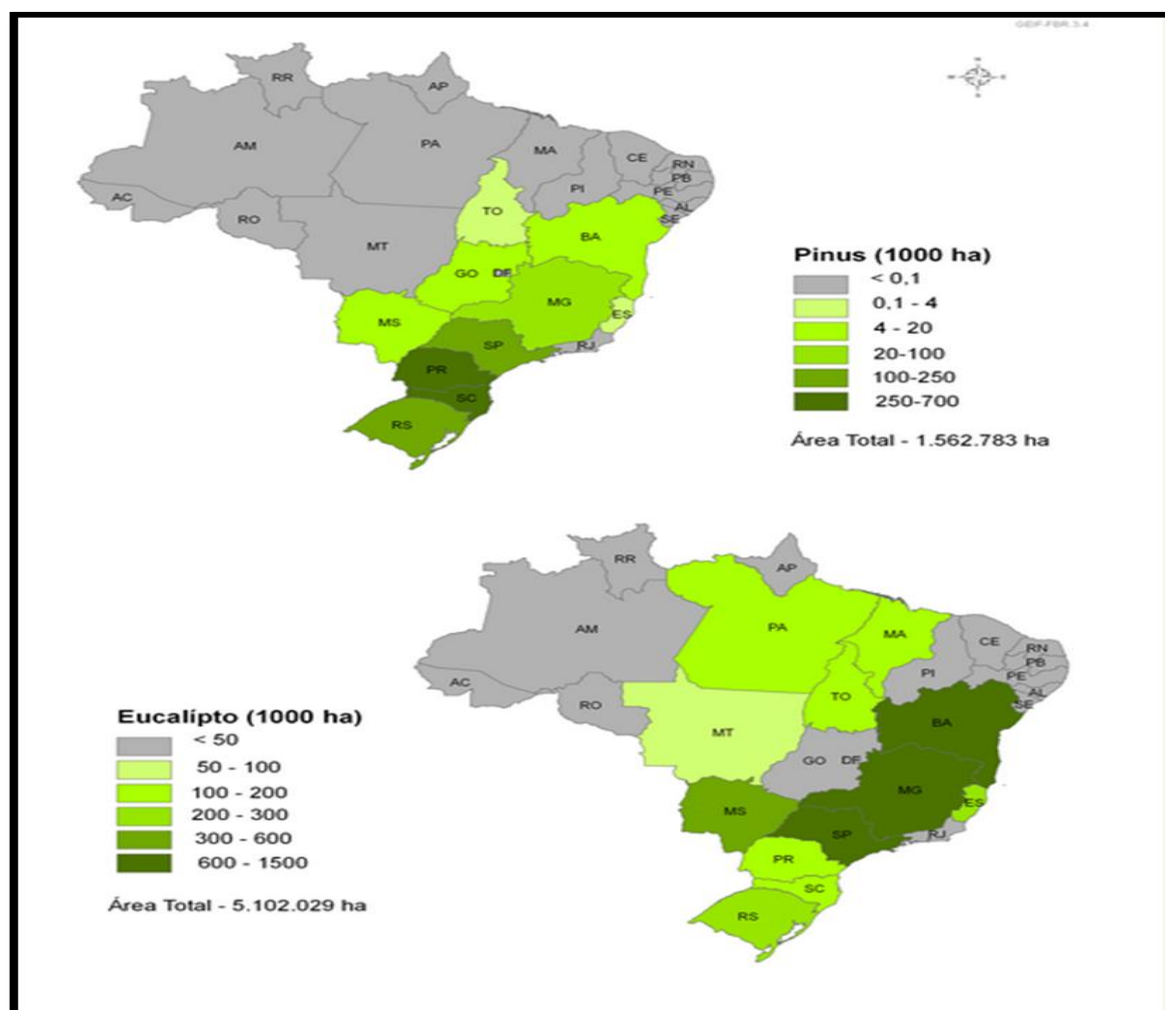
Na Figura 1 é possível ver o estudo desenvolvido pela ABRAF em 2013, encontra-se expresso em detalhes tendo as regiões onde o destaque do cultivo de pinus fica localizado em PR e SC, enquanto o eucalipto tem seus maiores polos produtores localizados em SP, BA e MG.

Tabela 1. Consumo industrial de madeira in natura em 2013.

SEGMENTO	CONSUMO DE MADEIRA IN NATURA (M ³)			
	<i>EUCALIPTO</i>	<i>PINUS</i>	<i>OUTRAS</i>	TOTAL
CELULOSE E PAPEL	56.628.357	8.067.258	498.085	65.193.700
PAINÉIS DE MADEIRA	6.428.162	13.457.258	378.612	20.264.031
SERRADOS E OUTROS PRODUTOS SÓLIDOS	6.870.498	15.295.499	357.052	22.523.049
CARVAO	23.533.724	-----	-----	23.533.724
LENHA INDUSTRIAL	41.832.528	3.929.361	4.262.239	50.024.128
MADEIRA TRATADA	1.824.012	-----	-----	1.824.012
CAVACOS E OUTROS	1.129.621	-----	781.200	1.910.821
TOTAL	138.246.903	40.749.376	6.277.187	185.273.466

Adaptado de: (IBA - <http://www.iba.org>, 2014).

Figura 1. . Mapa das áreas plantadas de pinus e eucaliptus no Brasil

Adaptado de: (<http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-ABRAF-2013.pdf>).

A utilização de madeiras provenientes de florestas plantadas (reflorestadas), como o eucalipto e pinus vem sendo cada vez mais requisitadas para substituir o uso de madeiras originárias de florestas nativas, nos mais diversos segmentos como indústrias de móveis, indústrias de painéis de madeira, indústrias de estruturas de madeira e na construção civil, respeitando as propriedades e características químicas, físicas e anatômicas desta madeira (VARANDA et.al., 2010).

Para Saloni et. al. (2010), as Indústrias de processamento de madeira têm buscado desenvolver de forma contínua novos processos e novas tecnologias com o foco principal na melhoria constante da qualidade produto final e consequentemente o aumento da lucratividade dentro destes segmentos.

2.2. Propriedades e características da Madeira.

As características individuais de um tronco ou peça de madeira não podem ser vistos como sendo bons ou ruins unicamente para um destino específico, mas o conjunto de características que pode ser classificado como desejáveis ou indesejáveis de acordo com o propósito da peça a ser usada. Algumas características desejáveis estão ligadas a capacidade de secagem sem deformar ou desalinhar, dispersão controlada ou ausência completa de nós, além de estabilidade dimensional e solidez da peça de madeira enquanto as características indesejáveis estão na caracterização de nós grandes e profundos, falta de estabilidade dimensional e facilidade de fratura das fibras (BARBOUR, 2004).

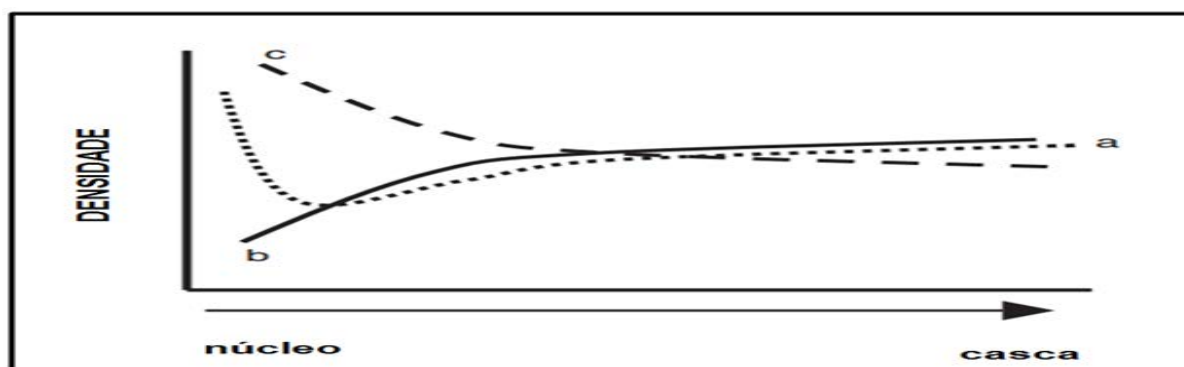
A densidade da madeira é sem dúvida uma das características mais importantes do produto e emprega em si uma gama de fatores, como espessura da parede celular, dimensão das fibras, volume de vasos e parênquimas, características capazes de influenciar as propriedades físicas e mecânicas que caracterizam as diferentes espécies de madeira, (FOEKEL et. al., 1971).

Cada espécie de madeira, também tende a possuir em seu perfil uma variação de densidades para a distância compreendida entre medula para a casca, que mudam pelo simples fato anisotrópico ou tendências de crescimento de suas partes. Esta densidade também tende a mudar conforme a altura da árvore de onde será extraída a madeira, de modo que esta densidade pode variar de ponto a ponto em uma única árvore esse fator precisa ser levado em consideração (BARBOUR, 2004).

Teixeira et. al. 2011, deixa claro que essas propriedades podem variar de espécie para espécie e as variações influenciadas pelo sistema de manejo, além de causar variação em relação às posições de sentido Base e copa (longitudinal) ou nos sentido medula e casca (radial), tendo as alterações mais importantes acontecem no sentido entre a medula e a casca da árvore.

Na Figura 2, alguns exemplos da variação das densidades para três tipos de madeira muito utilizados para confecção de instrumentos musicais, nas espécies Douglas-fir e madeira Hemlock (a), para a maioria dos pinheiros (b), e para a madeira Spruce (c).

Figura 2. Padrões de densidade para varias espécies de árvore



Adaptado de: (Barbour, 2004).

Para Teixeira et. al. (2011), as variações de propriedades da madeira no sentido da medula até a casca podem estar em maiores ou menores magnitudes, dependendo da espécie de árvore e da sua idade e o conhecimento técnico da usinagem da madeira é fundamental para entender as relações de causa e efeito de todas as variáveis envolvidas para melhorar os processos e a definição dos melhores parâmetros para um processo de fabricação mais eficiente.

Conforme analogia de Araujo (2002) é possível notar o agrupamento de algumas espécies comercializadas no Brasil seguindo uma classificação conforme sua densidade, representada por níveis na Tabela 2.

Tabela 2. Classificação de espécies madeireiras quanto ao peso e densidade.

Nível	Densidade g/cm ³	Classificação
1	0,36	Madeira muito leve
2	0,37-0,53	Madeira leve
3	0,54-0,71	Madeiras de dureza média
4	0,72-0,88	Madeira pesada
5	A partir de 0,89	Madeira muito pesada

Adaptado de: (Araujo, 2002).

Segundo Tiburcio (2010), as propriedades e características físicas e mecânicas da madeira podem variar por diversos fatores diferentes, tendo como exemplos a variação em razão de sua estrutura celular ordenada, das características de crescimento das fibras, vasos e raios, tornando importante o entendimento de que o comportamento anisotrópico da madeira deve ser sempre levado em consideração para que assim seja escolhido o procedimento correto de cortar e a forma de como se deve analisar o material processado.

Observações de Aguilera e Muñoz (2011) com torneamento da Sequoia e acácia, foram capazes de determinar que o fator de baixa densidade influi e muito nas condições de processamento da madeira, como o caso da madeira sequoia, que tem características parecidas com a maioria dos pinheiros típicos do Brasil, e dependendo da velocidade de processamento, podem gerar superfícies pobres devido à sensibilidade da madeira ao processo de usinagem.

Outra propriedade mecânica importante relaciona a resistência ao impacto com relação à flexão, onde vários estudos de espécies ou variedades da mesma espécie a fim de estabelecer os parâmetros de resistência das espécies de *Pinus oocarpa*, *Eucalyptus citriodora*, *Teca*, *Jatobá*, *Angico* e *Paricá*, sendo aplicado três valores de energias de impacto (34 kJ, 45 kJ e 63 kJ), onde pode ser constatado que os corpos com menor densidade foram rompidos mais facilmente, enquanto que peças com madeira de maior densidade somente romperam com os maiores valores de energia aplicada (ALMEIDA et.al., 2013).

Estudos de Serpa et. al. (2003), comparam a qualidade de peças de madeiras mais velhas e mais novas, onde as mais antigas demonstram maior resistência à flexão e compressão, devido a sua densidade que tende a ser bem maior em relação à madeira extraída de árvores mais novas.

A comparação destas características entre *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii*, demonstraram que o *saligna* por possuir maior densidade básica, também apresentou elevação de sua contração volumétrica, resistência à flexão e à compressão também elevada, enquanto que a resistência de linha de cola e maior porcentagem de falhas da madeira ficaram com o *Eucalyptus grandis* (SERPA et. al. 2003).

A evolução dos produtos a base de madeira tiveram melhorias tecnológicas ao longo do século XX, que possibilitam a fabricação de vigas inclusive por colagem de madeira ou laminados formando peças com menor dimensão e tamanho, mantendo a qualidade e cumprindo as normas estabelecidas pela engenharia.

Estas vantagens aparecem na avaliação e resistência destes novos produtos quando submetidos ao trabalho mecânico e ação climática do tempo e ainda por possuir variação de densidade na região compreendida por imperfeições e formação de nós, sem afetar com isso seu desempenho (BARBOUR, 2004).

2.2.1. Características da madeira de *pinus*

Devido às condições de extração desordenada das florestas nativas brasileiras e com a crescente demanda por produtos florestais, tornou-se necessário buscar alternativas como o reflorestamento de grandes áreas territoriais, tendo variedades de *Pinus* e *Eucaliptus* como responsáveis pela maior parte das espécies exóticas introduzidas no país (BAENA, 1994).

Na visão de Shimizu (2009), por mais de um século vem ocorrendo uma introdução de varias espécies de *Pinus* no Brasil, com a chegada do *pinus canariensis*, proveniente das Ilhas Canárias para o Rio Grande do Sul por volta de 1880, como as primeiras introduções de que se tem notícia. Segundo ele, por volta de 1936, foram iniciados os primeiros ensaios de introdução de *Pinus* com espécies europeias para fins silviculturas no Brasil, resultando em um grande fracasso pela falta de adaptação ao nosso clima.

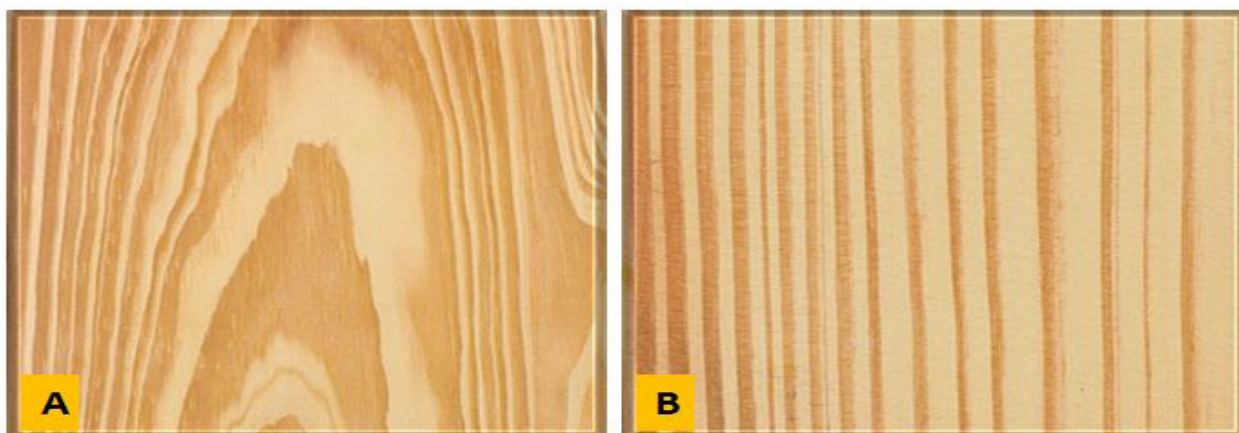
Já Floriano et. al. (2010), acredita que um dos principais fatores para a adaptação de diversas variedades de *Pinus de origem americana* nestas regiões, aconteceu principalmente pela semelhança de clima e solo muito parecidos com a região sudeste dos Estados Unidos de onde se origina a planta. Para Hasselein et. al. (2000), uma grande vantagem do *pinus* é dada em consenso geral pelo fato de suas florestas de rápida formação e fornecerem uma madeira extremamente leve e macia, ao se comparar com outras florestas como pinho do Paraná, por exemplo, diferente do que ocorre com as formações nos Estados Unidos, por exemplo, onde as condições de clima e solo fazem com que a madeira seja mais densa e tenha anéis de crescimento mais estreitos.

A madeira de *pinus* que possui cerne e alburno indistintos pela cor, cheiro e gosto característicos (principalmente devido à resina), e em termos de trababilidade, é relativamente fácil de desdobrar, aplainar, desenrolar, lixar, tornear, furar, fixar ou colar, por se tratar de uma madeira leve, tendo densidade básica com massa seca igual a $\rho_b = 420 \text{ kg/m}^3$ e com índice de umidade em até 15% pode ter densidades em torno de $\rho_b = 480 \text{ kg/m}^3$, e bastante aplicada na construção de cordões, guarnições, rodapés, forros, lambris e etc. (FERREIRA, 1997).

Segundo Rezende (1999) e Aguiar (2011), o que melhor descreve as espécies de *pinus* certamente são características únicas de madeira mais clara e variando entre branca amarela, com fibras longas característica essa excelente para a produção de papel e embalagens, com potencial riquíssimo de extração da resina em escala comercial e características que vão desde o cultivo ornamental e paisagístico, ao cultivo para proteção de solo, plantio marginal para proteção de propriedades, a reconstituição de ambiente como regenerador para composição de vegetação nativa e ambientes degradados ou devastados.

Na Figura 3, onde é possível ver a vista tangencial e a vista radial da madeira de pinus com destaque para os anéis de crescimento.

Figura 3. Características visuais da madeira de pinus



Adaptado de: (IPT – http://www.ipt.br/informacoes_madeiras, 2015).

As propriedades mecânicas da madeira de *pinus Merkusii* e *Araucária angustifolia* mostraram-se compatíveis nos estudos de Bortoletto Junior (2008), podendo ser em muitas vezes superiores à maioria das espécies de pinus tropicais listados na literatura do gênero, concedendo ao *pinus Merkusii* o enquadramento de resistência C30, considerado a mais exigente da NBR 7190/1997, e onde se encontram listadas as espécies de coníferas mais resistentes hoje cultivadas no Brasil, para o uso estrutural também representado na Tabela 3.

Tabela 3. Propriedades Físicas de Espécies de Pinus usadas no Brasil.

Principais espécies de Pinus no Brasil	Densidade básica (g cm ³)	Densidade aparente (g cm ³)	Densidade aparente-verde saturado (g cm ³)	Retração Radial (%)	Retração tangencial (%)
<i>P.Caribaea</i> Var.	0,43	0,54	1,06	3,51	5,66
<i>P.Caribaea</i> Var.	0,46	0,58	1,06	3,52	5,72
<i>P.Caribaea</i> var	0,43	0,53	0,94	4,07	6,28
<i>P.Elliottii</i> Var.	0,46	0,56	1,07	5,71	6,54
<i>P. oocarpa</i>	0,44	0,54	0,97	3,50	6,31
<i>P. Taeda</i>	0,51	0,64	1,03	6,34	7,29
<i>P. radiata</i>	0,54	-----	-----	-----	-----
<i>P. merkusii</i>	0,43	0,52	1,12	4,0	7,4

Adaptado de: (Bortoletto Junior, 2008).

Ao confrontar as propriedades do de *pinus elliotti* com idade de 30 anos, retirando amostras e comparando à quantidade de anéis e distanciamento das amostras coletadas próximo à casca, nota-se uma superioridade daqueles anéis que são formados próximo à medula. O método aplicado segundo a norma ASTM D143-93 (1995) mostra-se de fácil manuseio para obtenção das variáveis e surge como uma alternativa para a classificação mecânica e estrutural da madeira ou complementar técnicas mais avançadas de comparação (HASSELEIN et. al., 2000).

Para Marto (2006), a utilização do pinus pela indústria depende de algumas definições básicas para a melhor aplicação de suas características e qualidades da madeira *pinus* e sua potencialidade e aplicação na indústria de transformação mecânica madeireira, o que faz da escolha da espécie ideal de pinus adequada seja fundamental para eficiência e eficácia no processo de industrialização conforme representado na Tabela 4.

Tabela 4. Indicação de uso do pinus de acordo com sua característica

UTILIZAÇÃO	ESPÉCIE DE PINUS RECOMENDADA
Arborização, parques e jardins.	Caribaea, elliottii, kesiya, montezumae, oocarpa, pinea, pseudostrobus, radiata, roxburghii, strobus, taeda, tecunumanii e virginiana.
Celulose	caribaea, taeda, maximinoi, patula, kesiya, pseudostrobus, tecunumanii, virginiana, strobus e Echinata.
Caixotaria	kesiya, pinea e virginiana.
Construções	elliottii, kesiya, palustris, radiata, sylvestris, taeda, tecunumanii e wallichiana.
Dormentes	palustris e taeda.
Estacas e moirões	elliottii, caribaea var hondurensis, oocarpa, kesiya e pinea.
Particulados (aglomerado, OSB, waferboard).	taeda, oocarpa, pinea, palustris, pinaster, patula, caribaea, chiapensis, maximinoi e tecunumannii.
Resina	taeda, elliottii, tecunumanii, caribaea var hondurensis, caribaea var bahamensis, pinaster, sylvestris, oocarpa, kesiya, merkusii, patula, montezumae, palustris, ponderosa, roxburghii, pseudostrobus, leiophylla, montezumae, hartwegii e echinata.
Laminação	taeda, elliottii, strobus, caribaea, chiapensis, maximinoi, oocarpa e tecunumannii.
Móveis	taeda e elliottii
Serraria	taeda, elliottii, palustris, patula, oocarpa, maximinoi, caribaea var hondurensis, caribaea var bahamensis, caribaea var caribaea
Lenha e carvão	caribaea var hondurensis, caribaea var bahamensis, oocarpa e roxburghii

Adaptado de: (Marto, 2006).

2.2.2. Características da madeira de *eucaliptus*

Há quem de créditos ao cientista brasileiro Edmundo Navarro de Andrade, que desde 1904, foi responsável pela introdução das primeiras espécies do eucaliptus, e pesquisas para utilização da madeira no setor ferroviário da antiga FEPASA, ao qual objetivava utilizar a madeira das árvores plantadas para abastecer as caldeiras das locomotivas, e principalmente substituir o uso de árvores nativo na produção de dormentes ferroviários e para a confecção de moirões e postes telegráficos. Praticamente todas as espécies de eucaliptus que o cientista trouxe e adaptou no Brasil inicialmente em Jundiaí, estão alocadas no Horto florestal de Rio Claro-SP, constituindo um dos maiores bancos de germoplasma do país (FERREIRA & SANTOS, 1997).

Como o eucaliptus é plantado em quase todo o mundo por ser um gênero que possui espécies facilmente adaptáveis às diversas condições climáticas e segundo estudos de Dossa (2002), a introdução das primeiras florestas de eucaliptus no Brasil foi principalmente para suprir a necessidade da produção e dormentes e postes telegráficos para ferrovias da região sudeste e denotam também de 1904, mas sem a referência ao cientista Edmundo Navarro.

Pryor e Johnson (1971) conseguiram em seus trabalhos elaborar uma chave sistemática de reclassificação para o eucaliptus, dividindo em subgêneros dos quais se podem destacar o *Symphyomyrtus*, *Monocalyptus* e o *Corymbia*. Através deste estudo para criar uma nova definição genética coloca a espécie conhecida usualmente como *eucaliptus citriodora* em outro subgênero graças a suas diferenças taxonômicas com eucaliptus é agora denominada como *corymbia citriodora*.

Considerada uma espécie de origem australiana, pertencente à família das *Mirtáceas* e responsáveis por cobrir nada menos que 90% da *Oceania*, e sua adaptação para solos pobres e secos e clima relativamente árido ao longo de vários séculos, tornando-se uma árvore com crescimento e capacidade de adaptação invejável, mesmo para condições de crescimento desfavorável, e por tais características foi disseminado pelo mundo, e representa hoje uma gama com mais de 700 espécies dentro deste nicho (BERTOLA, 2004).

A maioria das espécies plantadas no Brasil apresenta rápido crescimento, devido às características de clima e solo, além do resultado da alta qualidade do material genético utilizado. A produção da madeira e de seus derivados é feita em larga escala, devido à grande demanda por madeira no mercado florestal brasileiro (MALINOVSKI, 2002). No Brasil, o eucaliptus produz uma madeira de grande versatilidade, possibilitando a utilização para diversos segmentos industriais, como na produção de óleos essenciais, celulose, madeira tratada, carvão vegetal, lenha, madeira serrada, painéis a base de madeira, entre outros (GARCIA & MORA, 2000).

Para Dossa (2002), a linha de produção difere pela característica de destino da produção para celulose e geração de energia, que se utiliza principalmente de biomassa e não requer longos períodos de maturação, mas um grande volume de massa, portanto possui também um valor agregado menor, do material destinado à produção de madeiras e aglomerados, onde se opta por ciclos mais longos de maturação, e agregam maior valor por caracterizar muitas vezes uma reserva para longo prazo por parte dos produtores.

As florestas de eucaliptus abastecem uma fração considerável do mercado nacional e a busca pela utilização mais eficiente dos componentes tem despertado a atenção, inclusive quando se trata desta relação com a geração de bicomustíveis e bio-produtos, como exemplo do processo que isola a lignina e hemiceluloses da madeira, cuja definição desta Hemicelulose, descrita como polissacarídeos que juntamente com a celulose, a pectina e as glicoproteínas formam a parede celular das plantas (GARCIA & MORA, 2000). O alto empenho da tecnologia industrial voltada para o processamento de madeira, como também a vasta gama de subprodutos para a geração dos biomateriais, faz com que este tipo de madeira se destaque no mercado nacional e com isso proporcione um estudo amplo da madeira de eucaliptus, que no atual momento é considerada a matéria prima essencial para indústria de base florestal, (JUNIOR e COLODETTE, 2013).

Valverde et. al. (2004) alerta para a mudança radical do mercado nacional a partir de 2001, tendo em vista que as empresas voltadas a produção de papel e celulose aumentaram vertiginosamente a sua produção de madeira, além de ampliação da planta industrial para a expansão da indústria de compensados, propiciando assim colaboração para o surgimento de novos produtos como o MDF (medium density fiberboard), e OSD (oriented strand fiberboard), dando destaque para o uso do eucaliptus a fim de equilibrar o mercado nacional e exportações de derivados de madeira e bioelementos concentrados.

Junior e Colodette, (2013), destacam o eucaliptus como um dos mais importantes elementos da indústria de base florestal, pois substituem facilmente outras espécies, inclusive o pinus, e que além de ter seus produtos comuns a base da madeira maciça, gera ainda subprodutos com maior valor agregado, o que ainda necessita de muita pesquisa e desenvolvimento para novas tecnologias para que se possa pensar em viabilidade econômica de biorrefino de biocombustíveis gerados a partir do processamento do eucaliptus, que ainda esbarram no alto custo da transformação dos resíduos para a criação destes componentes.

A Tabela 5 dispõe das características e propriedades físicas e mecânicas obtidas pelos estudos do instituto de pesquisas tecnológicas (IPT) em 2004, onde foram coletadas e classificadas de acordo com a norma *NBR 7190 de 1997*, que classifica espécies de acordo com o potencial de utilização na construção civil. Na Figura 4, onde é possível ver a vista tangencial e a vista radial da madeira com destaque para a coloração e fibras mais compactadas do *eucaliptus Grandis*.

Tabela 5. Características das principais espécies de eucaliptus no Brasil

PROPRIEDADES FÍSICAS

Espécie de Eucalipto	<i>Citriodora</i>	<i>Grandis</i>	<i>Saligna</i>
Densidades de massa (ρ)			
Dens. Ap. 15 % de umidade ($\rho_{ap, 15}$) (Kg/m)	1040	500	690
Densidade Básica (ρ básica) (Kg/m)	876	420	867
Contração			
Radial (%)	6,6	5,3	6,8
Tangencial (%)	9,5	8,7	13,4
Volumétrica (%)	19,4	15,2	23,4

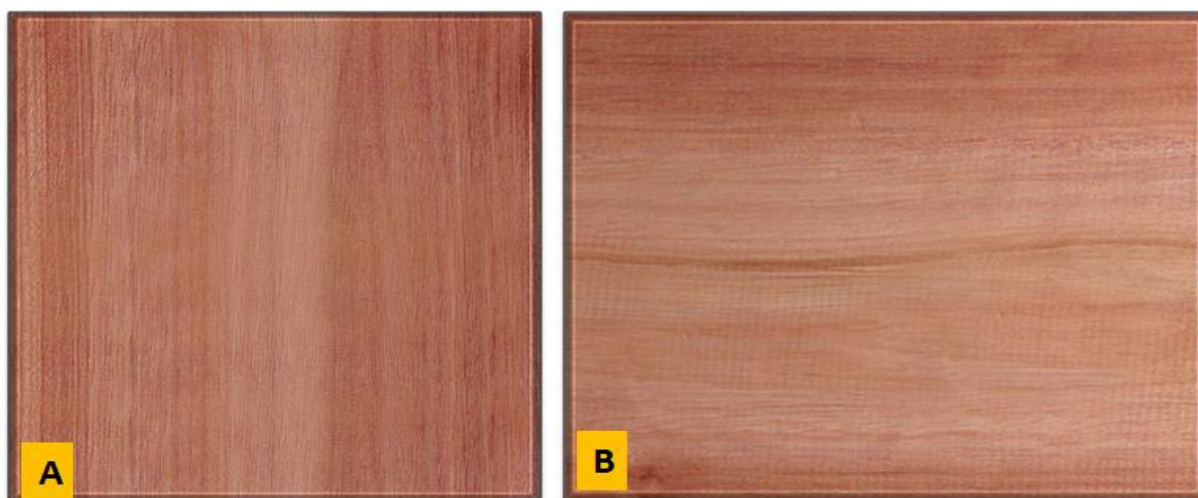
PROPRIEDADES MECÂNICAS

Espécie de eucalipto	<i>Citriodora</i>	<i>Grandis</i>	<i>Saligna</i>
Flexão - resistência (fm)			
Madeira verde (mv) – (MPa)	111,8	53,8	77,4
Madeira a 15% de umidade (MPa)	121,4	75,6	101,6
Limite de proporcionalidade (mv) - (MPa)	47,2	-----	29,7
Modulo de elasticidade (mv) - (MPa)	13337	9689	11876
Compressão paralela às fibras – resistência (Fco)			
Madeira verde (MPa)	51,1	26,3	32,1
Madeira á 15 % de umidade (MPa)	62,8	42,1	49,2
Coeficiente de influência de umidade (%)	4,7	-----	4,6
Limite de proporcionalidade (mv)- (MPa)	33,7	19,7	25,1
Modulo de elasticidade (mv) - (MPa)	15867	11572	13288

OUTRAS PROPRIEDADES

Resistência ao impacto trabalho absorvido	45,3	----	32,2
Cisalhamento (mv)- (MPa)	16,3	-----	9,2
Dureza janka paralela (N)	8757	2687	4531
Tração normal das fibras (MPa)	10,1	-----	6,3
Fendilhamento (MPa)	1,2	----	----

*mv = madeira verde

Adaptado de: (IPT – http://www.ipt.br/informacoes_madeiras, 2015).Figura 4 Características visuais do *Eucalyptus grandis*Adaptado de: (IPT - http://www.ipt.br/informacoes_madeiras, 2015).

2.3. Usinagem de madeira

A usinagem subdivide-se em vários processos, e estes processos por, sua vez, estão definidos por normas internacionais com ISO e DIN, e no Brasil suas especificações são regidas principalmente pelas Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que define todas as diretrizes de concepção e aplicação destes produtos ou projetos em âmbito industrial para o mercado nacional e recomendações de controle de qualidade para produtos de exportação.

A usinagem pode ser entendida como todo processo mecânico onde a peça é a matéria prima ou material bruto que possa ser submetido à ação de uma máquina ou ferramenta, para ser trabalhado, resultando no desprendimento de material da peça em forma de fragmentos, denominada como formação de cavacos, e para que ocorra a remoção mais precisa desses cavacos, além da escolha adequada de cada processo, existe também uma análise minuciosa de cada material tendo em vista a vastidão de procedimentos que podem ser aplicados. (FERRARESI, 1986).

As operações de usinagem em madeira são compreendidas como operações de cortes e processamentos secundários a fim de proporcionar um aumento de qualidade e acabamento, e a adequação para acerto e dimensões, entalhes e furos nos produtos de madeira. A usinagem em madeira pode ser caracterizada em diversos processos tendo os principais através do aplainamento, serramento, desengrosso torneamento, lixamento, fresamentos diversos, e furações em geral (LUCAS FILHO, 2004)

De acordo com Ferreira (2003), as normas estabelecidas para usinagem de madeira presentes na norma NBR 7190 visa estabelecer parâmetros de “Projeto de estruturas de madeiras” e substituiu a NBR 6230, trazendo alterações significativas na metodologia e procedimentos de ensaios, estabelecendo três classes de resistência (C20, C25 e C30), para as madeiras de coníferas como o pinus e pinho do Paraná, e quatro classes (C20, C30, C40 e C60) para as madeiras de dicotiledôneas compreendendo madeiras como peroba-rosa, ipê, jatobá.

Características como as propriedades físicas de densidade de massa básica e aparente, de resistência em compressão paralela às fibras e cisalhamento e de rigidez principalmente através do módulo de elasticidade e também serve para avaliação quanto à classe de risco de deterioração biológica a que a madeira estará exposta (FERREIRA, 2003).

Para Vicentin et. al. (2009), muitas técnicas de usinagem são remodeladas com o intuito de aumentar a produtividade e aperfeiçoar os processos de usinagem, fazem-se necessárias novas pesquisas e desenvolvimento de novas ferramentas de corte e com isso, novos métodos de fabricação a fim de permitir aumento das velocidades de corte e gradativa diminuição do tempo de trabalho.

Mas alguns percalços ainda persistem devido a efeitos de superaquecimento com aumento da velocidade de usinagem, e diminuição da dureza da ferramenta à quente, o que propicia evolução dos mecanismos de desgaste da mesma, incentivando a evolução constante de fluidos e processos de refrigeração adequados (VICENTIN et. al., 2009).

Outros desafios encontrados na usinagem de madeira estão principalmente ligados à questão das ferramentas de liga metálica não terem sido projetadas para as elevadas exigências de corte devido à heterogeneidade e estrutura com disposição irregular das fibras, além da alta abrasividade que algumas madeiras oferecem. Para isso, pastilhas ou ferramentas de corte com revestimentos de alta resistência estão sendo amplamente utilizados, associando alta resistência, baixo coeficiente de atrito e baixíssima condutividade térmica. (FERNANDES et. al. 2011).

Outra análise detalhada sobre o comportamento de clones de três espécies de eucaliptus em diversos processos de usinagem em máquinas ferramenta comuns em marcenaria Ficou constatada que a madeira de eucaliptus avaliada apresentou bom comportamento mecânico e resultado satisfatório nas operações, tornando se apto para serem usadas na indústria moveleira em geral (SOUZA et. al., 2009).

O destaque de desempenho ficou para o *Eucalyptus urophylla* com 8 anos de idade que apresentou os melhores resultados, seguido dos clones de *Eucalyptus urophylla*, de 6 anos, e o *Eucalyptus camaldulensis* de 10 anos, que apesar de ter baixo desempenho em relação aos dois primeiros, também não tiveram restrição de uso na usinagem convencional e preparação dos testes de avaliação aplicados seguindo os critérios da norma ASTM D-1666 de 1987 (SOUZA et. al., 2009).

Além da diferença física entre a madeira e aço que determina diferentes formações de superfície, acabamento e a formação dos cavacos a diferença de estrutura celular dos dois elementos e sua organização micro estrutural também é muito influente para a definição de como será retirado o material, e as forças atuantes no contato entre material e ferramenta de corte. O formato do quebra cavacos da ferramenta de corte determina como a energia específica será consumida. Alterações que venham favorecer a formação dos cavacos, mesmo que relativamente pequenas, atuam diretamente com a magnitude das forças de corte na energia específica de corte desprendida no processo (RODRIGUES, 2005).

A adequação dos sistemas produtivos às necessidades de consumo, passa pela avaliação de informações para que o sistema seja capaz de cumprir os requisitos determinados em projeto. Essa é uma forma de antecipar aos possíveis percalços que possam surgir durante a produção e propor alterações a fim de cumprir as exigências e atingir os objetivos na integração de todas as operações que se fazem necessárias. No caso de estudos sobre a qualidade da madeira, por exemplo, buscam-se melhorias no processo produtivo e de fabricação que possa ser rentável, e que seja sustentável dentro do ambiente fabril e madeireiro (DIAS JUNIOR, 2004).

2.4. Principais tipos de ferramentas para cortar madeira

Para Ferraresi e Chiaverini (1986), uma série de fatores pode vir a influenciar na escolha de um material para constituição de uma ferramenta de corte, e esta pode ter relação direta tanto com os materiais que serão usinados, a natureza da operação, as condições da máquina operatriz, o custo de material para a ferramenta e se haverá ou não emprego ou não de refrigeração ou lubrificação durante o processo.

Na concepção de Costa *et. al.* (2006), as principais propriedades que um material que uma ferramenta de corte deve apresentar, está à alta dureza, tenacidade suficiente para evitar falha por fratura, alta resistência ao desgaste, alta resistência ao cisalhamento, boas propriedades mecânicas e térmicas também para temperaturas elevadas, alta resistência ao choque térmico, alta resistência ao impacto e ser quimicamente inerte.

Segundo Albuquerque (2014), as ferramentas de corte estão dispostas em quatro grupos distintos e classificadas conforme suas particularidades em ferramentas maciças ou calçadas em aço a partir do estelite; calçadas ou fixadas por parafuso de sujeição; à base de metal duro (carboneto de tungstênio) e pastilhas de diamante artificial PCD (polycrystalline diamond).

Através da análise de desgaste abrasivo de ferramentas para o corte de madeira, entre duas famílias de ligas fundidas utilizadas como confecção de ferramentas, para duas ligas à base de Stellite, e duas ligas de metal duro, pôde-se constatar uma taxa de desgaste superior das ligas de metal duro, e isto pode estar relacionado com a dureza dos carbonetos de WC, na relação com as ligas fundidas que apresentaram os menores coeficiente de atrito e esta redução do atrito gerou menor perda volumétrica de material durante o processo. (PINTAUDE *et. al.* 2000).

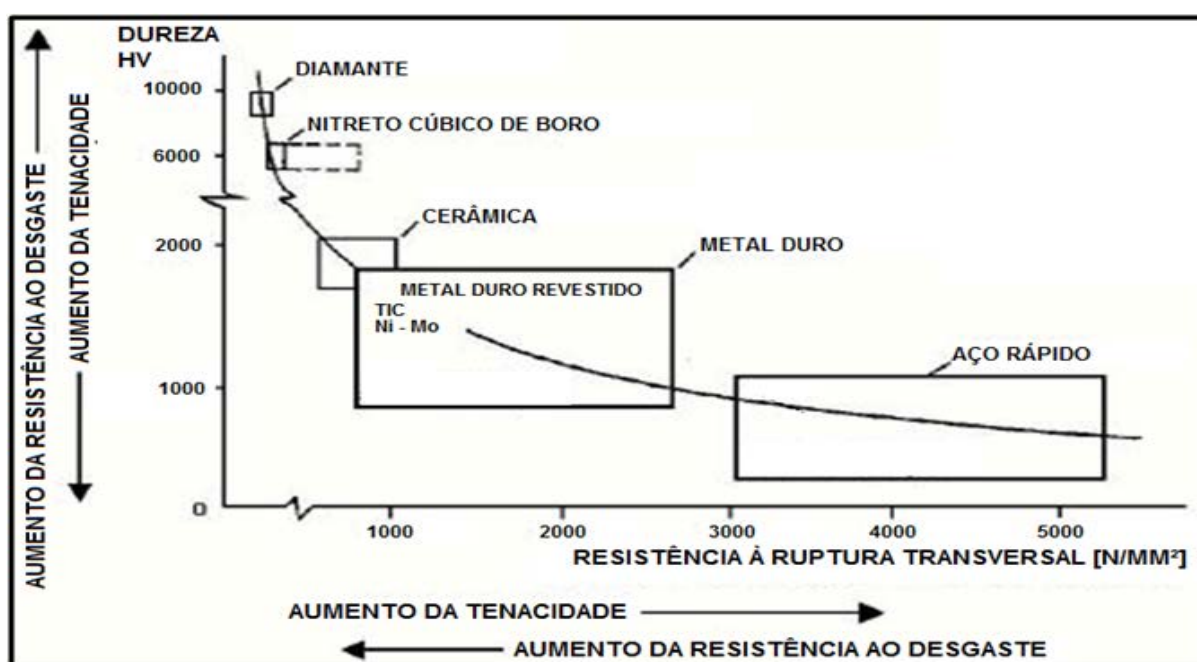
Além disso, problemas relacionados com a aceleração do desgaste da ferramenta, superaquecimento, ou falhas de acabamento das peças tendem a surgir pela dificuldade de usinar certos materiais. Quanto maior o grau de informação registrada, durante o processo de usinagem, maior a possibilidade de optar pela ferramenta mais adequada para cada situação de trabalho, e isso podem vir a refletir também para a obtenção de melhoras nos índices de produção da indústria (NOGUEIRA e RIBEIRO, 2001).

O aumento de produtividade da indústria moveleira exige o emprego de usinagem com altas velocidades de corte e com ferramentas que se mantenham afiadas por longos períodos de trabalho. Na usinagem da madeira as ferramentas são muito solicitadas, normalmente apresentando um alto desgaste nas arestas de corte e falhas catastróficas do processo. Estes problemas estão diretamente ligados à característica altamente abrasiva da madeira, a sua anisotropia estrutural e aos possíveis defeitos internos e em sua superfície (TEIXEIRA *et. al.* 2011).

Na figura 5, é possível ver o gráfico Elaborado pela fabricante SANVIK, com as relações entre os valores de dureza de cada ferramenta comercial versus a resistência à ruptura transversal individual de cada uma, onde é possível notar que o aumento ou diminuição da tenacidade atuando sempre em sentido oposto à resistência ao desgaste para os diversos tipos e classes de ferramentas disponíveis no mercado.

Nessa escala podemos ver a liga de diamante como detentora da maior dureza, seguida pelas ligas de nitreto cúbico de boro (CBN), ligas cerâmicas até chegar às ligas de metal duro com e sem revestimento que possuem dureza entre 1000 a 1800 HV, e resistência à ruptura transversal em torno de 1000 à 2700 N/mm², e por fim as ligas de aço rápido que apesar de dureza não passar dos 1000 HV, podem chegar a uma RRT acima de 5000 N/mm² (Sandvik Coromant, 2014).

Figura 5. Relação da dureza da ferramenta com desgaste e tenacidade



Adaptado de: (Sandvik Coromant, www.sandvik.coromant.com/br, 2014).

Análises como as de Gonçalves (2000), e Albuquerque (2014) destacam as principais ferramentas de corte para corte também de madeira, conforme seu surgimento na indústria, além dos destaques para recobrimentos que conseguem ser similares ao diamante natural em sua dureza e resistência ao trabalho entre eles:

Aço Rápido (Speed Steel), contem em sua constituição até 12% de ligas contendo tungstênio, molibdênio, vanádio, cobalto e cromo para tornar a liga mais dura. A perda da dureza, da resistência ao desgaste e do gume de corte só começará a atuar quando o processo atingir temperaturas superiores a 500°C.

Aço Semi-Rápido HSS (High Speed Steel) com dureza de 63 a 67 HRc é um aço super-rápido com elementos de liga acima de 12% podendo chegar até 24%. Maior parte da liga é composta por tungstênio de 8 a 18% do peso total e uma resistência de até 600°C sem perder sua dureza adquirida na têmpera. Para aumentar a resistência ao desgaste do gume adiciona-se à liga, aproximadamente 1,4 % de carbono e cerca de 4 % da sua composição total constituída por cromo.

O HSS é considerado como uma ferramenta tradicional, onde o aço super-rápido sendo ideal para usinagem de metais e madeira maciça pode ser muito empregada no corte de madeiras maciças com elevada dureza (folhosas), mas é recomendável evitar o uso em madeiras tropicais devido ao alto teor de sílica.

Estelite: É uma liga metálica utilizada principalmente em dentes de laminas de serra para desdobro, brocas e laminas de plainas sendo capaz de suportar temperaturas acima de 700 graus Celsius em pressão de trabalho sem alteração. Com dureza relativamente baixa (48 a 56 HRc), é uma liga gerada através de processo de fusão, com alto teor de cobalto e cromo além do tungstênio, carbono e ferro. A liga de estelite possui excelente resistência à corrosão, à oxidação, ao engripamento, erosão e abrasão, mantendo as propriedades mecânicas em nível elevado, mesmo em altas temperaturas, sendo altamente resistentes ao desgaste e corrosão, Indicadas para cortar madeiras fibrosas, ácidas e úmidas.

Diamante Policristalino: ou PCD (Polycrystalline Diamond) é um diamante sintético, sinterizado em altas temperaturas que variam de 1300 à 1400°C atrelada à alta pressão e possui em sua composição grãos de diamante com diâmetro de vários micras, ligados por grãos de tamanho intermediário em uma matriz de liga metálica, sinterizados num substrato ou camada de carboneto de tungstênio (metal duro). Usado como ferramenta para usinagem de madeiras e seus derivados, é indicado para o corte de painéis, plásticos reforçados, metais não ferrosos e madeiras duras (folhosas). É recomendado para usinagens finas onde a qualidade superficial e a exatidão de medidas é requerida.

Metal Duro: (Widia Ou Carboneto De Tungstênio) descrito por possuir dureza próxima ao diamante geralmente adquirido em processos de moagem com grãos com diâmetro de seus componentes (carboneto de tungstênio, titânio, tântalo, nióbio) contendo 1 à 2 microns (μ). É amplamente utilizado para confecção de ferramentas de corte para metais, madeiras e seus derivados, e ferramentas de uso em mineração apesar de altamente quebradiço e sem tenacidade, pode possuir durabilidade do gume de 10 a 60 vezes superior em relação às ferramentas de aço rápido e super-rápido e Indicado para corte de coníferas, folhosas, e painéis.

Metal duro revestido: O metal duro é formado e sua maior parte por carbonetos e ligantes através de sinterização e compactação. Ferramentas compostas por metal duro combinam propriedades como dureza, resistência ao desgaste e tenacidade e produzidas com inúmeras configurações conforme as adições de pó metálico e prensagem.

As ferramentas compostas com este material de revestimento geralmente apresentam componentes ainda mais resistentes ao desgaste e melhorias em relação à taxa de remoção do cavaco e velocidades de usinagem com revestimentos simples ou compostos contendo varias camadas que combinam dureza e resistência ao desgaste simultaneamente.

De acordo com Albuquerque (2014), para a seleção correta da ferramenta de corte que será utilizada em qualquer procedimento de usinagem envolvendo madeira maciça, além da geometria da mesma, outro fator muito importante é o material de que esta é composta. A comparação entre as diversas ferramentas existentes segue representada por Albuquerque (2014), sendo possível ver na Tabela 6 tem-se a comparação dos diversos componentes de ferramentas e suas características em relação às propriedades mecânicas diretamente ligadas à dureza a frio, temperatura máxima de corte além da diferenciação quanto à porcentagem de elementos em sua composição química.

Tabela 6. Composição química qualidades das ferramentas para usinar madeira.

Elementos para composição de ferramentas de corte e sua composição em %		FERRO	CARBONO	OUTROS ELEMENTOS	CROMO	COBALTO	MOLEBIDÊNIO	MANGANÉS	NIQUEL	SILICIO	TUNGSTÊNIO	VANÁDIO	DUREZA A FRIO	TEMPERATURA DE CORTE	DIS. USINAGEM POTENCIAL
FAMILIAS	DESCRIÇÃO	Fe	C	Σ	Cr	Co	Mo	Mg	Ni	Si	W	V	HCR	°C	Coef
Aço não ligado	WS	96,9	1,1	2,0	0,5							0,4	50-53	80	
Aço ligado	SP	94,4	0,6	5,0	2,4			0,2	2,2			0,2	44-46	250	1
Aço de alta liga	HLS	00,0	1,7	12	7,5	3,0	1,0					0,5	60-63	350	2
Aço Rápido	HSS	68,8	1,2	30	4,0	8,0	4,0				12	2,0	64-66	650	4
Estelite	STELLITE		1,0	99	29	58					12		60-64	700	8
Metal duro	HM		6,0	94		4,0					90		80-90	800	50
Diamante policristalino	PCD		100										150	850	10.000

Adaptado de: (Albuquerque, 2014).

Como em qualquer processo produtivo, quanto maior o grau de informação registrada durante o processo de usinagem, maior a possibilidade de optar pela ferramenta adequada para cada situação de trabalho, e isso podem refletir na possibilidade de se obter uma melhoria nos índices de produção da industrial (NOGUEIRA e RIBEIRO, 2001).

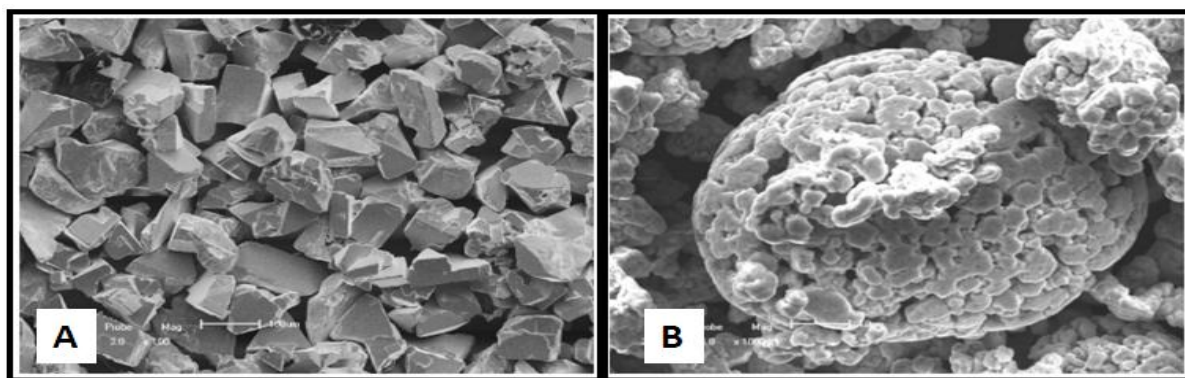
2.5. Ferramentas de metal duro

De acordo com Souza (2009), a ferramenta constituída de metal duro é utilizada em cerca de 50% das aplicações envolvendo qualquer tipo de usinagem, devido a uma série de vantagens que o material oferece, principalmente em relação ao custo benefício de produção e dureza apresentadas tanto em temperatura ambiente, quanto para altas temperaturas, além de boa tenacidade e resistência ao desgaste e mais uma série de características que variam desde o modo de fixação até os efeitos de cada elemento aplicado à sua composição.

Credita-se à VOIGTLANDER e LOHMANN, a patente conferida na década de 40, de um processo de produção baseado na metalurgia do pó com o uso de compressão e sinterização para geração de carbeto de tungstênio, que após sinterizados deram origem às primeiras ferramentas de metal duro, responsáveis por uma verdadeira revolução nos processos de usinagem em escala mundial (FERRARESI, 1986). É possível avaliar a resistência e o tempo decorrido entre cada afiação de ferramenta, e definir se esta vida útil será maior ou menor em relação a outras ferramentas com a avaliação do acabamento superficial e também por fatores relacionados à potência consumida e da vida útil da ferramenta de corte (FARIAS 2001).

Torres e schaefer (2008) mostraram a possibilidade de reproduzir metal duro em laboratório com auxílio de um moinho atritor com esferas de alumina a fim de obter uma liga homogênea atritando ligas de Tungstênio adicionadas ao Boro até gerar partículas minúsculas. Na Figura 6, é possível ver a diferença significativa quanto ao tamanho de partículas geradas e a diferença da estrutura cristalina dessas partículas, como apresentados para as partículas de Tungstênio (A) e partículas de Boro (B), ambas obtidas pelo processo de decomposição através do moinho atritor Elaborado por Torres & Schaefer.

Figura 6. Micrografia do pó triturado de WC, e micrografia de Boro triturado



Adaptado de: (Torres e schaefer, 2008).

No caso do metal duro, a composição é baseada em micropartículas de carbonetos metálicos dentro de uma matriz ligante onde os componentes mais importantes serão o Carboneto de Tungstênio (WC) denominado “fase α ” e o cobalto como metal ligante (Co) denominada “fase β ”.

Teoricamente o elemento de fase α determina a resistência da ferramenta ao desgaste enquanto a fase β proporciona tenacidade à ferramenta, mas a atuação destes elementos fica inversamente proporcional, pois à medida que se eleva a resistência ao desgaste, irá ocorrer a redução da tenacidade durante o processo ou o inverso quando do aumento do desgaste, a tenacidade tende a subir, (MARCONDES, 2008).

Para Marcondes (2008), adição de carbonetos de titânio (TiC), tântalo (TaC) e Nióbio (NbC) em ferramentas de corte partir da década de 60, trouxeram a constituição da chamada fase “g” “g”, que vêm contribuir com novas formulações químicas na constituição das ferramentas de metal duro e para trazer características como resistência ao desgaste e tenacidade de forma simultânea para gerar um leque bem maior de possibilidades com funções simples.

Neste caso, o carboneto de titânio tem como uma de suas maiores funções é proporcionar o aumento da resistência da liga, enquanto que a finalidade dos carbonetos de tântalo e nióbio é agirem na formação da liga de metal duro com mais tenacidade, (MARCONDES, 2008).

O metal duro consegue manter uma dureza relativamente boa em altas pressões de trabalho, mantendo por mais tempo seu fio de corte, mesmo ao trabalhar e altas temperaturas, ou em altas velocidades de corte, e isso é muito importante, podendo ressaltar que a maior velocidade de trabalho na usinagem implica em maior calor gerado na interface entre ferramenta e peça, podendo este fio de corte da ferramenta resistir à velocidade de trabalho bem superior ao que suportaria as ferramentas de aço rápido. (SOUZA, 2011).

No trabalho realizado com análise do desgaste abrasivo de ferramentas para o corte de madeira, com análise de duas famílias de ligas fundidas utilizadas como ferramentas, com duas ligas à base de Stellite, e duas ligas de metal duro, que após os testes e ensaios, constataram uma taxa de desgaste superior das ligas de metal duro, e esta pode estar relacionadas pela dureza dos carbonetos WC, em relação ligas fundidas que apresentaram os menores coeficiente de atrito e esta redução do atrito gerou menor perda volumétrica de material durante o processo.

(PINTAUDE et. al. 2000). Embora não exista uma classificação geral de materiais para ferramentas, estas ferramentas podem ser divididas e agrupadas conforme sua constituição fatores como as características químicas e materiais de base principal e ligante onde se tem as ligas de aços rápidos, aços rápidos com revestimento, metal duro, metal duro com revestimento, ligas cerâmicas, ligas de CBN e diamantes (DINIZ et. al., 2006).

2.5.1. Recobrimento de ferramentas de Metal duro

Ferramentas de metal duro revestidas nada mais são do que pastilhas constituídas principalmente de metal duro convencional, que são revestidas por componentes metálicos ou cerâmicos ainda mais resistentes á determinados tipos de corrosão ou desgaste, e esta nova roupagem promove melhorias significativas nessa ferramenta com relação à taxa de remoção do cavaco e as velocidades de remoção de material a que são submetidos, além de muitas vezes agir como isolante e anti-atritante (BANDINI, 2012).

Deste modo, podemos classificar os diversos tipos de revestimentos de acordo com o processo e sua composição, como sendo revestimentos simples ou compostos, este ultimo trata-se de revestimentos constituídos de camadas muito finas com granulométrica variada e capaz de combinar as propriedades de dureza e resistência ao desgaste simultaneamente (BANDINI, 2012).

Atualmente, a tecnologia dos revestimentos evoluiu de tal forma que existem hoje pastilhas multirrevestidas, com camadas sobrepostas, em que cada uma das camadas exerce uma função específica, a fim de conter os diferentes processos de desgaste que se desenvolvem durante a usinagem (SOUZA, 2011).

Quando Lira (2013) aplicou o conhecimento da literatura para averiguar se os processos de deposição conhecidos como CVD (Chemical Vapour Deposition) e o processo PVD (Physical Vapour Deposition) são eficientes quando atrelados ao desenvolvimento de uma técnica de Descarga em gaiola catódica rotativa, notou-se que a aplicação de revestimento de filmes duros, poderia suprir os desgastes sofridos pelos insertos de metal duro durante operação.

Neste caso em específico, constatou-se que o índice de rugosidade superficial do inserto de metal duro atacado pelo processo apresentou valores maiores que a superfície da ferramenta não atacada, o que é uma hipótese bem aceita com estudos encontrados na literatura sobre o assunto, além de ter sido registrado níveis de baixa pressão na formação do plasma em curtos intervalos de tempo do procedimento (LIRA, 2013).

Revestimentos de ferramenta podem ser obtidos tanto pelo processo CVD (Chemical Vapor Deposition) quanto pelo processo PVD (Physical Vapor Deposition). Essas camadas medem em média de 3 a 5 μm de espessura, proporcionando maior durabilidade à aresta de corte, pois a camada extrafina e extremamente dura sobre o núcleo tenaz permite que uma mesma pastilha possa suportar maiores esforços de corte (em operações de desbaste) como suportar altas velocidades (em operações de acabamento) (SOUZA, 2011).

A utilização de revestimentos em metal duro iniciou-se no período em que a utilização desta ferramenta apresentava defeito como formação de desgaste de cratera, solucionado com a aplicação de TiC, TaC, e NbC, tendo em vista que a função da deposição de revestimento visa prolongar a vida útil das ferramentas e proporcionando assim vantagens como aumento da velocidade de corte, redução da adesão térmica na superfície da ferramenta, e diminuição de esforços mecânicos durante o processo. (SANTOS, 2007), em destaque junta à Tabela 7.

Tabela 7. Revestimentos depositados pelos processos PVD e CVD.

Processo PVD	TiN	TiAlN	TiCN	WC/C	MoS²	DLC
Processo CVD	Diamante	SiC	Al₂O₃	TiC	TiN	

Adaptado de: (Santos, 2007).

Bezerra e Machado (2007), ao comparar o comportamento de ferramentas de padrão comercial e ferramentas produzidas com e sem revestimento, para as mesmas condições de ensaio as pastilhas de cunho comercial, sem recobrimento, ferramenta comercial com deposição CVD e recobertas por deposição de PVD no processo Triodo Magnetron Sputtering ou simplesmente TMS.

A ferramenta comercial seguiu as características descritas na bibliografia, porém com acabamento superficial inferior diante das ferramentas com e sem recobrimento, que apresentam acabamento melhor em baixas velocidades e acabamento grosseiro e somente após 300m/min (velocidade máxima estudada), o que pode estar diretamente associado com a vibração durante o torneamento, ou pelo cavaco contínuo gerado à velocidade de 300 m/min enquanto a ferramenta comercial gera seus cavacos em forma de lascas. (BEZERRA e MACHADO, 2007).

2.5.2. Ferramentas de metal duro com Diboreto de Titânio (TiB₂)

A definição mais precisa para o Diboreto (ou diborato) de Titânio, resumido com as siglas TiB₂, é dada por Gerhard Ett em 1999, no trabalho que trata de uma análise detalhada sobre a inovação tecnológica trazida pela utilização do diboreto de titânio, considerado por ele como um material cerâmico de qualidades surpreendentes, e por possuir excelentes características adquiridas tanto pela sinterização em altas temperaturas, quanto a qualidade adquirida através da aspersão térmica desta liga pela cerâmica depositada.

A liga de diboreto de titânio pode ser fundida com o metal ou simplesmente adicionada em frações ou camadas aos mais diversos tipos de metal, capaz de combinar dureza extrema e resistência à corrosão, com ponto de fusão próximo dos 2900°C e resistência à corrosão em torno de 1000°C, transformando-se no elemento ideal para fabricação de aletas de turbinas, bicos de foguetes e câmaras de combustão e ferramentas para usinagem entre outros (ETT, 1999).

O Diboreto de titânio é um material cerâmico que detém características como elevada resistência e alta durabilidade, possuindo ainda o ponto de fusão relativamente elevado, além da elevadíssima dureza que proporciona pela alta resistência em função de densidade atômica e enorme resistência quando submetido às condições radicais de desgaste (MUNRO, 2000).

A dureza das ligas contendo em sua composição o diboreto de titânio pode ser comparada, em alguns casos com a dureza contida nas ligas de diamantes, o que vem despertando interesse da pesquisa em uso para fins militares em coletes balísticos e exoesqueletos aliando-se ao kevlar (ETT, 1999).

Sua produção se dá através de uma série de processos, mas a mais usual se dá pela sinterização a altas temperaturas, sendo ideal nos casos de ferramenta de corte à base de diboreto de titânio, onde a fusão e compactação de uma mistura de pó, que leva de 5 a 20% em peso do metal duro juntamente com um ligante de ferro e o restante desta liga essencialmente com diboreto de titânio exceto uma parcela pequena de 1,0% de oxigênio e 2% de grafite, causando um aumento significativo da vida útil da ferramenta, quando em comparação com o uso de uma ferramenta de corte de WC da mesma configuração, submetido às mesmas condições de corte em operação de corte realizada a seco (MOSKOWITZ, 1989).

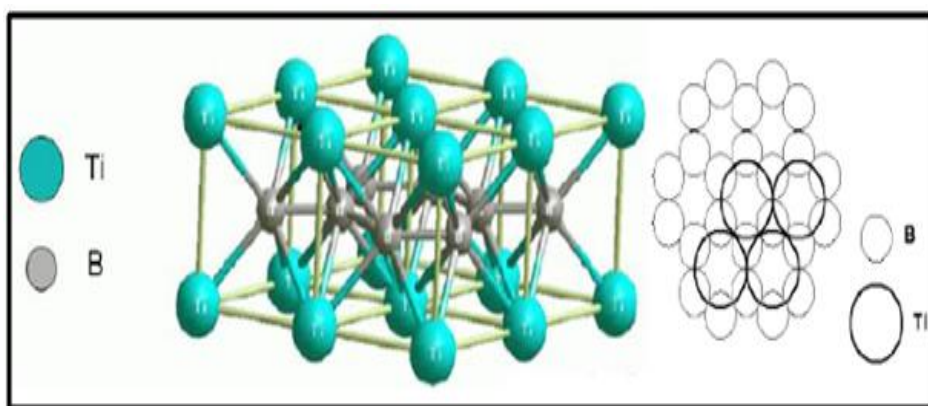
Além de ser um dos materiais mais duros conhecidos, ao mesmo tempo tem uma alta resistência à fratura quando submetido a esforços mecânicos e resistência considerável quando submetido à ação de altas temperaturas o TiB_2 possui resistência à fratura de 8.0 MPa, com dureza Knoop de aproximadamente 25.6 GPa com força de flexão acima dos 500 MPa, que faz dele um material incomum em relação a outros materiais cerâmicos, e por não possuir fase granular periférica, o que faz com que a resistência à corrosão química seja aumentada de forma considerável ao ponto de desenvolver uma taxa de corrosão de apenas 40 μm por dia quando submetido à criolita líquida a 1000°C de temperatura (ETT, 1999).

A estabilidade do composto Titânio-Boro se comporta muito bem quando submetido às elevadas temperaturas por possuir uma dureza considerável, quando sinterizado a partir do tratamento térmico do TiO_2 e o B_2O_3 , tornando o um excelente condutor térmico devido à mobilidade eletrônica na estrutura gerada, alta dureza e resistências mecânica e ao desgaste, podendo ser indicado para uma série de utilizações de precisão, como por exemplo em revestimento protetor de ferramentas de corte e recobrimento de disco rígido magnético (CABRAL, 2012).

Segundo Ramos Coelho et. al.(2012), o diboreto de titânio tende a contribuir de maneira efetiva em relação do aumento de dureza e maior tenacidade em relação à fratura relacionada ao carбето de Boro, uma vez que o aumento percentual do aditivo acarretando no aumento também significativo destas duas propriedades mecânicas quando analisado as condições de fratura do material, a fratura de corpos de prova pode ocorrer onde o carбето puro apresentar pouca rugosidade superficial.

Na Figura 7, destacada por Cabral (2012), apresenta o arranjo do diboreto de titânio em um composto cerâmico de estrutura hexagonal onde os pequenos átomos de boro formam uma rede covalentemente ligada na matriz do titânio formando uma rede tridimensional complexa onde o boro serve como o ligante da estrutura dando mais estabilidade para o arranjo estrutural do sistema.

Figura 7. Rede de átomos de Boro em matriz da estrutura cristalina hexagonal de Titânio



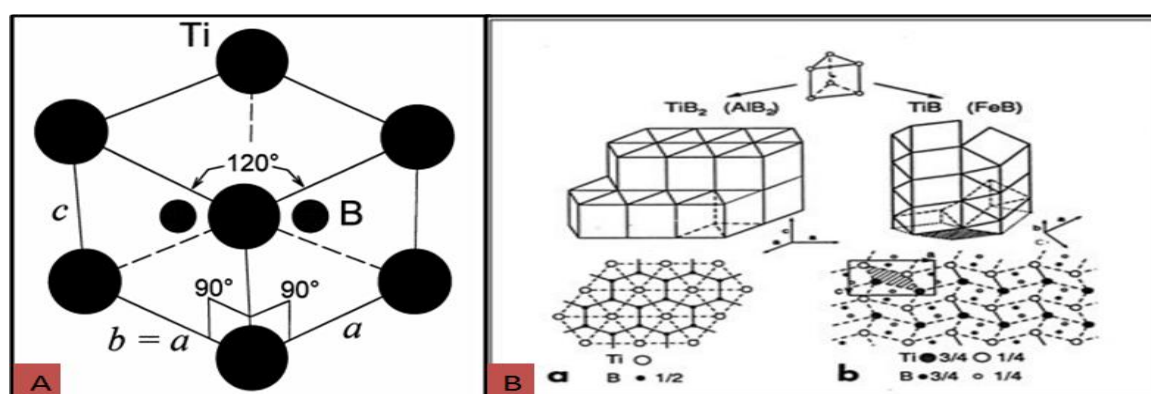
Adaptado de: (Cabral, 2012).

Essa demanda crescente na aplicação de cerâmicas á base de diboreto de titânio, para os mais variados fins, principalmente onde se exige uma elevada resistência ao desgaste, como do uso de revestimentos de blindagem e coletes balísticos, em ferramentas de usinagem de alta velocidade, e outras funções onde a microdureza é considerada a propriedades mais importante (CABRAL, 2012).

Para Munro (2000), as propriedades físicas, mecânicas e térmicas do diboreto de titânio podem mudar em função da densidade e tamanho de grão, que apesar do proceso para obtenção e processamento não precise ser extremamete refinada, a densidade de partícula e tamanho de graos fica dependente do processo de sinterização e em função direta da temperatura, e a variação de estrutura pode mudar de lote para lote cuja densidade de partícula varia em $(4,5 \pm 0,1) \text{ g/cm}^3$ e o tamanho médio do grão podem chegar a $(9^+ - 1) \mu\text{m}$.

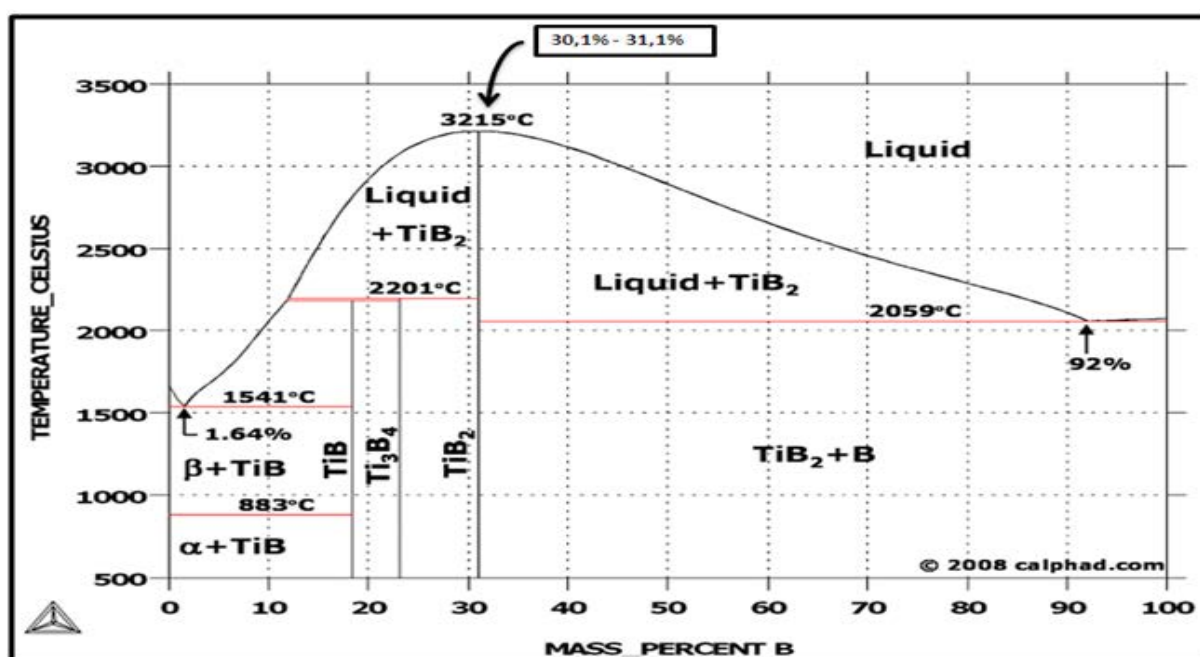
A Figura 8 aparece uma exemplificação da organização atômica e a formação da estrutura cristalina tanto do TiB_2 , quanto a disposição no plano de arranjos estruturais do diboreto e do boreto de titânio num plano tridimensional. No Quadro 3 um diagrama típico de Boro-Titânio, sendo possível destacar que na fase ideal do diboreto de titânio, se forma quando a porcentagem ideal de Boro se fixa entre 30,1 e 31,1 % em peso de liga, causando maior estabilidade do composto quando este atinge o pico de temperatura de transformação em 3215 °C.

Figura 8. Arranjo Estrutural do TiB_2 e formação da estrutura cristalina de TiB_2 e TiB



Adaptado de: (Munro, 2000), Adaptado de: (TMZ, 2005).

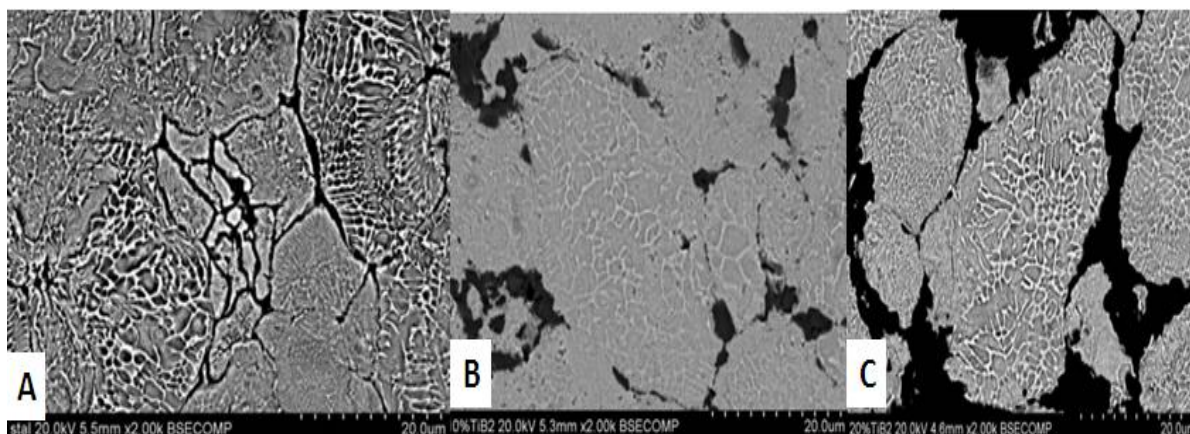
Quadro 1. Diagrama de equilíbrio Ti – B em função de massa e variação de temperatura.



Adaptado de: (<http://www.calphad.com/titanium-boron.html>, 2015).

O trabalho de Sulima et. al. (2011), que conta com o experimento da adição de diboreto de titânio em uma liga de aço inoxidável com base Cromo-Molibdênio austenítico, comercialmente denominado AISI 316L, que ao sofrer adições de 10 % e 20 % de diboreto em relação ao peso da liga, causaram o aumento significativo dos módulos de Young e da dureza superficial em relação ao material original, sendo possível observar a mudança estrutural da liga que após atingir os 20 % de adição das partículas de TiB_2 ao aço, revelou uma redução significativa do coeficiente de atrito. Quando comparados no microscópio eletrônico de varredura, as três amostras analisadas apresentaram fases de TiB_2 nos limites do contorno de grãos, e a 10 %, e com 20%, uma camada cerâmica expressiva e continua ao longo dos contornos de grão como destacado pelas três imagens contidas na Figura 9.

Figura 9. Ligas de Aço Cr-Mo, com adição de 10 e 20 % de TiB_2



Adaptado de: (Sulima et. al., 2011).

A avaliação dos revestimentos de diboreto de titânio obtidos por corrente pulsada ao serem comparados aos obtidos por deposição galvanostática com corrente contínua e potenciostática, a primeira apresentou melhores propriedades mecânicas e estéticas, com um numero menor de nódulos e apresentando menos trincas e proporcionando melhor aderência ao substrato, maior poder de nivelamento e maior eficiência de corrente, enquanto que o potenciostático possibilita vantagens em função de obter-se uma deposição mais seletiva onde o potencial aplicado faz com que haja gerações eletroativas mais distintas, como foi avaliado por técnica de microscopia eletrônica de Varredura (SULIMA et. al., 2011).

O estudo completo e a pesquisa da aplicação de ferramentas revestidas com o TiB_2 vêm expandindo-se nos últimos anos, com uma ascensão notável diante das características já descritas de resistência a abrasão, e a corrosão, enquanto mantém seu baixo coeficiente de atrito, o que colabora para a durabilidade e resistência do corte da ferramenta revestida em relação às ferramentas sem revestimento por cerâmicas (ETT, 1999).

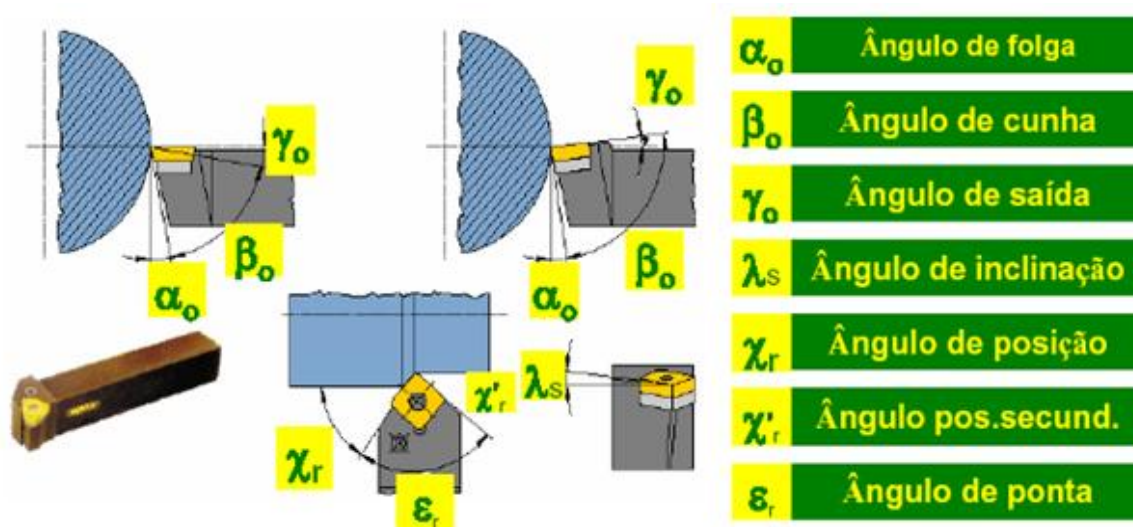
2.5.3. Efeitos da ação da ferramenta para o torneamento

Segundo Ferraresi (1986), cada perfil de ferramenta é escolhido para desempenhar uma operação específica de usinagem. Para que tal operação seja bem sucedida e feita com precisão, a geometria da ferramenta, ou seja, seus ângulos principais devem ser devidamente escolhidos. De todos os ângulos de ferramentas a serem avaliados os ângulos de saída e ângulo de posição são os que mais influenciam na qualidade superficial gerada uma vez que o aumento positivo do ângulo de saída faz com que a rugosidade diminua, enquanto que a diminuição do ângulo de posição causa aumento da força passiva, aumentando a possibilidade de vibrações degenerativas e comprometendo o acabamento da peça trabalhada (SCHROETER et. al., 1991).

A fixação das ferramentas necessita de atenção especial uma vez que as soldas usadas para fixar podem vir a fragilizar em altas temperaturas, soltando-se e causando acidentes, tendo sido criado outros sistemas de fixação como, por exemplo, pela fabricação de peças intercambiáveis fixadas aos suportes e dando agilidade para montagem e troca das ferramentas gerando economia de tempo durante o processo, (MARCONDES, 2008).

A escolha da geometria deve ser baseada em três partes principais da ferramenta, que são a superfície de saída onde o cavaco é formado, pela superfície de folga na qual se encontra a aresta principal de corte e pela cunha de corte formada pela intersecção das superfícies de folga e saída da ferramenta de corte, expressos na Figura 10, onde os pontos demarcados onde é possível notar as referencias dos ângulos da ferramenta (SANDVIK, 2014).

Figura 10. Posicionamento da ferramenta e ângulos principais



Adaptado de: (Sandvik tools, www.sandvik.coromant.com/br, 2014).

É possível associar o sistema tribológico de uma ferramenta com a alta pressão sofrida por ela durante o processo de usinagem convencional, também associada a altas temperaturas geradas na superfície de corte, fazendo com que a definição da interface adequada dessas ferramentas fosse estudada profundamente por engenheiros e fabricantes de ferramentas (FERRARESI, 1986), descrevendo como atuam os principais ângulos de corte detalhando a ação e função de cada uma dentro do sistema ou operação de usinagem a ser utilizada como:

- Ângulo de folga contido entre o plano de corte e a superfície de folga onde este faz com que a aresta de corte penetre no material e o corte livremente.
- Ângulo de cunha gerado pelas superfícies de saída e folga com o principal objetivo de potencializar a resistência mecânica da ferramenta.
- Ângulo de saída gerado pelo plano de referência de corte e pela superfície de saída exercendo influência sobre parâmetros como força, potência e temperatura de corte e acabamento.
- Ângulo de posição é formado pela aresta principal de corte e pela direção de avanço sobre o plano de referência, onde este controla o impacto da entrada da ferramenta de corte distribuindo as tensões, fazendo com que a espessura do cavaco seja alterada.
- Ângulo de ponta é formado pelas arestas lateral e principal de corte sobre o plano de referência tendo como principal função o aumento da resistência mecânica da ferramenta.

O uso de equipamentos de medição como dinamômetros piezelétricos para gravar forças de atuação das ferramentas e equipamentos para fotografar em alta velocidade a fim de avaliar a formação dos cavacos e ação das forças de corte vem sendo amplamente utilizada na usinagem de madeira, para precisar o efeito dos mecanismos de corte simples e ortogonal além da causa e efeito do desgaste nas ferramentas e geometria de corte, onde a ferramenta desgastada provoca uma compactação excessiva das fibras durante o corte segundo a mecânica fundamental de usinagem de madeira estabelecida pelos trabalhos de Franz, Woodson, e principalmente no trabalho de Mackenzie em 1965, e pelo extenso trabalho promovido por Peter Koch em 1964 (NAYLOR E HACKNEY, 2013).

Os ensaios de usinagem podem ser ensaios de curta e longa duração, fazendo a classificação das ferramentas conforme a vida útil de cada uma durante o tempo de trabalho até que esta perca definitivamente sua capacidade de corte, ou através da medição de desgaste de flanco (V_b) e Rugosidade média (R_a), onde os ensaios de longa duração mostram-se mais confiáveis apesar de mais custosos (BAPTISTA, 2002).

2.6. Torneamento em madeira.

O processamento de madeira seca, e a qualidade superficial resultante do processo de usinagem vão depender de uma série de fatores, como formação de cavacos, e a cinemática do processo de usinagem escolhido, a relação da qualidade também está diretamente ligada à densidade e teor de umidade contida na madeira.

O foco para se determinar o esforço de corte e força consumida no corte determinar os esforços e poder de corte, a investigação deve ser dirigida para o processo de formação de cavacos, a rugosidade da superfície e da vida ou o desgaste da aresta de corte. A qualidade da superfície resultante dos produtos com base em madeira maquinadas afeta significativamente o processo subsequente de aplicação de adesivos e vernizes, ou seja, afetada a qualidade da adesão entre a superfície ou superfícies de textura do tratamento de superfície.

O livro “Wood machining process” de Peter koch foi um dos primeiros a abordar a usinagem de madeira, a incluir todo o processo de corte de madeira, comportamento do equipamento de usinagem da madeira e de uma investigação científica mais minuciosa, antes disso havia muito pouco material para agrupar resultados significativos para entender este processo numa abordagem sucinta para a organização de inúmeras informações sobre o processamento de madeira com o objetivo declarado de estabelecer as relações entre conhecimento teórico e pratico para facilitar o entendimento do que ocorre durante a usinagem de corpos anisotrópicos (Mackenzie, 1965).

Algumas técnicas de usinagem evoluíram muito com o passar do tempo, ao ponto de passarem de processos artesanais movidos à tração humana e animal, até este momento, onde o uso do homem para acompanhar e monitorar os usos potenciais de melhoria do processo e as relações entre as propriedades da madeira, as propriedades das ferramentas e as condições de corte com máquinas ferramentas que vão aos poucos sendo adaptadas para usinagem de madeiras (LUCAS FILHO, 2004). A compilação do trabalho de Kivimaa em 1952, sendo reestudada por Gonçalves (2000), mostra que a posição do sentido de corte tende a influenciar as forças empregadas na usinagem, onde Gonçalves alerta que a análise sobre o corte de madeira somente será bem sucedido, se levado em consideração o comportamento anisotrópico, por razões de estrutura e propriedades mecânicas que podem variar de acordo com a direção de corte a ser considerada.

A quem diga que o grande avanço do estilo mobiliário encontrado desde as casas mais tradicionais até as casas mais comuns, tudo entre mesas, consolos, canapés e cadeiras de balanço, derivam do modo Thonet de produção no século XIX, onde os processos industriais substituíram definitivamente o trabalho artesanal em escala industrial que dominou a produção dos móveis no Brasil império, (MACHADO, 1990), conforme ilustração presente na Figura 11.

Figura 11. Indústrias Tonet e produção de moveis em escala na década de 30



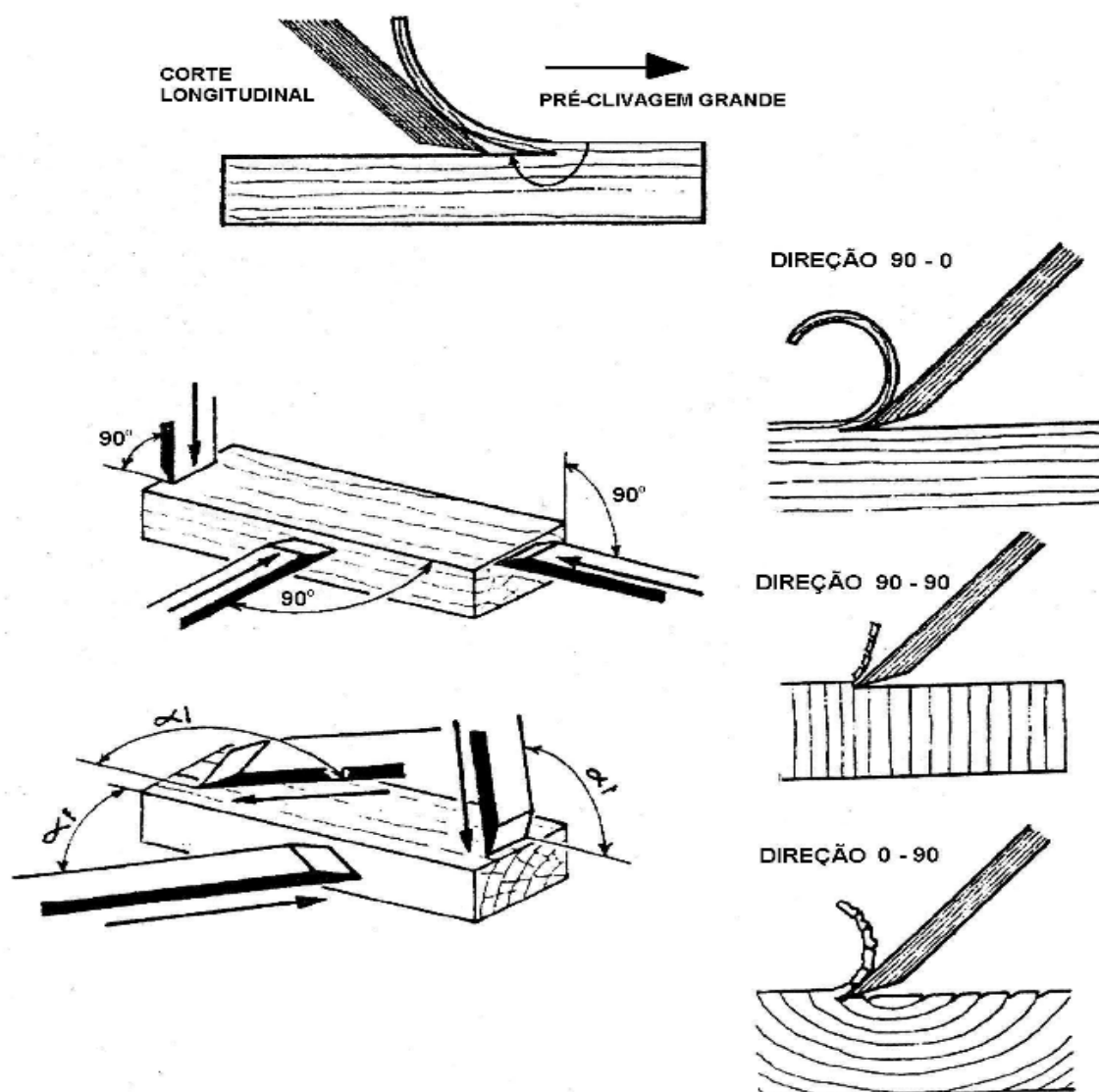
Adaptado de: (Tonet mundus - <http://www.thonet.com.au/history>, 2014).

Para tanto, estabeleceu-se na norma ASTM D1666-87 (1988), uma metodologia padronizada para se realizar diversos testes de usinagem de madeira e de materiais à base de madeira, e estabelecer padrões de avaliação de acabamento, complementando as forma das amostras, dimensões dos Corpos de prova, ferramentas e parâmetros estabelecidos para a usinagem.

Deste modo percebe-se que a união das características geradas tanto pelo sentido em que a madeira é cortada, atrelada à velocidade de avanço, ângulos de posicionamento das ferramentas e características do processo de usinagem empregado irão resultar em uma interação bastante complexa, e desta interação, a tendência de influenciar os esforços de corte e por final a superfície do material usinado (GONÇALVES, 2000).

Para Tibúrcio et. al. 2010, existem dois planos de cortes singulares relacionados ao processamento da madeira, tendo o fresamento cilíndrico tangencial que ocorre pelo cabeçote rotativo que contém as facas de corte em sua face e ataca a superfície do material removendo em forma de cavacos de acordo com a especificação da superfície removida, e o segundo estabelecido pelo corte ortogonal, aonde a ferramenta vai de encontro com a peça enquanto o cabeçote rotativo aplica o movimento rotativo tendendo ao infinito enquanto a aresta da ferramenta de corte atua perpendicular ao plano de corte e a peça cortada, de acordo com Mackenzie em 1965, como se destaca pela Figura 12.

Figura 12. Direcionamento de corte e formação de cavacos



Adaptado de: (Mackenzie, 1965).

Por esta razão, Gonçalves (2000), descreve a forte ligação entre o crescimento orientado das fibras, vasos e raios com as propriedades físicas e mecânicas que variam segundo a direção considerada, ao ponto de destacar três direções relativas, que neste caso passam a serem as principais posições ideais de corte ou principais direções de cortes na madeira.

A determinação das direções de corte em madeira para processos de usinagem comum estão divididas em três condições de acordo com as operações aplicadas tendo a notação 90-0 para corte paralelo as fibras ou comumente conhecido como corte ortogonal, enquanto que 0-90 e 90-90 são considerados cortes que atuam de forma perpendicular às fibras (TIBURCIO et. al., 2010).

- **Corte 90 –0:** ângulo de 90° entre a aresta de corte e a direção das fibras; movimento de corte paralelo às fibras (direção longitudinal ou axial);
- **Corte 0 – 90:** aresta de corte paralela à direção das fibras; direção do movimento de corte perpendicular às fibras (direção radial/tangencial);
- **Corte 90 –90:** aresta de corte e a direção do movimento de corte são perpendiculares à direção das fibras (direção transversal).

Neste caso em específico, as espécies de ipê e canela foram classificadas como as melhores dentre as espécies verificadas em todos os procedimentos, mas conforme descrito pela norma, é possível afirmar que no geral, todas superaram os requisitos mínimos exigidos e possuem condição potencial para serem utilizadas na confecção de mobiliário de acordo com estas normas vigentes (DIAS JUNIOR et. al. 2014).

Amorim (2002) destaca parâmetros importantes como a Velocidade de corte, avanço e espessura de corte e que a ação ou influência de cada um dependera das características do material processado e podem mudar o perfil a ser obtido no caso das espécies florestais que sofrem influencia de umidade, teor em resina, número e dimensão e particularidades próprias de cada madeira.

Quanto à ação de alta temperatura de corte, envolvendo o processamento da madeira seca e produtos derivados de madeira como painéis de fibra, além de selecionar ferramentas com revestimento e tratamentos para determinar quanto desgaste da ferramenta de corte vai gerar para a usinagem de madeira, também é preciso uma seleção de aços e ferramentas com revestimento para resistir às altas velocidades, o que pode ser interessante quando se deseja reduzir esses níveis de desgaste (STEWART, 1991).

Dias Junior et. al. (2014), descreve o torneamento de madeira como um dois processos mais difíceis de ser aplicado, e requer um bom operador de torno para conseguir produzir na madeira as formas e entalhes além do acabamento da superfície da madeira. Outros fatores como o uso da ferramenta, tipo da madeira e determinação da velocidade de corte adequada fazem muita diferença quando se busca resultados voltados para o bom acabamento da peça.

Alguns estudos envolvendo a análise de corte em madeira, pretendendo estabelecer uma relação precisa sobre todos os efeitos ocorridos durante a maquinação e seus efeitos sobre a superfície da madeira ainda são complexos, e métodos como a da rugosidade aparente acabam sendo uma boa opção, mas no caso de aplainamento, por exemplo, os parâmetros mais importantes acabam sendo a orientação de corte, a espécie de madeira, velocidades de rotação e de corte e profundidade de corte (AGUILERA et. al., 2001).

2.7. Acabamento Superficial em madeira

O acabamento superficial é representado, principalmente, pela rugosidade, que consiste em um conjunto de irregularidades com espaçamento regular ou irregular, e que tendem a formar um padrão ou textura característicos em uma superfície. Estas irregularidades estão presentes em todas as superfícies reais, por mais perfeitas que estas sejam, e muitas vezes constituem uma herança do método empregado na obtenção desta superfície (torneamento, fresamento, furação, etc...), (AMORIM, 2002).

O estudo de acabamento superficial de peças usinadas é justificado para atestar a confiabilidade de condições funcionais dos componentes mecânicos, que se valem da utilização de sistemas de monitoramento, onde a tendência destes visa principalmente detectar mecanismos que possam influenciar na deterioração das ferramentas de corte, que podem ser causadas pelo desgaste natural ou pela ação de elementos abrasivos que podem acontecer tanto pelo atrito quanto pela vibração excessiva (GONDIN & DUARTE, 2006).

Em se tratando do acabamento de superfície da madeira, o resultado está relacionado com as condições de corte aplicadas, e a espessura do cavaco está intimamente ligada a este fator. Outros fatores como alteração da velocidade de rotação, maior velocidade de corte são determinantes para alterações sensíveis quanto a rugosidade de superfície e a densidade da madeira pode ser um fator importante para definir a qualidade desejada, especialmente em baixos níveis de velocidade e de baixa densidade da madeira (AGUILERA & ZAMORA 2009).

A qualidade da superfície de madeira possui fortíssima influência no acabamento final da peça fabricada, auxiliando na definição de qualidade da superfície quando esta está vinculada a outros fatores como a colagem de juntas e o acabamento final do produto. Este acabamento final do processo de usinagem em madeira também pode ser afetado por condições que envolvem o formato da peça a ser produzida, os parâmetros de máquina e os fatores relacionados à composição e formato da ferramenta de corte (KILIC et. al. 2006).

Lundberg (1995) exalta que a qualidade da superfície após diferentes tipos de usinagem é de grandiosa importância para a indústria voltada ao beneficiamento de madeira, e as análises de acabamento por medições de contato não ótico como a varredura a laser, pode ser de muita valia devido seu grau de precisão sobre os métodos óticos e físicos de avaliação de rugosidade e acabamento superficial.

Segundo os conceitos de Ali e Dhar (2010), o quanto se pode padronizar um componente usinado tanto em relação ao comprimento, largura, diâmetro, acabamento de superfície, sabendo que as propriedades de resistência ao desgaste, qualidade de acabamento e precisão adimensional tem de ser controlados pelos fabricantes para atender exigências especificadas pelo mercado consumidor.

2.8. Medição e avaliação da Rugosidade

Para Sandak et. al. (2005), a madeira tem papel incontestável e inquestionável como material de engenharia para fabricação de produtos de primeira qualidade, mas esse também é sempre um desafio quando se trata de atingir uma boa qualidade ao criar superfícies muito complexas. Além de fatores importantes relacionados com a anisotropia da madeira, densidade, umidade, juntamente com a cinemática do processo de corte, condições da máquina e outras variáveis tendem a aumentar e muito a complexidade de acabamento na superfície de madeira.

Siqueira (2003) define a rugosidade como sendo desvios apresentados em uma superfície, tendo frequências periódicas e aperiódicas, geradas diretamente pelo contato da ferramenta de corte sobre a superfície da peça sofrendo uma influência direta em relação ao tipo de cavaco gerado. Já as ondulações são desvios predominantemente periódicos, que surgem devido a ajustes errados de fixação, batimento no processo de usinagem ou por efeitos vibratórios causados em máquinas, ferramentas ou peças.

Já para Carpinetti (2000), a rugosidade de superfície caracteriza-se por micro irregularidades geométricas fixas e constantes do material usinado que constituem basicamente de marcas regulares derivadas do perfil da ferramenta combinada a outras irregularidades, relacionadas conforme a constituição do material e relacionado à parâmetros de corte.

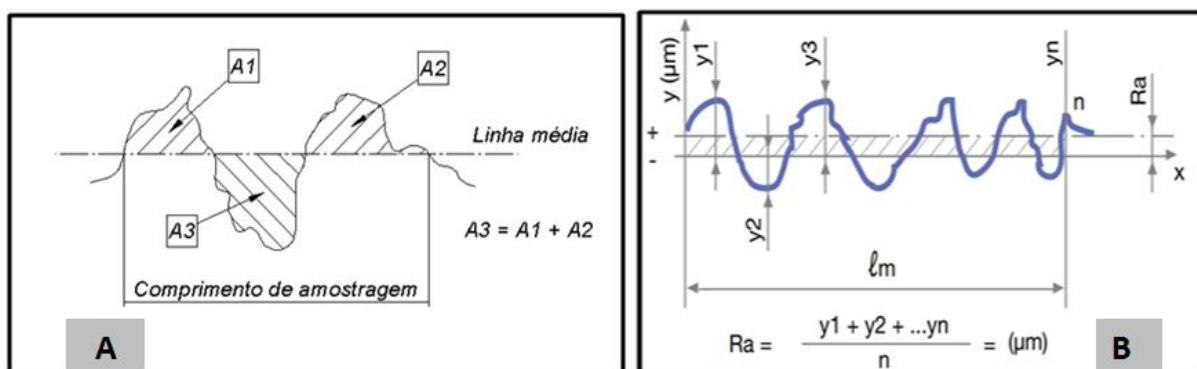
O destaque vai para o avanço, sendo este usado para a determinação teórica da rugosidade média juntamente com o raio de ponta da ferramenta, Já a profundidade de corte não chega a ser tão influente em relação à rugosidade, exceto em profundidades de corte superiores a um milímetro (1 mm), quando esta condição pode vir a gerar um pequeno decréscimo na rugosidade da peça (DINIZ et. al. 2006).

A medição da rugosidade é a avaliação do acabamento superficial de uma peça após o processo de usinagem ao qual foi submetido. O método mais utilizado como parâmetro é através a extração da rugosidade média, assim os parâmetros de rugosidade saem da média aritmética e dos valores absolutos das ordenadas de afastamento em relação à linha média, podendo ser representada como a altura de um retângulo com área igual à soma absoluta das áreas delimitadas pelo perfil de rugosidade e a linha média, e comprimento igual ao percurso de medição, (AMORIM, 2002).

Carpinetti et. al. (1996), preferem definir como rugosidade média aquela rugosidade expressa pelo parâmetro de R_a , sendo também definida como a amplitude média do perfil em relação à linha de referência sobre um comprimento do perfil correspondente a cada comprimento amostral considerado.

A somatória compreendida de ΣY_1 até Y_n com a somatória de todos os pontos discretos (picos ou vales) ao longo do perfil e n que representa o número de pontos ao longo do perfil, geralmente expresso em μm (micron) no sistema métrico ou μin no sistema inglês, com rugosímetros possuindo geralmente resoluções que vão de 0,1 a 0,001 μm por partições de precisão (CARPINETTI *et. al.*, 1996). Na Figura 13, a representação matemática da rugosidade média (R_a), pode ser expressa pelas duas formas diferentes.

Figura 13. Pontos para somatória das áreas (A); Cálculo de rugosidade média (B).



13 A, Adaptado de: (Amorim, 2002); 13 B, adaptado de: (Carpinetti, 1996).

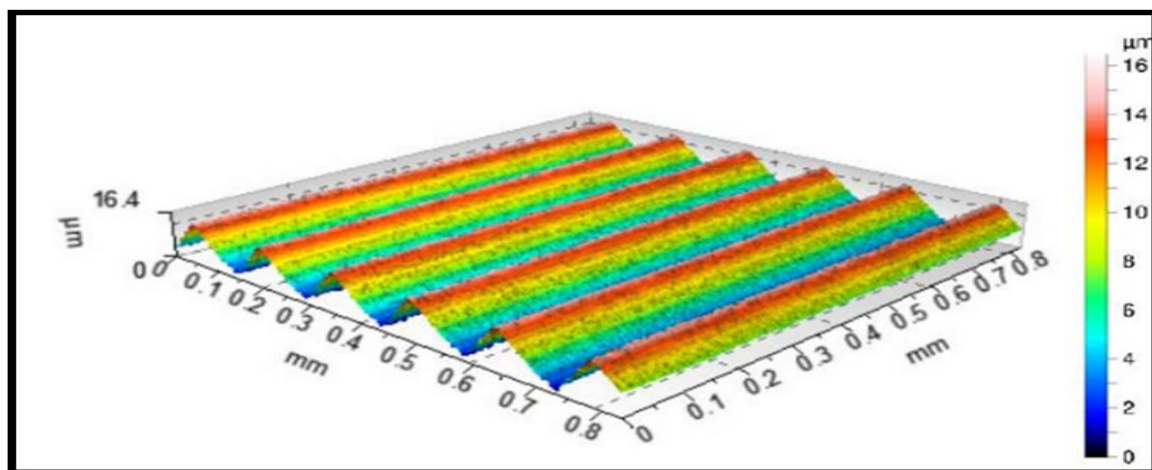
A textura formada pelos sulcos de rugosidade ou texturas primária deixada pela ação das ferramentas na superfície da peça durante a operação de corte, e as texturas secundárias com as ondulações podem estar caracterizadas pelas vibrações vindas da máquina ferramenta durante a usinagem, e estes podem ser avaliados por diferentes parâmetros dentre eles R_a , R_y e R_z (NOVASKI, 1994).

Estudos sobre a rugosidade e Medição de rugosidade de amostras de madeira, realizados por Piratelli Filho *et. al.* (2011), mostra a presença de vales profundos resultantes da porosidade da superfície pode ser realizada com a aplicação de filtros segue uma metodologia eficaz para a medição da rugosidade superficial de materiais naturais e metais moles, baseadas na aplicação de três métodos com regressão gaussiana robusta (RGRF), curva de filtragem de Abbot e regressão polinomial.

Na visão de Kilic *et. al.* (2006), existe certa facilidade verificar a rugosidade gerada na superfície da madeira no ponto de vista técnico, não há uma metodologia padrão ou específica para isso. Experimentos diversos utilizam métodos como a perfilometria óptica, análise de imagens técnicas usando câmeras de vídeo, leituras pneumáticas, ultrassom e microscopia, mas no campo industrial, pouca tecnologia é utilizada em relação análise precisa de rugosidade.

Os erros na medição de rugosidade podem estar na maioria associados com erros de posicionamento de mecanismos como o apalpador, nas limitações pelo contato da ponta da agulha, na instabilidade da agulha de contato, nas deformações das peças e também devido à vibração. Na figura 14.

Figura 14. Análise da superfície tridimensional medida por Rugosímetro 3D



Adaptado de: (Domingos et. al., 2014).

Este caso requer que sejam utilizados mais de um sistema de medição para evitar a elevação das margens de erros acima do que é tolerado, uma vez que problemas relacionados ao aumento de aceleração pode elevar ao aumento da amplitude de vibração e provocar erros na avaliação dos valores médios de rugosidade, principalmente em frequências constantes de 60, 80 e 100 Hz.

(DOBES et. al. 2014). Uma das vantagens ao remover os vales profundos associados à anatomia do material e o ajuste do perfil para submissão ao processo RGRF, efetuando assim a filtragem da ondulação aplicada com a filtragem Abbot, ocorre remoção dos vales remanescentes, deixando assim a média da rugosidade superficial efetiva de definitiva para análise mais segura (PIRATELLI FILHO et. al., 2011).

Técnicas muito avançadas dão a ideia do interesse com a relação do processamento de madeira e controle da rugosidade e acabamento de superfície, como o estudo de Coelho et. al. (2005), ao trabalhar com a quantificação de estado de superfície de madeira através de um sistema de análise artificial para determinar o que eles chamaram de pseudo-rugosidade de superfície, considerando dois critérios distintos denominados critério de ondulação (Kond) e critério de rugosidade (Krug). Essa iniciativa tem como principal objetivo a substituição da avaliação visual e tátil realizada por equipamentos como o Rugosímetro.

2.9. Vibração mecânica

As vibrações contidas em máquinas de torneamento e fresamento são consideradas de certa forma muito indesejáveis, pois afetam diretamente na qualidade da peça usinada e precisam ser amortecidas ou até suprimidas a fim de redução de ruído e conservação da ferramenta de corte usada no processo. E para isso a seleção adequada de profundidade de corte e rotação do eixo pode minimizar e muito esta vibração, desde que sejam identificados alguns parâmetros como a frequências naturais do sistema e variar a velocidade e aceleração até que se consiga separar zonas estáveis e instáveis, permitindo com isso encontrar condições para diminuir a vibração e os ruídos gerados (GOSWAMI et. al., 2013).

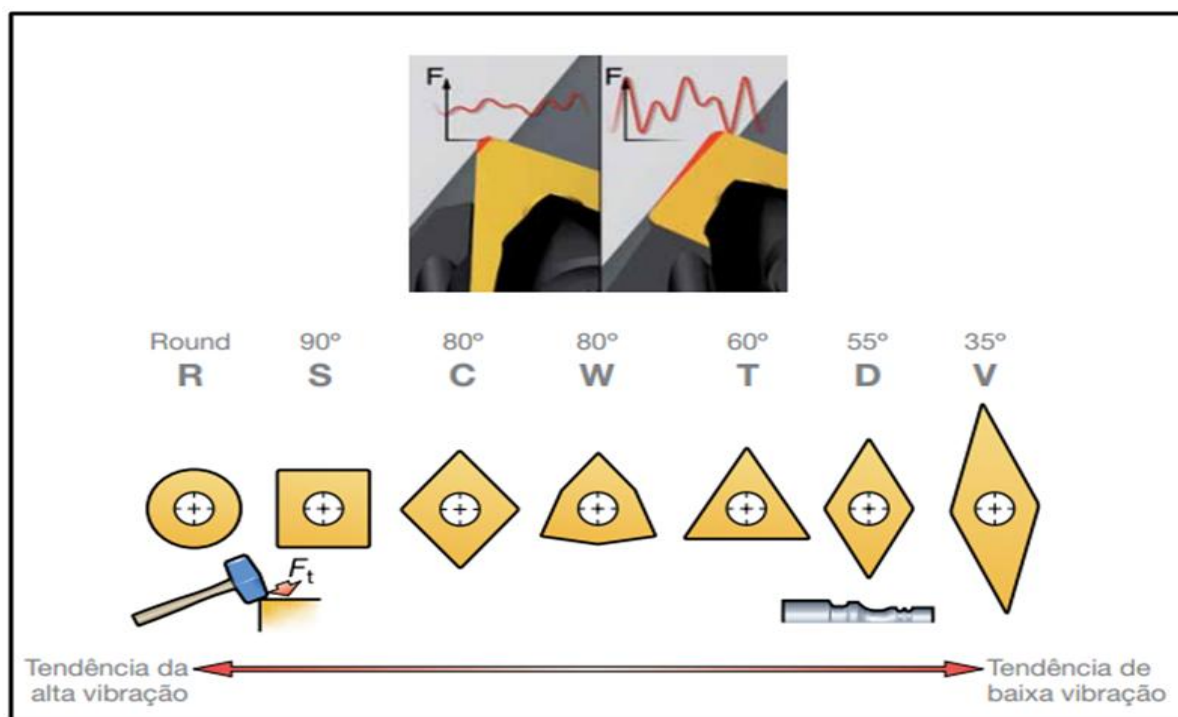
O estudo de acabamento superficial de peças usinadas é justificado para atestar a confiabilidade de condições funcionais dos componentes mecânicos, que se vale de sistemas de monitoramento que visam detectar principalmente a deterioração em ferramentas de corte, causada pelo desgaste e vibração (GONDIN & DUARTE, 2006). A vibração da força de corte sob os efeitos de frequências mais altas esta relacionada pelo próprio fenômeno de formação de cavacos, enquanto que a vibração em baixa frequência esta mais ligada a diferentes processos de corte, entre elas o desbalanceamento e defeitos em correias e engrenagens, que também é considerada uma ressonância entre fontes perturbadoras ou vibração no sistema das máquinas operatrizes. (FERRARESI, 1986).

A deformação plástica o atrito e as oscilações produzem vibrações, além é claro às perturbações causadas pelo material processado, da geometria da ferramenta e parâmetros de corte aplicados podem atuar com a mesma magnitude e capacidade de gerar inúmeros tipos de desgastes e avarias pelo processo vibratório do sistema. Por conseguinte, o fato de que os sinais de vibração também variam muito em relação aos parâmetros de usinagem, geometria da ferramenta de corte, acabamento e material que é produzido tal ferramenta. (SOUZA & SCHROETER).

A vibração existente entre ferramenta e peça, é sem duvidas um dos fenômenos mais importantes apresentado nos processos de mandrilamento ou torneamento interno, podendo influenciar no resultado final de um trabalho. Sua causa pode ser gerada de maneira externa como também por ação da força de corte ou pela própria máquina através do mecanismo conhecido como autoexcitação, gerando vibrações excessivas que possam atingir uma ou outra frequência natural e comprometer o acabamento superficial da peça (BAVASTRI et. al. 2005).

Junto à Figura 15 elaborada pela fabricante de ferramentas Sandvik, é possível ter uma breve noção de como o ângulo de incidência e formato de cada ferramenta pode vir a influenciar o mecanismo de vibração e as tendências mínima e máxima de vibração da peça torneada.

Figura 15. Influência da geometria da ferramenta no efeito da vibração para o torneamento



Adaptado de: (Sandvik Coromant, www.sandvik.coromant.com/br 2014).

Para Sant'Anna et. al. (2011), conforme ocorre à remoção de massa da peça durante o processo, faz com que a frequência natural seja menor que a frequência de excitação causando forte interação e ocorrência de lóbulos de vibrações coincidentes entre a ferramenta e peça, que por sua vez excita todo o sistema, sendo muito prejudicial à vida útil da ferramenta. Esta vibração forçada através do impacto entre ferramenta e peça irá causar alternância de sentido das vibrações e vindo a ocasionar as chamadas “vibrações regenerativas”, através da coincidência de frequências que podem desestabilizar o sistema.

Por ser um material com comportamento bastante resiliente, o viscoelástico tem se mostrado muito eficaz na construção destes absorvedores, desde que se consiga prever com clareza o comportamento dinâmico destes materiais, podendo se optar por usar as formulações matemáticas de viscoelasticidade linear, que com quatro ou cinco parâmetros permite representar, com certa precisão este comportamento em alguns materiais (BAVASTRI et. al. 2005).

Há também os métodos de análise baseada em vibração transversal para determinar o módulo de elasticidade da madeira, apesar de simples, possuem enorme potencial de aplicação com precisão de modelos matemáticos, o que os habilita para análise de peças com dimensões estruturais e os torna compatível com outros métodos como a ultrassom, por exemplo, permitindo uma análise das vibrações do material nos domínios do tempo e da frequência. (TARGA et. al. 2005).

2.10. Emissão Acústica em madeira.

Existem muitas formas de denominação ligadas á intensidade sonora, onde a mais comum é tida como sendo definida pela taxa de fluxo de energia acústica por unidade de área numa direção determinada ou específica (ISKRA & TANAKA, 2005).

Ensaio não destrutivo ou (EDN), ou também (NDT), podem ser definidos como métodos para examinar materiais e componentes a fim detectar, localizar e medir falhas e prevenir possíveis danos futuros do material, como avaliar sua integridade, propriedades, composição e medir geometricamente algumas características de fluidez conforme a (ASTM E1316). Dentre as técnicas e métodos mais usados tem-se o ultrassom, métodos de radiografia, métodos dinâmicos, emissão acústica (EA), e técnica acústica-ultrasônica (UA), e cada técnica NDT oferece inúmeras vantagens e desvantagens no que se refere ao custo, velocidade, precisão e segurança (KAWAMOTO & WILLIAMS, 2002).

A emissão acústica (EA) ou comumente citada Acoustic Emission (AE) é tida como uma técnica eficaz para monitoramento de falhas e defeitos em materiais estruturais, principalmente utilizados em serviço de laboratórios. Grande parte da literatura disponível faz menção a técnicas tradicionais de captura de parâmetros de emissão acústica, juntando a contagem de emissão de sinais, os níveis de pico e energias geradas, que podem estar relacionadas à possível formação destes defeitos e falhas nos materiais (HUANG et. al., 1998).

A pesquisa de materiais de madeira até a década de 80 era em sua maioria publicações em Japonês, e ganharam maiores estímulos após Roy F. Pelegriin & Kent McDonald organizarem um simpósio em 1980 na cidade de Pullman em Washington, incluindo para as pesquisas científicas ensaios de EDN para medições das propriedades físicas e mecânicas, além de classificação de materiais e monitoramento de defeitos em árvores, troncos, sólidos de madeira, madeira serrada, além de produtos como compósitos de madeira para a engenharia em geral (KAWAMOTO & WILLIAMS, 2002).

A intensidade sonora pode ser definida como sendo a taxa de fluxo de energia acústica por unidade de área numa direção específica, existindo assim possibilidade de utilização desta intensidade de som para monitorar a vibração e rotação desempenhada na aplicação de emissão acústica nas diversas condições de usinagem de madeira (ISKRA & TANAKA, 2005).

Existem também pesquisas para avaliar o formato de onda, na emissão acústica em função de fontes e de mecanismos de propagação deste tipo de onda, a fim de chegar a um mecanismo eficiente de detecção de fadiga e do comportamento do material que pode vir a originar fraturas e ruptura que ocorrem e podem comprometer a resistência destes materiais (HUANG et. al., 1998).

Na concepção de Alves et. al. (2013), após o estudo de sete espécies de madeiras tropicais, dentre elas o Angelim pedra (*Hymenolobium petraeum*), Angelim vermelho (*Dinizia excelsa*), castanheira (*Bertholletia excelsa*), garapa (*Apuleia leiocarpa*), muiracatiara (*Astronium lecointei*), pequi (*Caryocar villosum*) e roxinho (*Peltogyne discolor*), e os resultados expostos na Tabela 8.

Tabela 8. Valores médios de densidade aparente, velocidade de propagação de onda.

Espécie de madeira	Densidade aparente	Grupos	Velocidade de propagação de onda (m.s ⁻¹)	
	(kg.m ⁻³)		Média	Intervalo de conf.
Angelim pedra	761	C	1397(*CD)	1833 - 855
Angelim vermelho	1131	A	1547 (B)	1816 - 1108
Castanheira	696	D	1415 (C)	1817 - 954
Garapa	946	B	1628 (A)	2187 - 1189
Muiracatiara	780	C	1347 (D)	2777 - 674
Pequi	783	C	1388 (CD)	2941 - 902
Roxinho	933	B	1528 (B)	1971 - 1087

D.P.= Desvio Padrão da V.P.M. *Médias seguidas pela mesma letra na vertical, não diferem estatisticamente entre si (Tukey; $p > 0,05$).

Adaptado de: (Alves et. al., 2013).

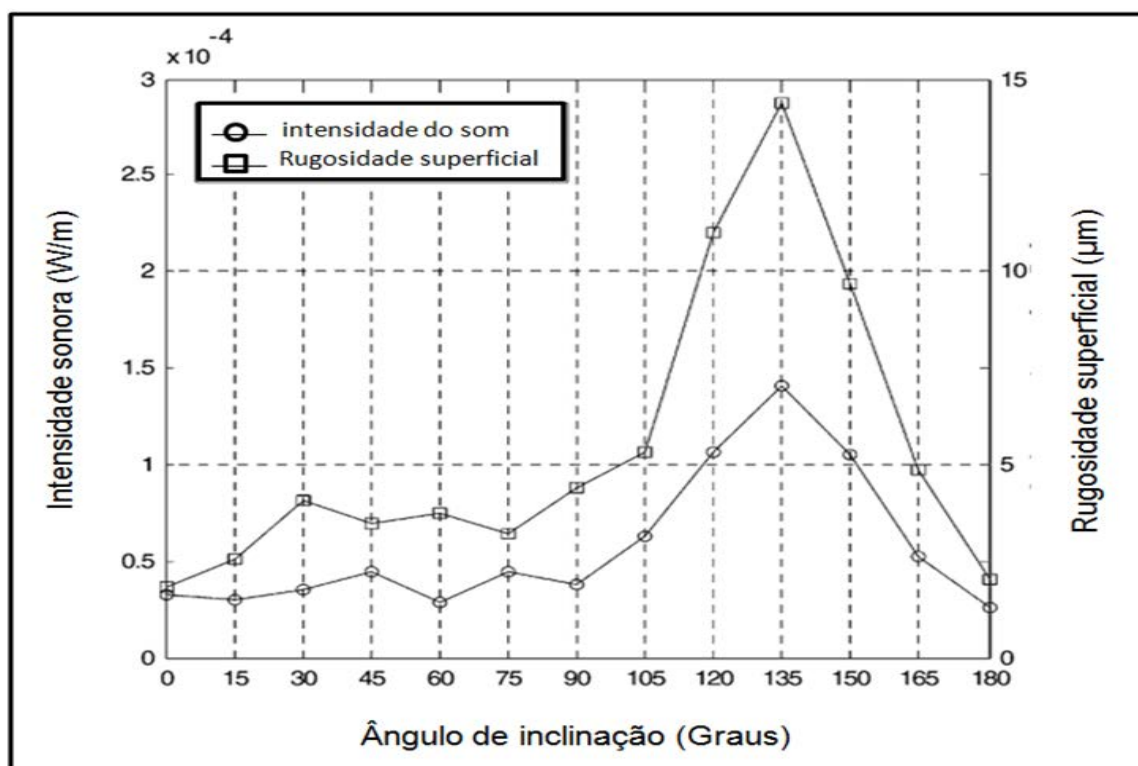
As eficiências dos transdutores piezelétricos para captação das velocidades de propagação do som podem diferir de acordo com a diferença anisotrópica da madeira a ser estudada, mesmo que esta contenha umidade e densidade relativamente parecidas umas das outras. É essa diferença de pulsos e variação na frequência sonora, tanto em madeira maciça como em laminados, pode acontecer com avaliação de diferentes propriedades mecânicas de flexão, compressão e resistência à tração por medições de ultrassom, uma vez que métodos de ultrassom mostram-se mais adequados para um controle e de qualidade diretamente ligado à instalação de transdutores piezelétricos. (TANASOIU et. al. 2002).

Para Iskra e Tanaka (2005), aplicaram uma velocidade de rotação de 18.000 RPM, com taxa de alimentação de 5 m/min e encaminamento em torno de 1 mm; com profundidade de usinagem estabelecida em 22 milímetros e notaram uma interligação entre três fatores principais para se entender a propagação e intensidade do som dentre as quais estão às características ligadas á rugosidade superficial gerada, fatores causados pela aplicação de ferramenta de corte e em função do ângulo de inclinação da ferramenta na inserção junto à superfície do material, que irá influenciar bastante.

O ápice da geração de som ocorreu a uma inclinação de 135 °, com uma rugosidade superficial de quase 15 μm demonstram que a maior velocidade de propagação de onda encontra-se na direção normal as fibras e está correlacionada com o aumento da densidade, mas conclui-se que esta densidade não é o único fator responsável pela condição de aumento, como podem ser verificados os principais valores de densidade e velocidade de propagação de som (ISKRA e TANAKA, 2005).

Na Figura 16 é possível ver no gráfico gerado, que a influência dos ângulos de inclinação e sua relação quanto à intensidade do som gerado em cada condição.

Figura 16 Análise de intensidade de som e rugosidade de acordo com a inclinação



Fonte: (Iskra e Tanaka, 2005).

Esse estudo examinou a possibilidade de utilização intensidade do efeito sonoro para acompanhar o processo de torneamento de madeira Faia Japonês (*Fagus crenata* Blume), com a utilização de diferentes condições de usinagem em torno CNC, equipada com um avanço automático. Foi possível notar que o efeito do tamanho das partículas de madeira removidas e a rugosidade gerada puderam influenciar a intensidade sonora até certa profundidade e não mais que o dobro de largura de corte, o que tende a crer que através do monitoramento e otimização do processo é possível estabelecer uma taxa de alimentação e uma profundidade ideal de operação (ISKRA e TANAKA, 2005).

2.11. Influência da potência no Torneamento

Os fatores que mais podem influenciar no consumo de potência de corte nos processos de usinagem estão diretamente relacionados à largura de corte, profundidade de corte, velocidade de rotação da ferramenta cortante, ao número de facas, e também ligados à velocidade de alimentação do sistema. (SALONI et. al. 2005). De acordo com os estudos de Koch (1964), O comportamento da força de corte em relação à velocidade de alimentação da madeira depende da seção que está sendo processada e a posição da atuação da ferramenta e operação que será executada. Desta forma é possível definir que o aumento da taxa de alimentação vai gerar uma maior consumo de energia para processar a madeira , e esta taxa tende a aumentar à medida que se aumenta a taxa de alimentação até chegar a uma determinada velocidade, onde o poder de corte segue uma tendência exponencial (AGUILERA E MUNÓZ, 2011).

Na descrição de Ritter (2011), a força de corte sofre influência direta e muito significativa da profundidade de corte e do avanço, mas não sofre praticamente nenhuma variação pela velocidade de corte quando da usinagem ocorre sobre compósitos poliméricos, no processo de torneamento, constatando que quando parâmetros usualmente utilizados para metais submetidos à materiais amorfos, os resultados ficam muito divergentes, principalmente pela falta de normas e critérios capazes de qualificar com precisão das análises destes materiais.

Para Javorek et. al. (2006) a correlação entre a espécie da madeira usada pouco irá influenciar o consumo de potência, que recebe maior influência da pressão específica de corte quando essa pressão de corte está relacionada ao sentido das fibras da madeira. A relação entre a pressão específica de corte na usinagem de madeira é sem duvidas de extrema importância e pode possibilitar o calculo de potência de corte necessária para definir como irá ocorrer determinada taxa de remoção e na formação destes cavacos, (FARIAS et. al. 2001).

Gonçalves et. al. (2006), optou em seus trabalhos por efetuar a medição do consumo de potência em rede trifásica, através do controle eletrônico com auxilio de um alicate transformador de corrente (TC) com conexão por plug nos cabos elétricos do motor. Para medição direta da grandeza elétrica que alimenta o equipamento. É possível fazer registros para a captação de potência reativa e ativa, como também captar frequência e tensão de corrente durante o procedimento. A medição dos valores de força e potência de corte não é uma pratica comum nas operações e processamento de madeira, mas este procedimento pode ser feito através de instrumentação adequada para que ocorra a medição correta nas operações de corte durante a usinagem, e estes valores precisam ser medidos experimentalmente, a fim de se determinar a propriedade de resistência ao corte de cada espécie de madeira com condições pré-estabelecidas de umidade, direcionamento das fibras e geometria da ferramenta (GONÇALVES, 2000).

2.12. Instrumentação dos processos de usinagem

Para Teixeira et. al. (2011), a usinagem na condição de corte transversal as fibras é mais favorável apresentando menores níveis de desgaste quando do uso de ferramentas diamantadas, em relação ao corte longitudinal as fibras, devido a uma melhor condição de trabalho da cunha de corte, e notavelmente com o corte longitudinal as fibras apresenta manifestação de pré-clivagem, que pode alterar o desempenho da ferramenta baixando o nível do acabamento e gerando com isso uma baixa qualidade da superfície usinada.

Os sistemas usados para monitoramento e controle do processo de usinagem e torneamento são desenvolvidos com o objetivo principal de detectar possíveis indícios de deterioração causadores de desgaste da ferramenta, que por si podem gerar perdas do acabamento superficial das peças usinadas, e como consequência vir a trazer perda na confiabilidade com relação à precisão dos componentes mecânicos (GONDIM & DUARTE, 2006).

Para Gondim e Duarte (2006), os fatores que tornam a necessidade da instrumentação extremamente válida, pois prevê as falhas nos equipamentos através da observação de alguns parâmetros relacionados ao funcionamento dos equipamentos. Dentre estes parâmetros pode-se destacar: medições de vibrações, medições de ruídos, medição de temperatura, análise de óleo, técnicas de emissão acústica entre outros.

Para Lucas Filho (2004), a resultante da baixa eficiência produtiva de usar madeira esta relacionada principalmente pelo desconhecimento dos fenômenos que ocorrem entre os parâmetros de corte e medições de desempenho devido às poucas pesquisas em relação ao assunto e métodos mais precisos para a avaliação de qualidade com sistemas de controle e monitoramento para usinagem da madeira um pouco mais eficiente.

A lacuna de informações em campo técnico e científico referentes à usinagem, e referências capazes de encontrar as melhores condições e combinações para se atingir uma qualidade superficial satisfatória na madeira, barram na dificuldade de compreender as propriedades físicas, químicas e anatômicas, e na influência de outros fatores mecânicos que possam influenciar diretamente na qualidade superficial deste material (PINHEIRO, 2014).

A consideração os efeitos da alta velocidade de corte, avanço e profundidade de corte confrontam com aumento de temperatura e geração de calor que ocorre na interface entre o cavaco e a ferramenta de corte, e isso tende a gerar redução de precisão, podendo causar também a redução da vida útil de ferramenta além de reduzir a integridade da superfície usinada, onde o desafio global pelo aumento de produção industrial para uma usinagem de alta produtividade em um ambiente controlado é cada vez mais exigido, (ALI & DHAR, 2010).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Seleção das peças de madeira utilizadas

O passo inicial e não menos importante deste trabalho com experimentação passa pela separação e aferição da madeira a serem processadas, que neste caso serão espécies de madeira pinus e eucaliptus coletadas de forma aleatória no departamento de processamento de madeira, do laboratório do Campus da UNESP de Itapeva-SP e preparadas para realização deste trabalho no campus de Guaratinguetá, no laboratório de Automação e Tecnologia.

A escolha para trabalhar com torneamento em pinus e eucaliptus como matéria prima do trabalho, se deve à sua demanda na fabricação de produtos para usos diversos dentro do território Brasileiro e sua imensa demanda de produtos para exportação, dando destaque significativo dentro da economia brasileira.

Para todos os testes experimentais, foram coletadas 38 peças de cada espécie, gerando um lote de 72 amostras ao todo, com características visuais bem diferentes umas das outras como demonstração na Figura 17, com amostras de pinus (A) e eucaliptus (B), bem como as amostras das variações de lotes (C).

Figura 17. Amostras da seleção de corpos de prova de pinus e eucaliptus utilizados.



Fonte : (Elaborado pelo Autor).

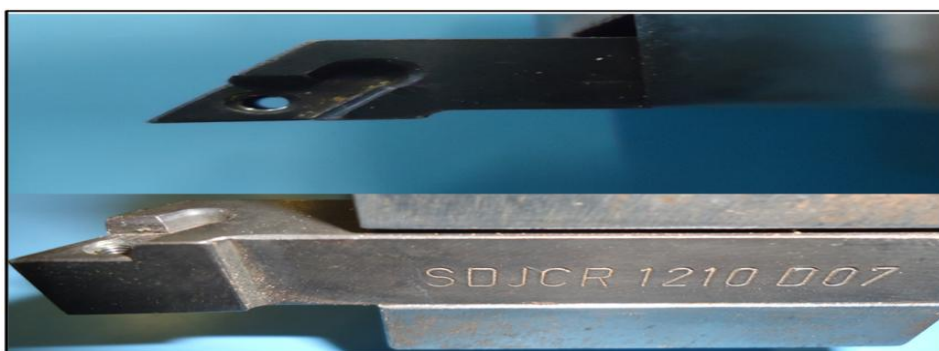
A opção de utilizar o torneamento como processo de usinagem foi escolhido de maneira que possibilitasse a aquisição segura dos dados e facilidade de acoplamento dos sensores de aquisição no equipamento, proporcionando precisão para o prosseguimento dos trabalhos de análise de dados e discussão dos resultados com coerência. Como no torneamento o movimento de corte é dado pela peça e não pela ferramenta, este processo fica adequado para instalação e fixação de sensores no suporte da ferramenta, evitando interferências externas.

3.2. Ferramentas utilizadas

A característica deste revestimento se deve às várias camadas de diboreto de titânio pulverizada na superfície da pastilha, dando a ela uma aparência mais opaca em função da cerâmica na sua superfície, deixando-a com a aparência muito próxima das ferramentas de aço rápido sem polimento. O interesse acadêmico pelo revestimento de TiB_2 por PVD surge pela descrição de que este revestimento tende a fornecer ótimas características de resistência ao desgaste mesmo quando submetido à altas velocidades de corte e variação brusca de temperatura conforme especificado pela fabricante, por ser uma ferramenta projetada para efetuar desbaste, semiacabamento e acabamento em usinagem livre principalmente em materiais moles como alumínio, ligas de alumínio e ligas de magnésio

Para obter ajuste de mobilidade no cabeçote e a fixação precisa das ferramentas de corte, estas foram conectadas seguindo os mesmos princípios utilizados, com a utilização de um suporte tradicional para a fixação, que traz impresso o código SDJCR1210D07, onde os inserts foram acoplados e regulados conforme a necessidade de teste e operação. O ângulo de posição utilizado para trabalho foi um cabeçote de posicionamento à 93° com de ângulo de folga de 7° e ângulo de saída definido pelos fabricantes de cada ferramenta em 25° , como mostrados pela vista frontal e lateral do suporte, conforme representado na Figura 18.

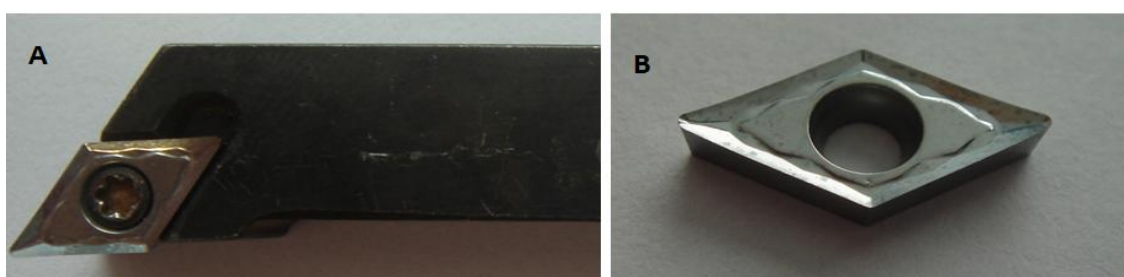
Figura 18. Modelo do suporte de ferramentas e ponto de fixação do suporte no cabeçote



Fonte : (Elaborado pelo Autor).

Nesta pesquisa foram utilizadas duas ferramentas de corte, confeccionadas à partir do carbeto de tungstênio e cobalto, sendo que uma delas não possui revestimento, enquanto a outra possui revestimento de diboreto de titânio. A ferramenta constituída de metal duro somente polido (f1) foi confeccionada pela empresa ISCAR Tools do Brasil, com ângulo de ponta de 55° e ângulo de folga de 7° e ângulo de saída de 25° , classificação ISO K10-K20, e codificação DCGT 070204-AS, demonstrado na Figura 19, contendo a ferramenta já fixada em suporte (A) e sua imagem individual ampliada (B).

Figura 19. Ferramenta metal duro polido fixa no suporte (A) e vista em perfil, (B).

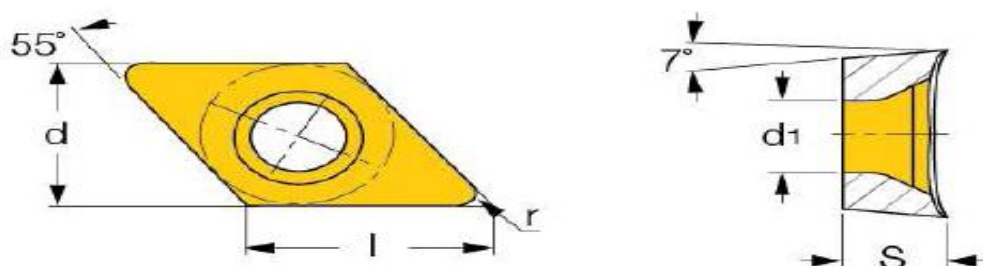


Fonte : (Elaborado pelo Autor).

A ferramenta de metal duro com polimento superficial possui aparência mais próxima do revestimento brilhante contido em peças de inox e ranhuras nas bordas superiores, além de representar uma superfície extremamente lisa em função da regularização superficial através de polimento.

Dentro das especificações e condições de trabalho escolhidas ficam compatíveis, principalmente pela angulação imposta, como das profundidades de corte limite desta ferramenta, estão entre 0,5 à 2,5 mm, enquanto a estabelecida para o trabalho fica dentro dos parâmetros de 0,5 à 1,5 mm, e demais detalhes exibidos na imagem exibida na Figura 20.

Figura 20. Informações técnicas da ferramenta de metal duro polido

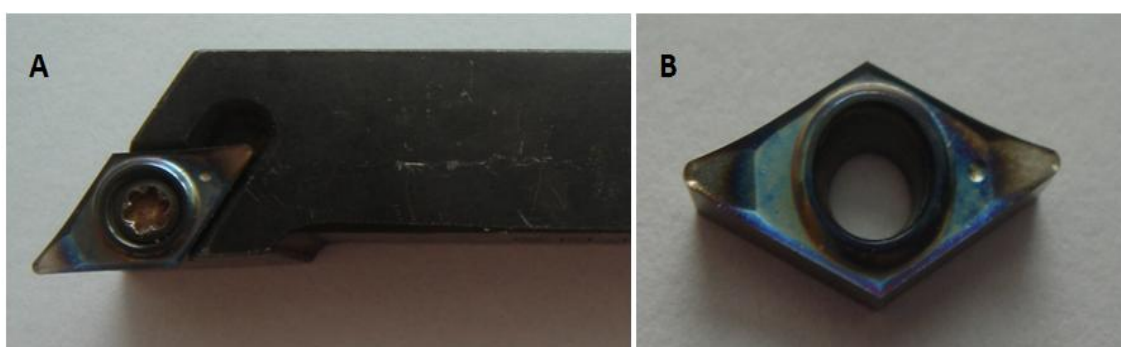


Fonte: (Iscar Tools, <http://www.iscar.com>, 2015).

A ferramenta constituída de metal duro revestida com TiB_2 (f2) foi confeccionada pela KENMETALS Tools, também com ângulo de ponta de 55° , ângulo de saída de 7° além do ângulo de folga de 0,4 mm e com base na liga de metal duro, código CPGT060204 HP, e classificação KC5410 N, possui revestimento cerâmico à base carboneto de tungstênio e detentora de revestimento especial tendo em sua composição diboreto de titânio.

Na Figura 21 A, está à imagem da ferramenta utilizada fixa no suporte e mostrada de forma avulsa, como encontrado representado na Figura 24 B.

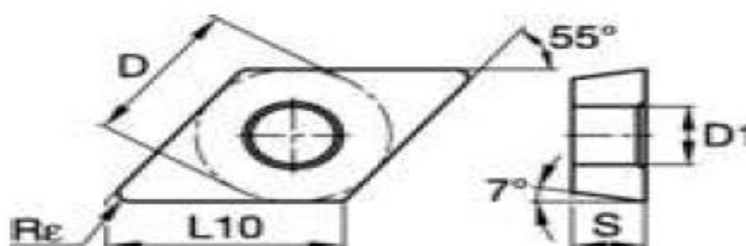
Figura 21. Fixação da ferramenta diboreto de titânio (A) e perfil da ferramenta (B).



Fonte : (Elaborado pelo Autor).

A ferramenta classe N possui condições de trabalho com avanços entre 80 m/min. e 320 m/mim, além de serem capazes de trabalhar em rotações que vão de 550 à 1800 RPM, cabendo tranquilamente dentro do que foi estabelecido para este trabalho, que será realizado à uma rotação estabelecida em 1500 RPM. Outros detalhes encontram-se mostrado em detalhes na Figura 22.

Figura 22. Descrição dos ângulos principais da ferramenta de TiB_2 classe KC5410.



Fonte: (kenmetals Tools, <http://www.kennametal.com>, 2015).

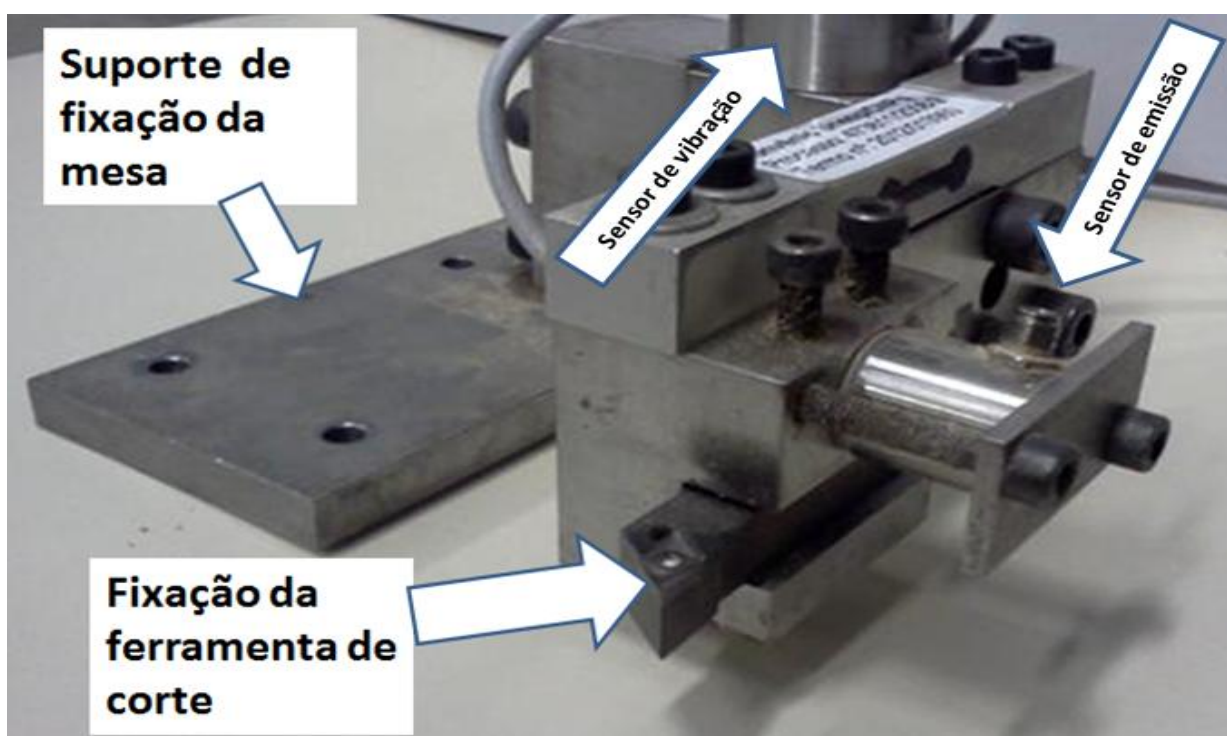
3.3. Equipamentos utilizados

A opção de usar o cabeçote desenvolvido em laboratório deve-se à precisão com que as ferramentas e sensores são fixados de maneira mais adequada, e devidos à capacidade de acoplamento de vários sensores de verificação para coleta simultânea dos dados referentes à emissão, vibração e potência de corte aplicada durante o procedimento experimental.

O banco de ensaios constitui-se de um torno CNC Compact 5 produzido pela EMCO, que tem por características o trabalho em dois eixos de coordenada (X, Z), munido de um motor de 440 watts ou 0,59 CV de potência, e variação de rotação de 50 a 3200 RPM, além de um sistema de transmissão por correias com capacidade de acoplamento para sistemas de captação de dados para de torneamento em geral.

Todos os sensores vão fixados em suportes de sensores projetados, tendo em vista que este novo sistema trabalha nas mesmas condições do sistema anterior, tendo maior capacidade funcional e ampla capacidade de recepção de sinais e de som, respeitando ainda a capacidade de deslocamento da ferramenta tanto no sentido longitudinal, como radial, dando liberdade para fixar o suporte, que destaca a base de fixação e posição da ferramenta de corte na Figura 23, representada a seguir.

Figura 23. Modo de fixação da ferramenta na mesa de torneamento.



Fonte : (Elaborado pelo Autor).

Segue ilustrado na Figura 24, o modo de disposição da bancada de ensaios e dos equipamentos, com destaque para o sistema do novo cabeçote Já acoplado.

Figura 24. Torno utilizado e novo magazine de ferramentas desenvolvido para torneamento.



Fonte : (Elaborado pelo Autor).

O módulo de emissão acústica vem munido de um sensor de emissão piezoelétrico, modelo R15-A, acoplado em um amplificador de sinais com saída retificada em RMS (Root Mean Square), marca PHYSICAL ACOUSTICS CORPORATION, modelo 1272-1000. O módulo de emissão acústica e do amplificador de sinais é apresentado na Figura 25, em vista superior e lateral do sensor, como também a imagem do módulo de emissão acústica utilizado no experimento.

A principal função destes equipamentos é a conversão do efeito sonoro gerado com tensão de alimentação de 28 VCC, frequência de sensor em 150 kHz e faixa de ganho disponível entre 0 e 40 dB.

Figura 25. Vista do modulo de emissão acústica (1,2), e amplificador de sinal (3).



Fonte : (Elaborado pelo Autor).

O sensor de vibração utilizado, é da marca Vibro control modelo TV-100, que atua com a combinação de um Sensor de Vibração (Acelerômetro) e um Transmissor de Sinal dentro do mesmo invólucro, sendo capaz de detectar vibrações e transmitir um sinal proporcional num campo de 4 a 20 MA, de forma direta para um monitor ou CLP acoplado ao sistema.

É apresentado na Figura 26, o sensor de vibração e o terminal de conexão para coleta de dados, que recebeu uma camada de revestimento isolante a fim de evitar a influencia externa na variação dos dados aquisitados para precisão das informações e aquisição de dados.

Figura 26. Vistas do sensor de vibração Vibro Control 25 mm/s RMS.

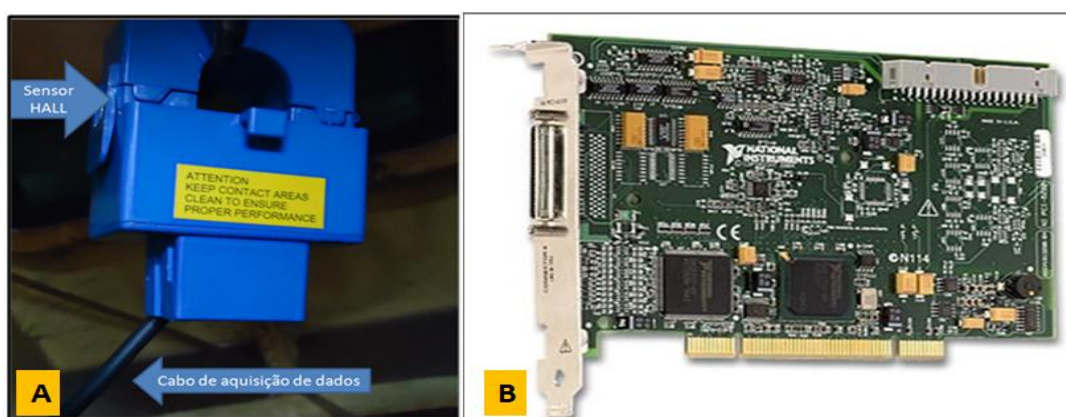


Fonte : (Elaborado pelo Autor).

Para leitura de potência, um sensor de efeito HALL da marca LEM e modelo AT5B10, que foi acoplado direto no torno para que seja feita a captação da potência consumida pelo motor durante todo o procedimento de torneamento pelo acoplamento direto nos cabos de entrada de corrente do motor, com sistema de fixação tipo alicate.

Este sensor trabalha por conversão de diferenças de potencial a fim de aferir a potência consumida a cada instante de operação. Uma placa de aquisição de dados conectada ao CPU e interligada ao bloco de conectores, marca National Instruments, modelo NI PCI 6220. A placa de aquisição de dados tem a função de receber os sinais analógicos dos sensores e transforma-los em sinais digitais para ser interpretado pelo software instalado direto no microcomputador. Na Figura 27, são mostradas as imagens do sensor HALL, já conectado no torno e da placa de aquisição utilizadas neste trabalho.

Figura 27. Sensor modelo Hall AT5B10 e placa de captação de dados.

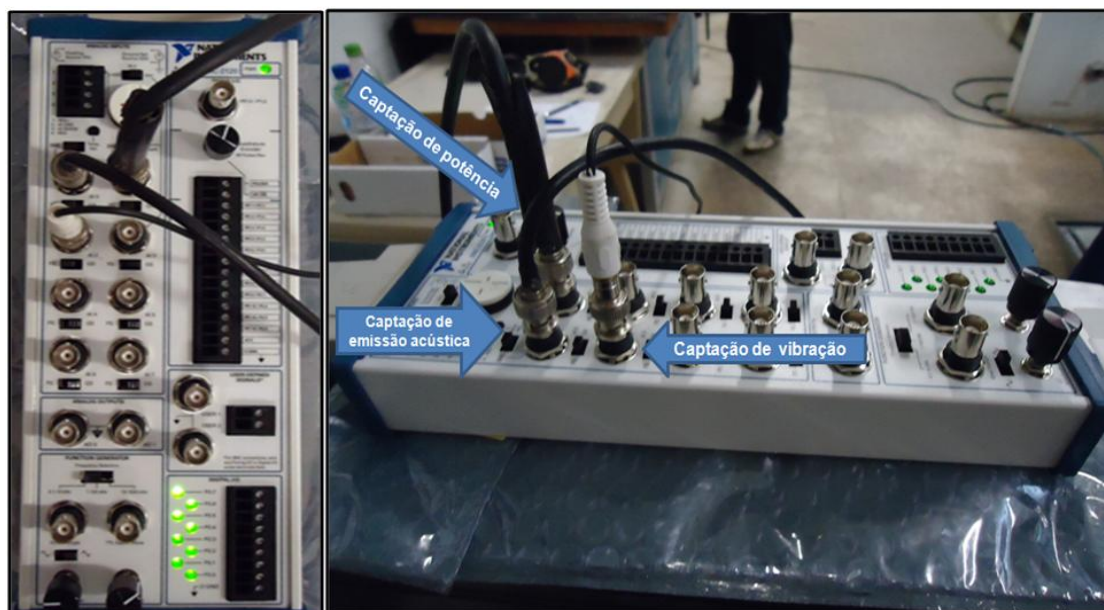


Fonte : (Elaborado pelo Autor).

O módulo de canais da marca National Instruments, modelo do bloco de conectores NI BNC 2120 e modelo do cabo SHC68-EPM (2m) 192061-02. A função principal do bloco de conectores é realizar a interação entre os sinais analógicos enviados pelos sensores do banco de ensaios e envia-los para a conversão na placa de aquisição de dados presente na Figura 28, com a indicação detalhada dos cabos e terminais em que estão conectados os sensores de medição de potência, e sensores de captação de emissão acústica e vibração.

Além dos componentes citados, o sistema de monitoramento e aquisição de dados possui um computador para processamento e armazenamento dos dados, uma fonte variável de 0 – 30 VCC, com três saídas independentes da marca MINIPA, modelo MPL3303, utilizada para efetuar a alimentação dos módulos de vibração e emissão acústica.

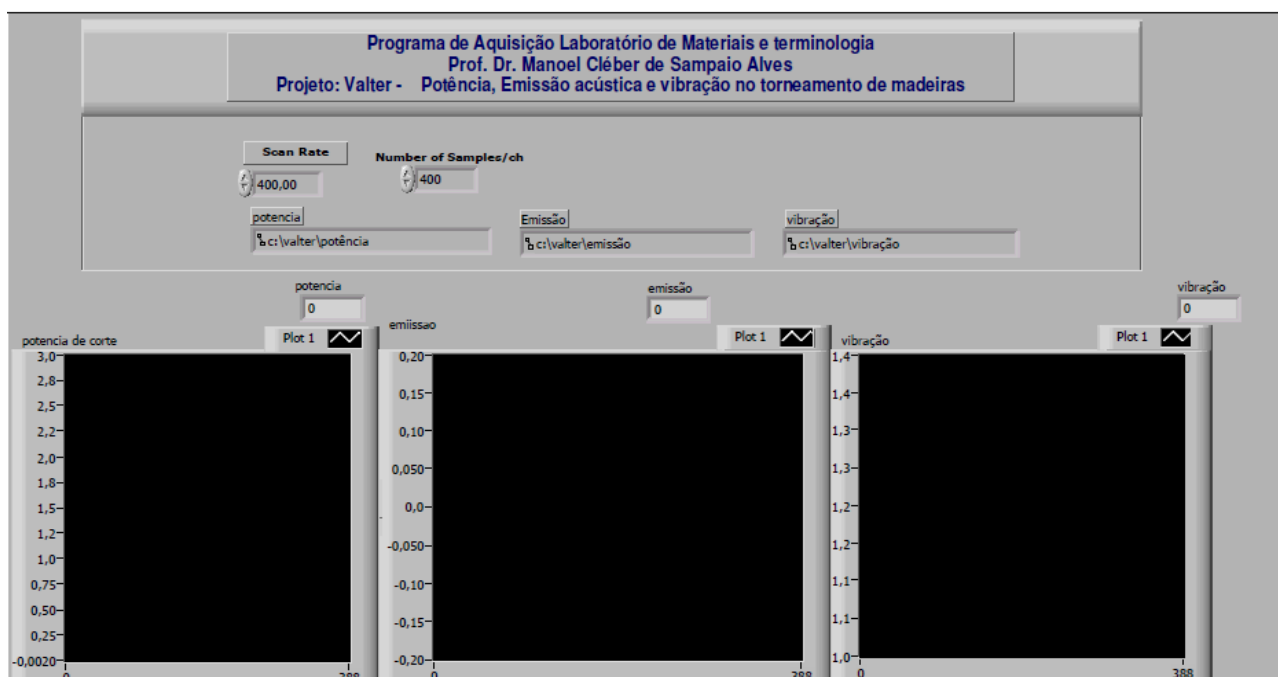
Figura 28. Detalhes do modulador de canais NIPCI622.



Fonte : (Elaborado pelo Autor).

O software utilizado para tratamento destes dados adquiridos é o programa LABVIEW ® 7.1 da National Instruments, que acoplada ao aquisitor de dados possui a capacidade de conversão dos sinais analógicos dos sensores, digitalizando-os e convertendo-os em sinais digitais, facilitando a conversão e interpretação destes sinais pelo software no microcomputador como a plataforma descrita na Figura 29.

Figura 29. Interface de trabalho da plataforma LABVIEW 7.1



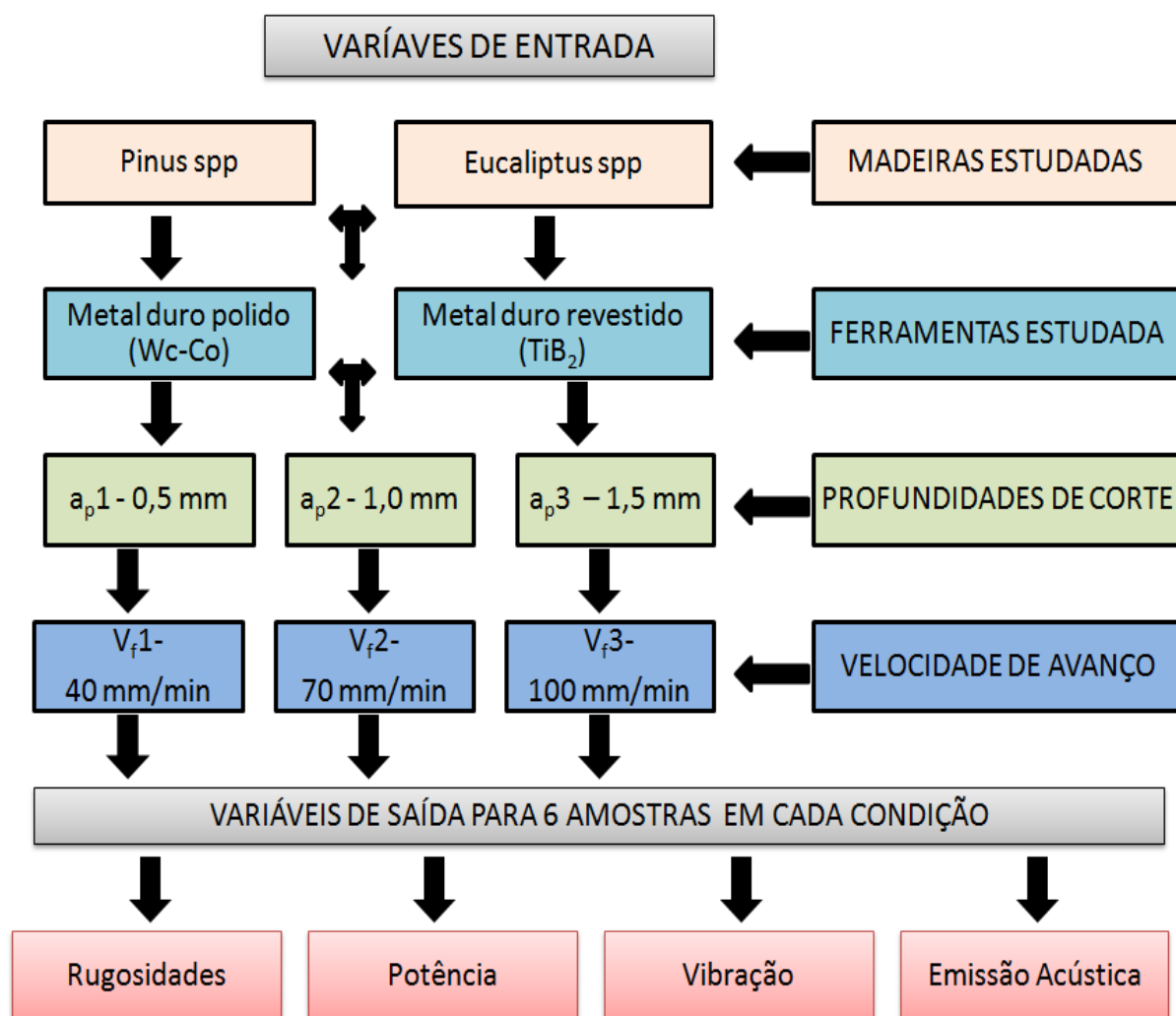
Fonte : (Elaborado pelo Autor).

3.4. Definição da metodologia de trabalho

O procedimento experimental foi realizado no laboratório de materiais e tecnologia mecânica do campus da UNESP de Guaratinguetá, e no campus da faculdade de engenharia da UNESP de Bauru, para filtragem e quantificação dos dados coletados.

O planejamento constituiu em selecionar todas variáveis para entrada de dados, e execução de processo de torneamento definitivo, levando em consideração todas as variáveis de saída necessárias para prosseguir o experimento, como esquema mostrado na Figura 30, abaixo.

Figura 30 . Definição esquemática dos parâmetros do projeto



Fonte : (Elaborado pelo Autor).

3.5. Definição do plano de corte a ser aplicado no torneamento

O Torno CNC foi programado para efetuar a variação do avanço de corte com velocidade de corte pré-estabelecida, conforme a programação armazenada na memória do equipamento, para a realização de uma programação sequencial dos três procedimentos de corte definidos em milímetros.

Desta forma, a cada 20 mm de processo no sentido longitudinal da peça, um recuo de 1,0 mm para retomar o processo com velocidade de avanço diferente, sendo nos primeiros 20 mm programados para velocidade de avanço de 40 mm/min, nos 20 mm intermediários a uma velocidade de avanço de 70 mm/min, e nos 20 mm finais uma velocidade de avanço de 100 mm/min até atingir os 60 mm determinados no projeto como é possível ver o sistema de programação na Figura 31.

Figura 31. Programação dos comandos numéricos para o equipamento Emco.



Fonte : (Elaborado pelo Autor).

A projeção do desbaste das peças segue uma sequencia lógica, visto que o mesmo corpo de prova irá receber a ação de três de avanços diferentes, mas com uma única profundidade de corte em cada peça, não sendo possível para a peça que recebera aplicação de corte em profundidade de 0,5 mm também venha a receber profundidades de corte de 1,0 mm ou 1,5 mm.

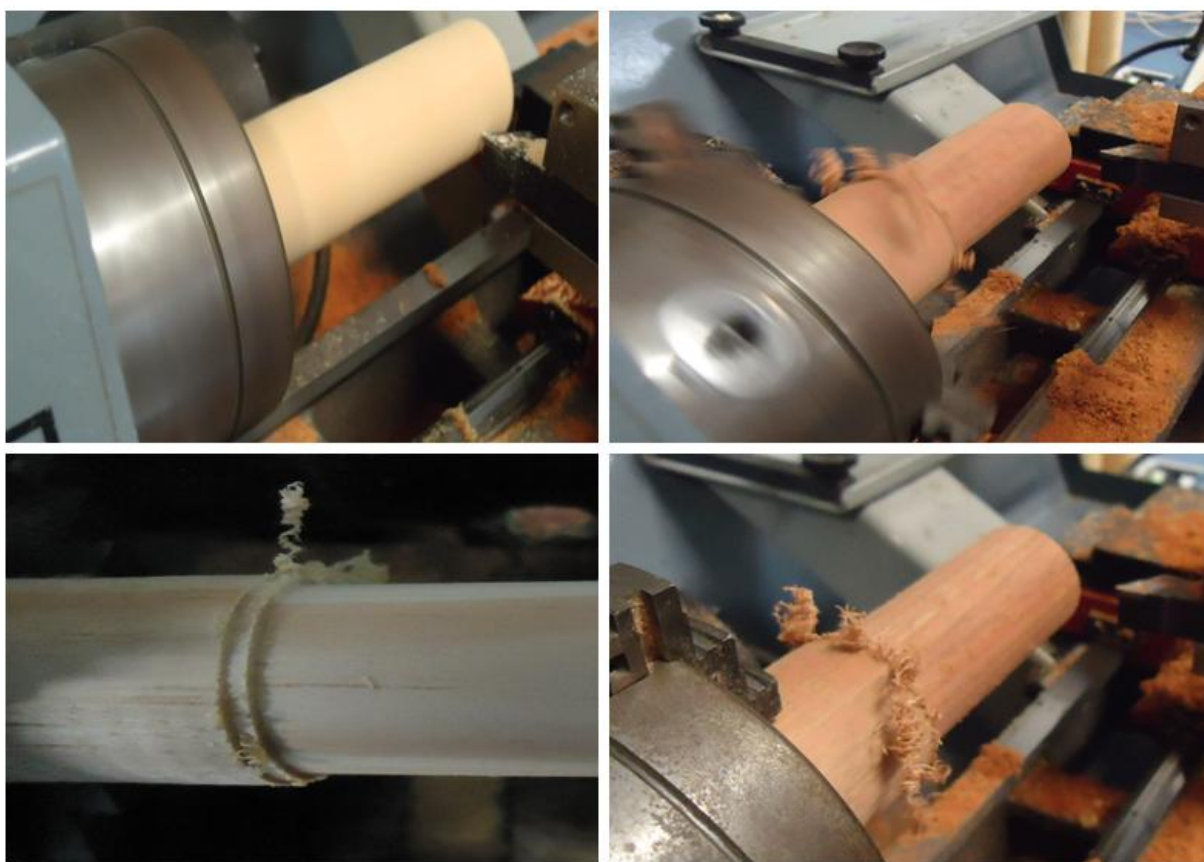
Esta medida visa principalmente facilitar o contato do Rugosímetro para uma única profundidade, pois a variação destas profundidades de corte poderia comprometer este tipo de avaliação.

A peça para utilização encontra-se em medidas de 100 mm na longitudinal (comprimento) e diâmetros que variam entre 31,5 à 35,0 mm, e todas precisam ser submetidas à um desbaste inicial antes da execução do processo definitivo de torneamento, sendo assim possível eliminar a sinuosidade excessiva para que a ferramenta possa desempenhar a função de remoção uniforme destas camadas.

O desbaste das peças também ficou limitado aos 60 mm para que a região onde a ferramenta fosse atuar pudesse ficar perfeitamente cilíndrica, sem que oferecesse maiores condições de variação quanto à uniformidade da peça torneada.

Ao inserir a programação do torno e iniciar o processo, foram efetuados ensaios preliminares para checar o funcionamento correto dos sensores de captação, e com tudo ajustado, iniciaram-se os testes definitivos como mostrado na Figura 32, com a realização da programação do equipamento.

Figura 32. Vistas da atuação da ferramenta e formação de cavacos durante a operação



Fonte : (Elaborado pelo Autor).

Na Figura 33, é possível visualizar os procedimentos sendo executadas, as amostras das peças de pinus e eucaliptus Já usinadas, tendo nas imagens A e B com o movimento rotacional do torno e a formação de cavaco enquanto ocorre o avanço programado, e figuras C e D estão os corpos de prova após o processo completo, além da figura E, e o lote com as 12 amostras, das condições possíveis dentro do que foi planejado para o trabalho.

Figura 33. Vista do torneamento (A,B) acabamento das peças (C,D) e amostra do lote com os 12 procedimentos diferentes de torneamento (E).



Fonte : (Elaborado pelo Autor).

3.6. Equipamentos e Medição de rugosidade

Após a conclusão dos 216 procedimentos de torneamento, iniciou-se o procedimento para coleta dos valores de rugosidade media e total das peças, das quais foram separadas e submetidas à medição individual através do rugosímetro digital marca MARSURF modelo M-300 cuja capacidade de medição atinge até 40.000 medidas diferentes com precisão e capacidade de armazenamento para até 30 perfis diferentes, podendo alcançar amostras com até 350 microns (MAHR 2015).

O equipamento possui também sistema de transmissão de dados via Bluetooth, e capacidade de programação de leitura, o que facilitou muito, pois em cada peça usinada havia três áreas diferentes para leitura da rugosidade como demonstrado na Figura 34.

Figura 34. Interface do Rugosímetro MarSurf M 300 e Medições dos Corpos de prova.



(Elaborado pelo autor).

A leitura se deu em ter pontos por peça, visando sempre a coleta de valores na região central de cada medida definida, onde a região da ponta do corpo de prova e a região final foram descartados devido o inicio do contato da ferramenta com a peça onde pudesse gerar ruptura ou fendilhamento do topo e a região final poderia causar efeito adverso devido a desaceleração da rotação e diminuição da velocidade de final de curso da medida programada no torno.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Densidade das peças torneadas

A seleção e a confecção dos corpos de prova seguiram padrões normatizados de acordo com a Norma Brasileira Registrada NBR 7190 de 1997, para a avaliação de alguns parâmetros relacionados a peças de madeira amplamente utilizadas em projetos de estruturas de madeira e confecção de moveis, e que contempla o uso de madeiras nativas e de reflorestamento, além da confecção de chapas, laminas e diversos outros componentes à base de madeira.

Desta forma, alguns critérios foram adotados de acordo com a norma para conseguir padronizar a seleção das peças, visando captar peças que possuíssem maior uniformidade em relação à distribuição das fibras e regularidade superficial, com valores médios de densidade aparente e densidade básica muito semelhante, tanto pela condição de base em massa seca, como em peças com teores de umidade equivalentes a 12%, para obter assim uma uniformidade também durante o processo e para que seja possível uma avaliação mais precisa dentro da análise superficial e anisotropia da madeira. Os resultados médios de densidade estão presentes na Tabela 9.

Tabela 9. Valores de densidade básica e aparente dos Corpos de prova

Madeira pinus spp		Madeira eucaliptus spp	
Densidade aparente á 12% de umidade= ($D_{ap12\%}$) Kg.m ⁻³	Densidade básica Kg.m ⁻³	Densidade aparente á 12% de umidade= ($D_{ap12\%}$) Kg.m ⁻³	Densidade básica Kg.m ⁻³
483,83	355,91	959,1	731,7

Fonte: (Elaborado pelo Autor).

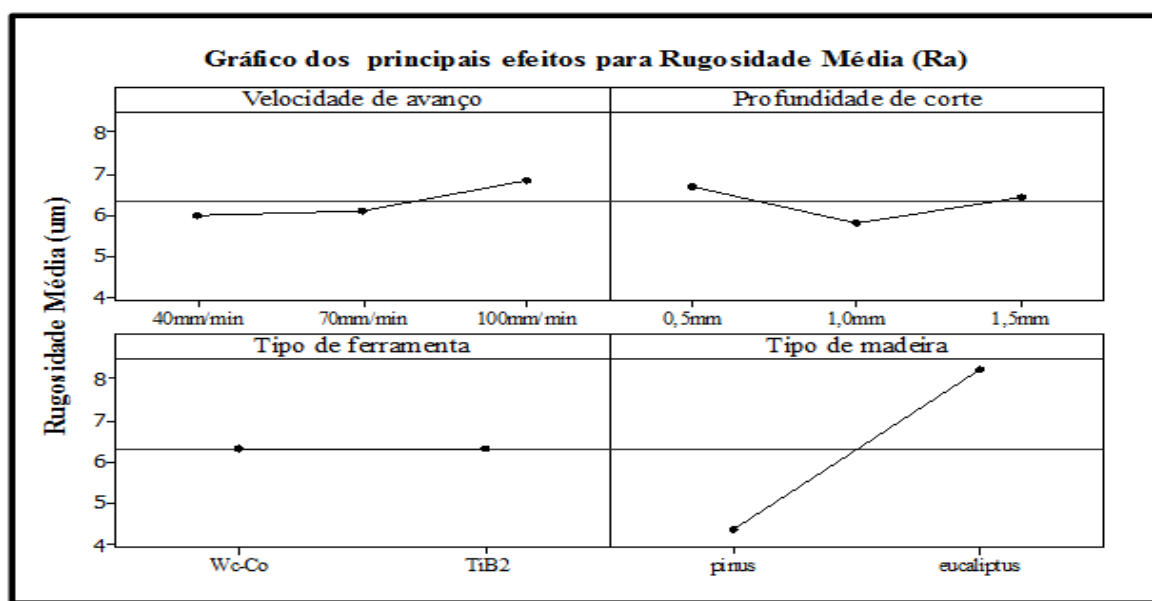
Neste trabalho, no entanto, com a afixação da velocidade de corte e somente variando a velocidade de avanço da ferramenta tal fenômeno dificilmente poderá ser observado, deixando para as comparações a seguir em relação á rugosidade, potência consumida, emissão acústica e vibração.

Os cavacos não foram coletados, pois desviaria um pouco o foco do trabalho que visa à informatização e automatização do sistema de torneamento, e o mesmo pode associar mais a força de corte e avanço de corte, o que ficou limitado pelo trabalho tendo em vista que a ação da ferramenta foi muito pequena para este tipo de análise.

4.2. Principais interações e valores para Rugosidade média (R_a).

Na Figura 35, estão as principais condições de análise de rugosidade média extraídas das interações do Minitab 16, como é visto da esquerda para a direita, a velocidade de avanço teve uma evolução crescente de $6\text{ }\mu\text{m}$ em v_f -40, para $6,3\text{ }\mu\text{m}$ em v_f -70 e de v_f -70 e para v_f -100 o valor foi de $7\text{ }\mu\text{m}$, enquanto que na interpolação da profundidade de corte mostra a_p -0,5 m em $7\text{ }\mu\text{m}$ enquanto a_p -1,0 mm vai para $4,5\text{ }\mu\text{m}$ e a rugosidade em a_p -1,5 mm obteve $6,5\text{ }\mu\text{m}$. Já a diferença micrométrica na interação das ferramentas foi muito pequena, ficando quase impossível a distinção de qual obteve a melhor rugosidade média, o que não ocorreu com a comparação das ferramentas, onde o eucaliptus teve índices visivelmente superiores em questão da rugosidade média superficial em cerca de $4\text{ }\mu\text{m}$ para o pinus e $8\text{ }\mu\text{m}$ para o eucaliptus.

Figura 35. Principais interações de R_a na interpolação via Minitab.

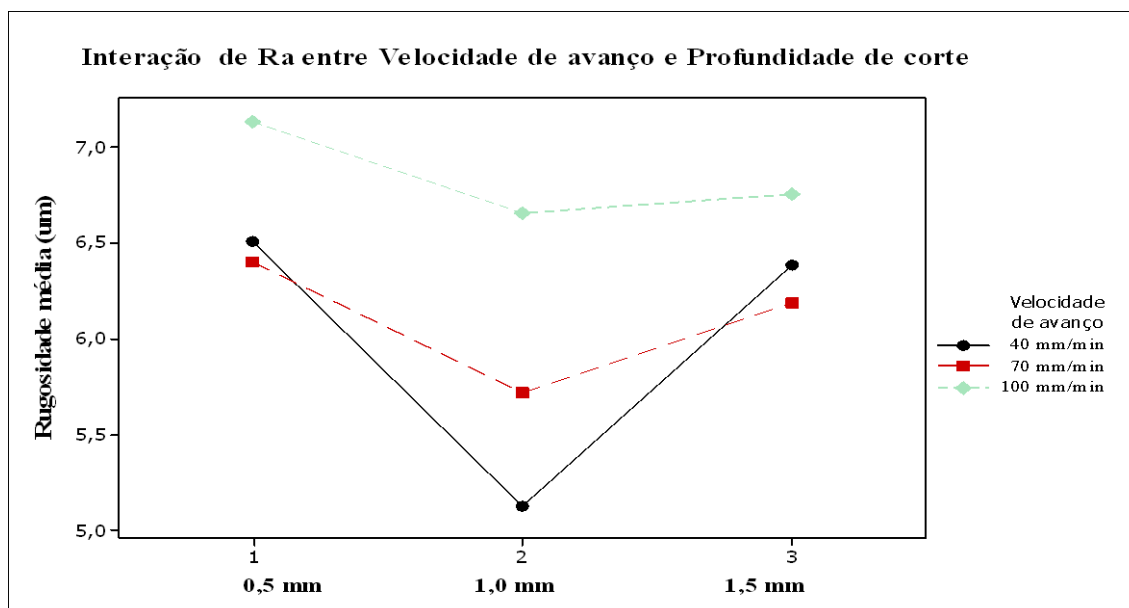


Fonte : (Elaborado pelo Autor).

Com a interação das três velocidades de avanço aplicadas, quando comparadas com as três profundidade de corte listadas no Figura 36, geraram as seguintes situações: v_f 40 mm/min teve rugosidade de $6,5\mu\text{m}$ em a_p 0,5 mm e $5,1\text{ }\mu\text{m}$ para a_p 1,0 mm e voltando a subir até $6,4\text{ }\mu\text{m}$ uma profundidade de corte de 1,5 mm, enquanto para o avanço de 70 mm/min, a rugosidade média chegou em $6,4\text{ }\mu\text{m}$ em a_p 0,5 passando para a_p 1,0 mm com $5,7\text{ }\mu\text{m}$, e com $6,3\text{ }\mu\text{m}$ para a_p 1,5 mm.

Para v_f 100 mm/min, ocorre para as mesma variação, mas os valores seguem de a variação de $7,2\text{ }\mu\text{m}$ em a_p 0,5, para $6,7\text{ }\mu\text{m}$ em a_p de 1,0 e fechando com $6,8\text{ }\mu\text{m}$ quando a profundidade está em a_p 1,5 mm.

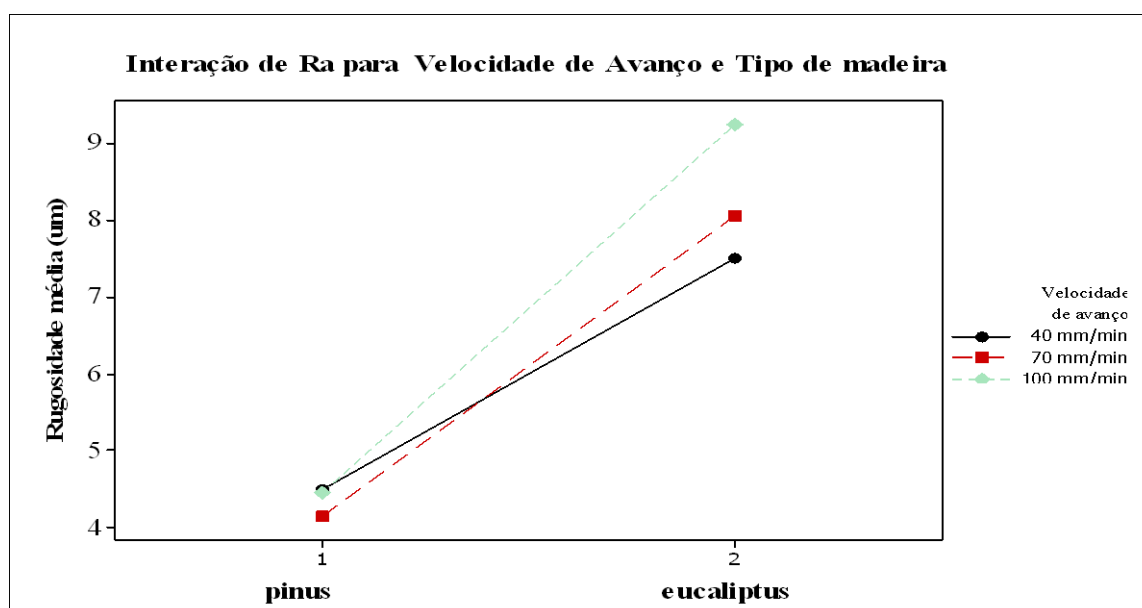
Figura 36. Valores de R_a para velocidade de avanço e profundidade de corte



Fonte : (Elaborado pelo Autor).

Para a velocidade de avanço e tipo de madeira analisados, os dados contidos na Figura 37, indicam uma rugosidade muito superior da madeira de eucalipto com de 7 μm em v_f 40 mm/min, e de 8 μm para v_f 70 mm/min e 9,5 μm em v_f de 100 mm/min enquanto o pinus obteve 4,5 μm para v_f 40 mm/min, 4,0 μm e com v_f à 100 mm/min uma rugosidade de 4,4 μm .

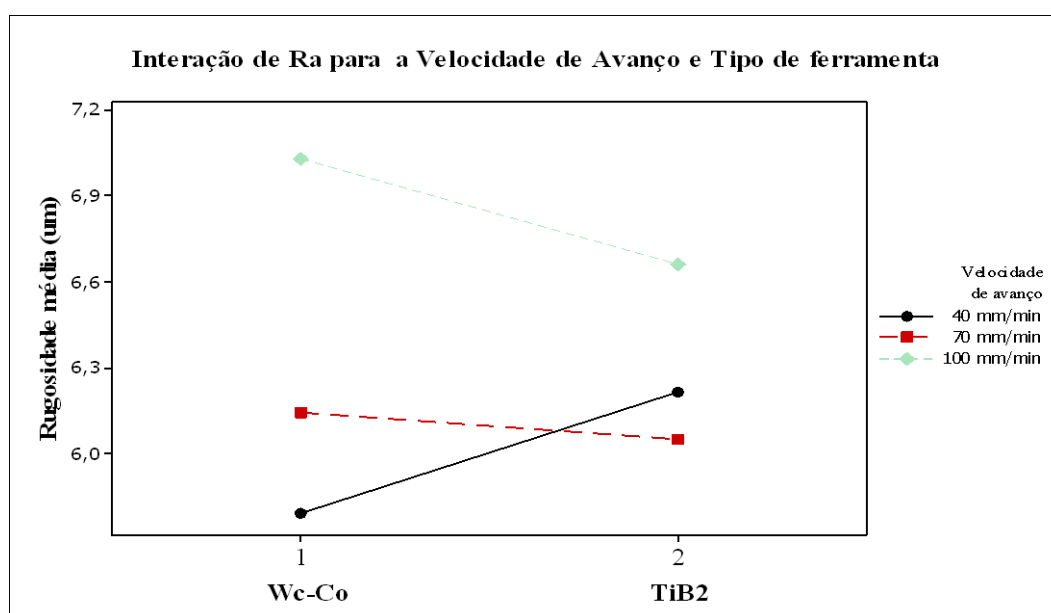
Figura 37. Valores de R_a para Velocidade de avanço e tipo de madeira



Fonte : (Elaborado pelo Autor).

Para a comparação de velocidade de avanço e Tipos de ferramentas utilizadas, ocorreu em v_f 40 mm/min o índice de rugosidade superior da ferramenta de diboreto ficou em 6,3 μm , enquanto Metal duro polido ficou perto de 5,0 μm , mas em v_f 70 mm/min a ferramenta de metal duro superou a ferramenta revestida com 6,2 μm contra 6,0 μm e na velocidade de avanço de v_f 100 mm/min o metal duro mostrou rugosidade expressivamente superior ao TiB_2 , com rugosidade média em 7,1 μm ante 6,6 μm da ferramenta de diboreto de titânio, como pode ser visto na Figura 38.

Figura 38. Valores de R_a na interação entre Velocidade de avanço e tipo de ferramenta

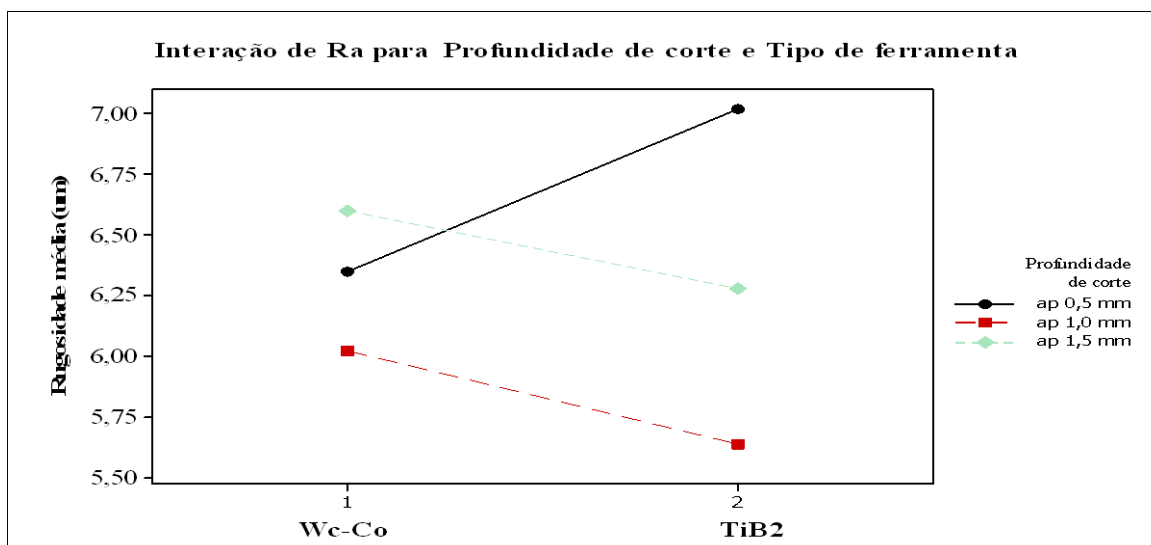


Fonte : (Elaborado pelo Autor).

Nas comparação de profundidade de corte e ferramentas, a ferramenta de metal duro polido somente foi superior na condição aplicada para a menor profundidade de corte com profundidade de 0,5 mm tendo , que resultou em uma rugosidade média de 6,30 μm ante 7,0 μm da ferramenta revestida, sendo que nas outras duas condições de profundidade a_p de 1,0 e a_p de 1,5 mm a ferramenta de metal duro causou uma rugosidade bem superior a ferramenta de TiB_2 .

A ferramenta revestida com TiB_2 apresentou valores de rugosidade bem abaixo do que foi encontrado pela ferramenta de metal duro polida para a mesma situação exposta, chegando a pouco mais de 5,6 μm ante 6,0 μm apresentadas pela ferramenta Metal duro polido. Detalhes desta descrição podem ser vistos na Figura 39, plotado na sequência os valores de R_a para a interação entre ferramenta de corte e profundidade de corte.

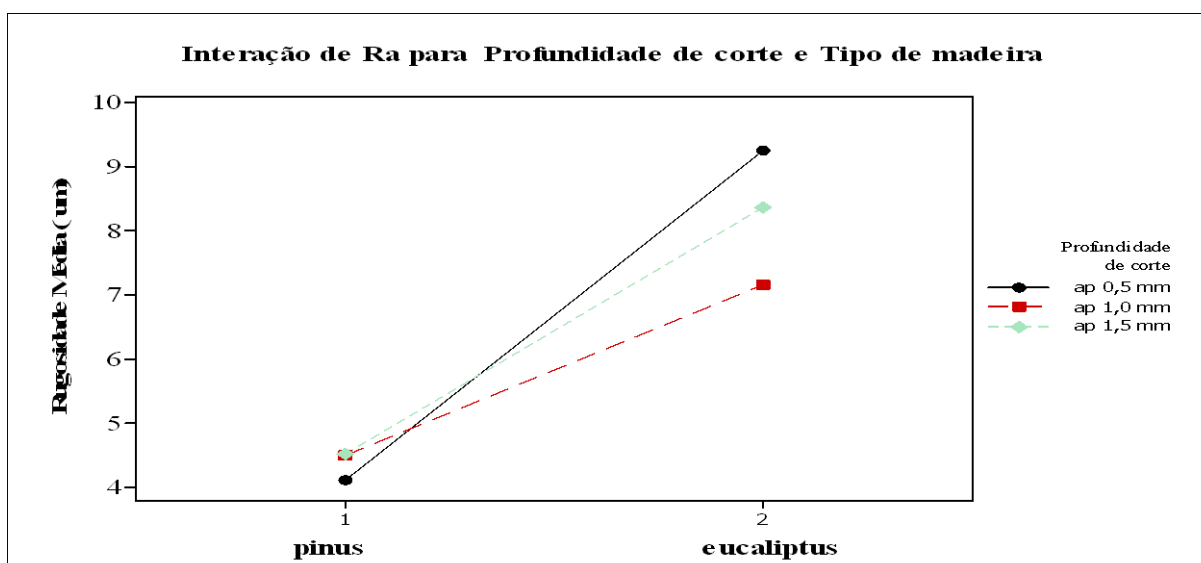
Figura 39. Valores de R_a para ferramenta de corte e profundidade de corte



Fonte : (Elaborado pelo Autor).

Já a comparação das três profundidades e as duas madeiras utilizadas, o eucaliptus realmente demonstrou-se os maiores índices de rugosidade na interpolação e atingiu seu apice de rugosidade quando submetido ao processo com profundidade de corte de 0,5 mm com 9,4 μm , 8,5 μm em e 7,0 μm enquanto que o pinus obteve 4,0 μm para ap 0,5 e para as condições de profundidade de 1,0 e 1,5 mm os valores estão em 4,5 μm como apresentados no figura 40.

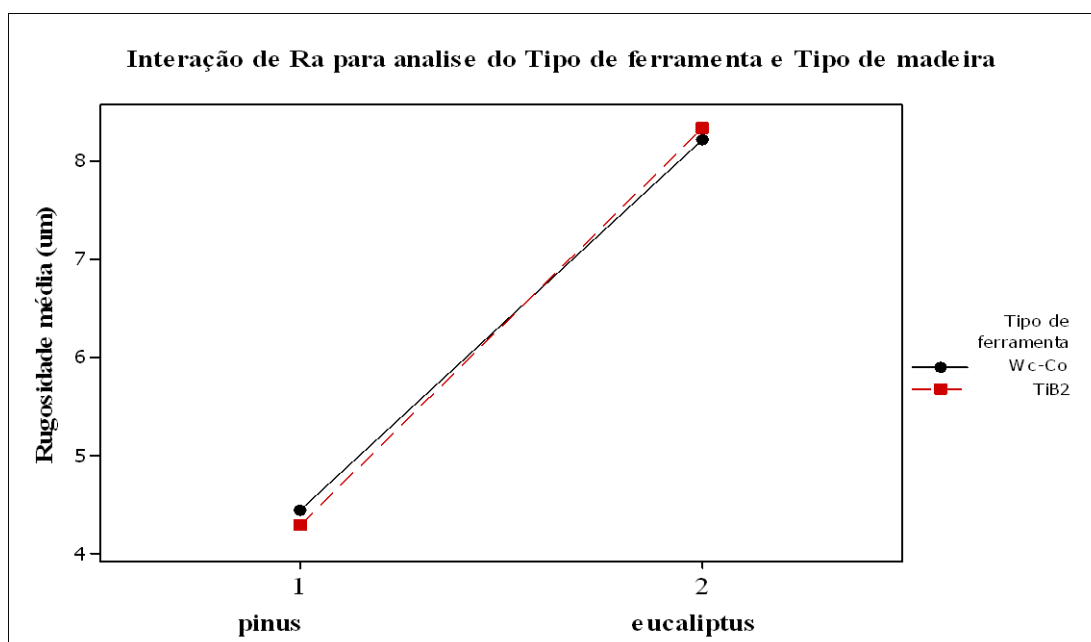
Figura 40. Valores de R_a para profundidade de corte e madeira utilizada



Fonte : (Elaborado pelo Autor).

No confronto entre as ferramentas de corte e as duas espécies de madeira utilizadas, as ferramentas de Metal duro polido e TiB_2 apresentaram praticamente o mesmo compramento com relação à rugosidade média, e isso pode ser visto no Figura 41, pela interpolação destes parametros no torneamento, carecendo um estudo mais aprofundado, para tentar, entender qual a relação para obtenção de valores tão proximos como segue demosntrado à seguir.

Figura 41. Valores de R_a para Interação da ferramenta aplicada e madeira utilizada



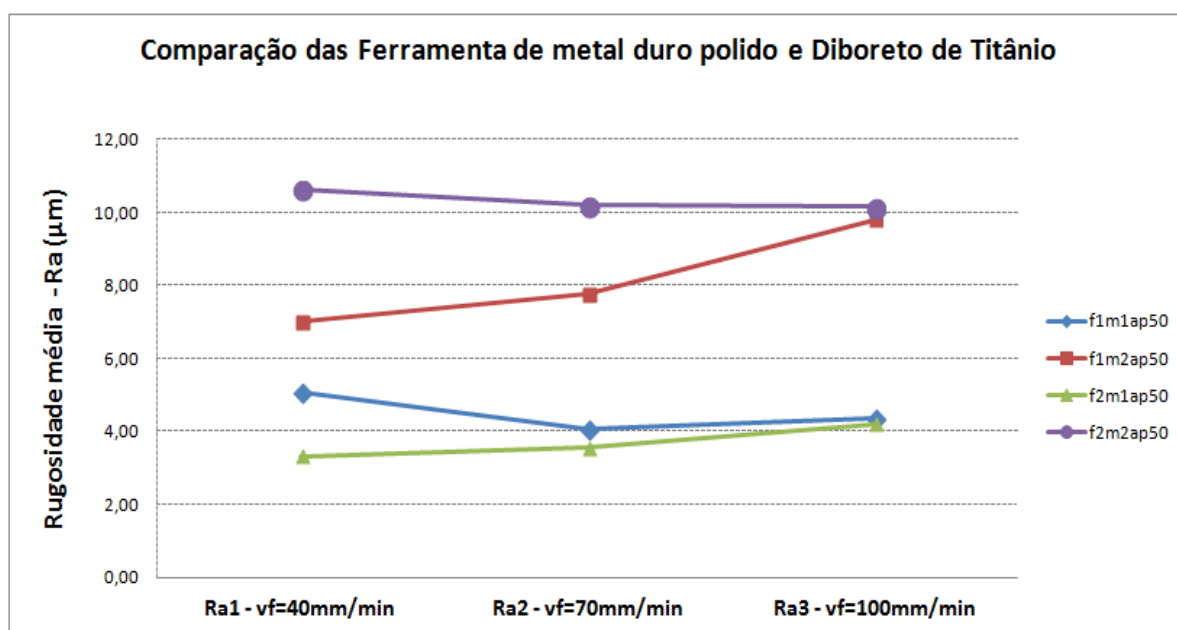
Fonte : (Elaborado pelo Autor).

Para as condições de análise para a rugosidade média R_a , é possível afirmar que o comportamento do pinus como uma madeira menos densa, esteve sempre com seus índices de rugosidade muito inferiores ao encontrados na madeira de eucaliptus, em todas as comparações em que foi submetido, enquanto que os resultados da rugosidade da superfície alcançados por Aguilera e Muñoz (2011) para dois tipos de madeira semelhantes ao estudado neste trabalho, destacam que a alteração de rugosidade está refletida de acordo com a espessura do cavaco, além de que a melhor qualidade de superfície foi obtida com a espécie que apresentou maior densidade.

No trabalho realizado por Almeida (2013), também utilizando processo CNC no processo de fresamento, utilizando como matéria prima madeiras de pinus e eucaliptus, os resultados de referência demonstram que a madeira do *pinus elliottii* obteve acabamento superficial muito superior à madeira de *eucaliptus grandis* com condições de usinagem a uma velocidade de corte de 33,49 m/s ou 4000 RPM.

Diferentes do Minitab 16, as Figuras geradas pelo Excel apresentam valores de R_a interessantes sobre a interação de ferramentas, madeiras, profundidade de corte e velocidade de avanço, os dados colhidos para profundidade de 0,5 mm a interação da ferramenta de diboreto de titânio e a madeira de eucaliptus (f2m2) foi quem obteve os maiores índices de rugosidade, enquanto que melhores resultados ficaram com o pinus e a ferramenta revestida de titânio (f2m1) em todas as velocidades de avanço utilizadas, mostrado na Figura 42, mostrado abaixo.

Figura 42. Comparação de R_a na comparação com avanço de corte em a_p de 0,5 mm

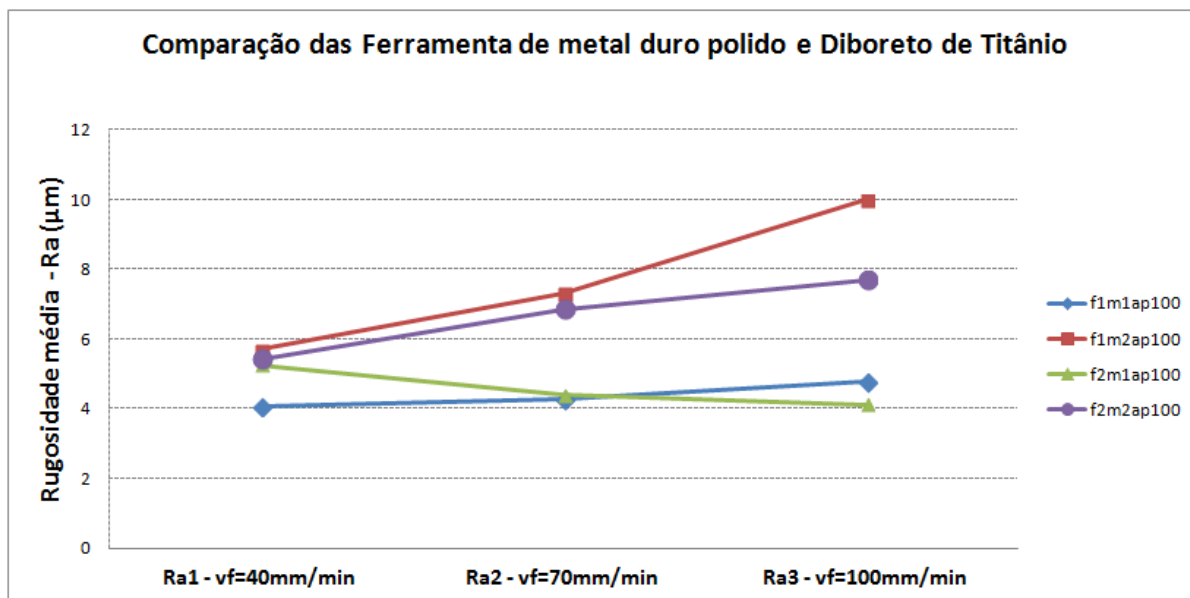


Fonte : (Elaborado pelo Autor).

Para as mesmas condições de trabalho, mas agora em profundidade de corte de 1,0 mm, é possível ver que a madeira de pinus processada tanto com a ferramenta de metal duro (f1m1), como a de diboreto de titânio (f2m1) estão com seus índices de rugosidade bem abaixo dos valores apresentados pelo eucaliptus, e as ferramentas pouco influenciaram quanto a elevação desta rugosidade relativamente alta como descrito nas linhas de dispersão presentes na figura 43.

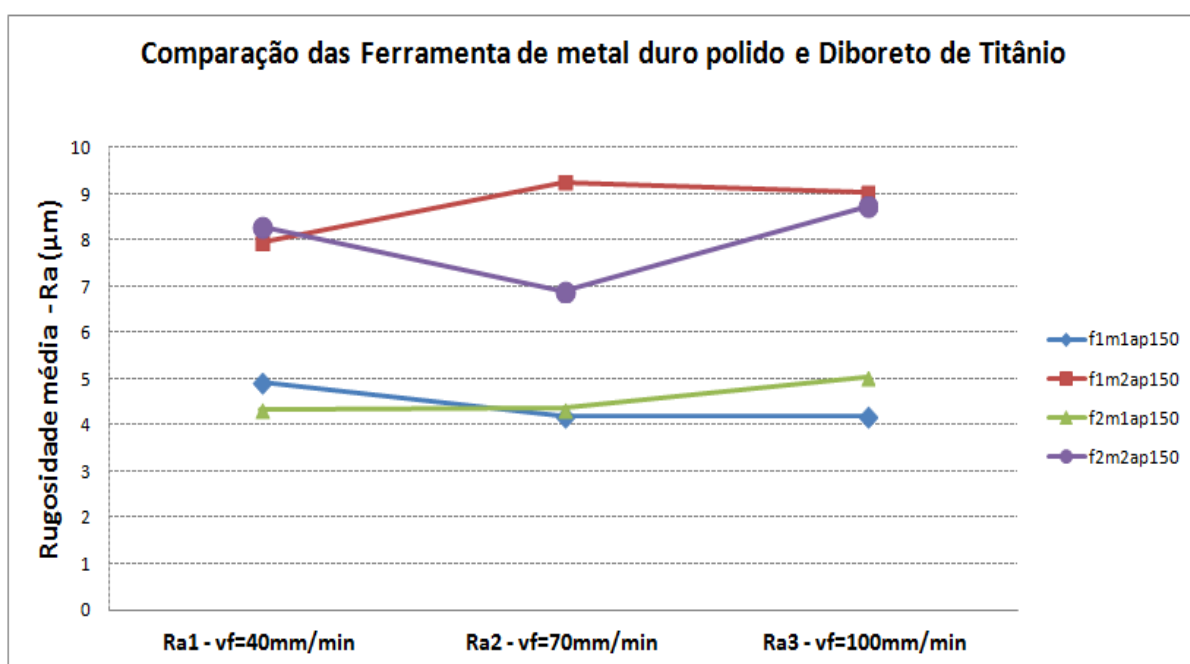
Para os valores presentes na Figura 44, outras condições ocorrem, e desta forma é possível notar que as interações envolvendo a madeira de eucaliptus (f1m2; f2m2), apresentam índices de rugosidade média muito acima dos valores que a madeira de pinus está sendo utilizado, mantendo seus valores médios, começando em 8,0 μm e oscilando entre 7,0 e 9,0 μm e ambos fecham em vf 100 mm/min com 8,0 μm . A melhor condição de rugosidade é encontrada na interação f1m1 que varia de 4,0 μm até 4,3 μm mesmo quando submetido à velocidade de avanço de 100 mm/min nas operações com profundidade de corte de 1,5 mm.

Figura 43. Comparação de R_a na comparação com avanço de corte em a_p de 1,0 mm



Fonte : (Elaborado pelo Autor).

Figura 44. Comparação de R_a na comparação com avanço de corte em a_p de 1,5 mm



Fonte : (Elaborado pelo Autor).

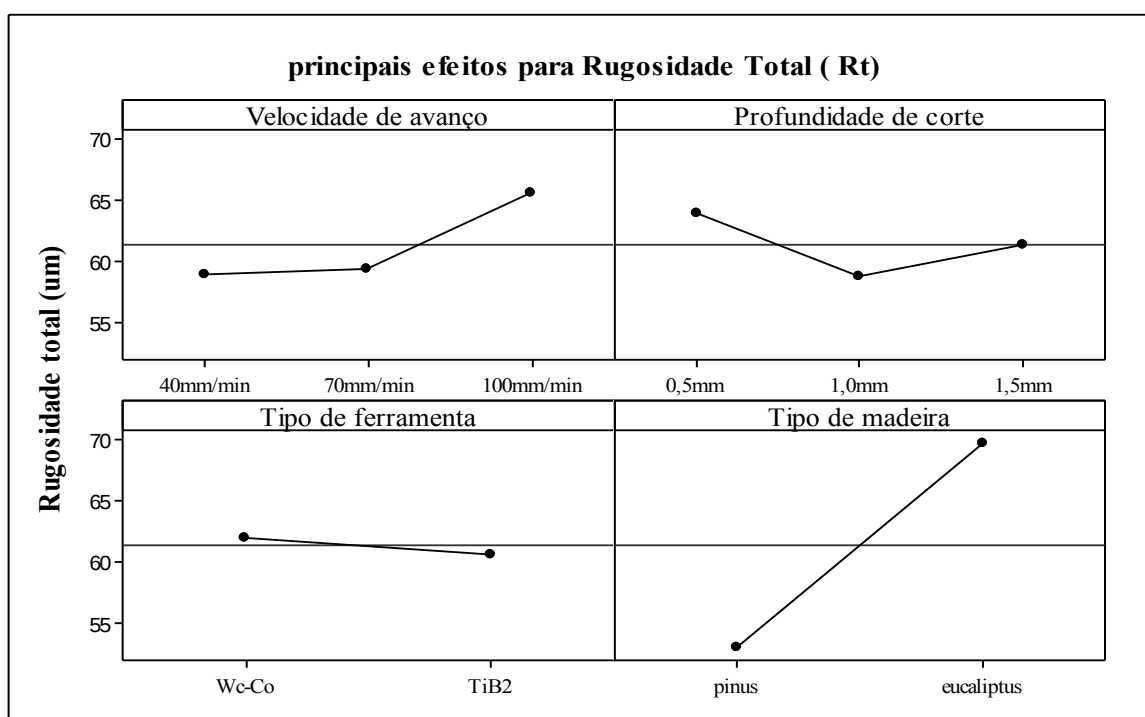
4.3. Principais interações e Valores para rugosidade total (R_t).

Numa análise simplificada os efeitos de R_t tendem a se mostrar semelhantes aos de R_a , em uma escala de maiores proporções e uma precisão, onde a velocidade de avanço mostra a mesma tendência de elevação crescente de R_t quando as velocidades de avanço também se elevam.

Do mesmo modo, na condição de avaliação da profundidade de corte as variações repetem-se decrescente de a_p 0,50 mm para a_p 1,0 mm e se elevam discretamente até o nível médio em a_p 1,5 mm. Uma pequena diferença é notada na análise entre R_a e R_t , com relação à ferramenta de corte Metal duro polido, que neste caso demonstram que a ferramenta f2 de TiB_2 representa um pequeno decréscimo de rugosidade se comparada à ferramenta de metal duro ou f1.

Com relação ao tipo de madeira estudado, o pinus foi quem demonstrou índices de rugosidade total e manteve a tendência de menor rugosidade superficial em função de menor densidade de massa apresentada se comparado com o eucaliptus. Reflexo disso pode ter influenciado os resultados iniciais da interpolação entre todos os parâmetros que foram cruzados para geração dos efeitos principais listados na Figura 45, apresentado logo abaixo e resumem todas as condições obtidas.

Figura 45. Valores para efeitos principais de R_t

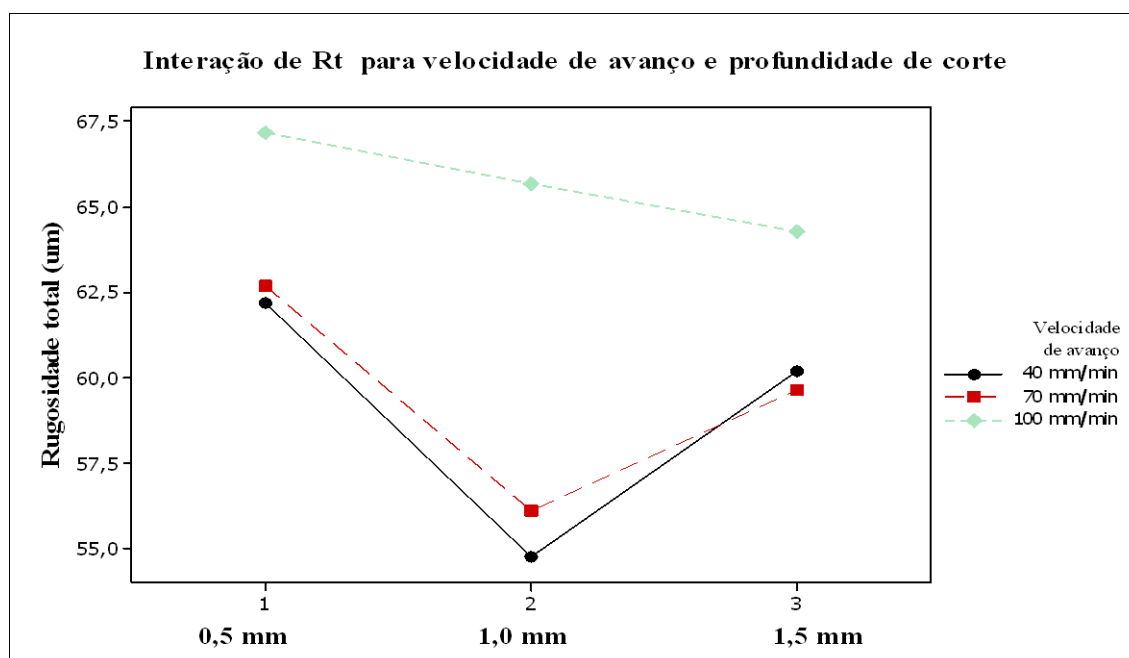


Fonte : (Elaborado pelo Autor).

Para a avaliação de comportamento de profundidade de corte e avanço nota-se a que para o avanço de 40 mm/min com valores de 62,5 μm e 55 μm em a_p 1,0 e fecha com 61 μm , enquanto com 70 mm/min os valores vão de 62,5 μm até 56,0 μm e 60 μm .

Para v_f de 100 mm/min, nas condições de profundidade de corte os valores de rugosidade, mostram-se muito superiores em relação às duas primeiras, com 67,5 μm para a_p 0,5 mm e decrescendo para 66 μm para a_p 1,0 e 65 μm quando a_p é de 1,5 mm. Estas observações podem ser observadas pelas e linhas de dispersão reproduzidas na Figura 46.

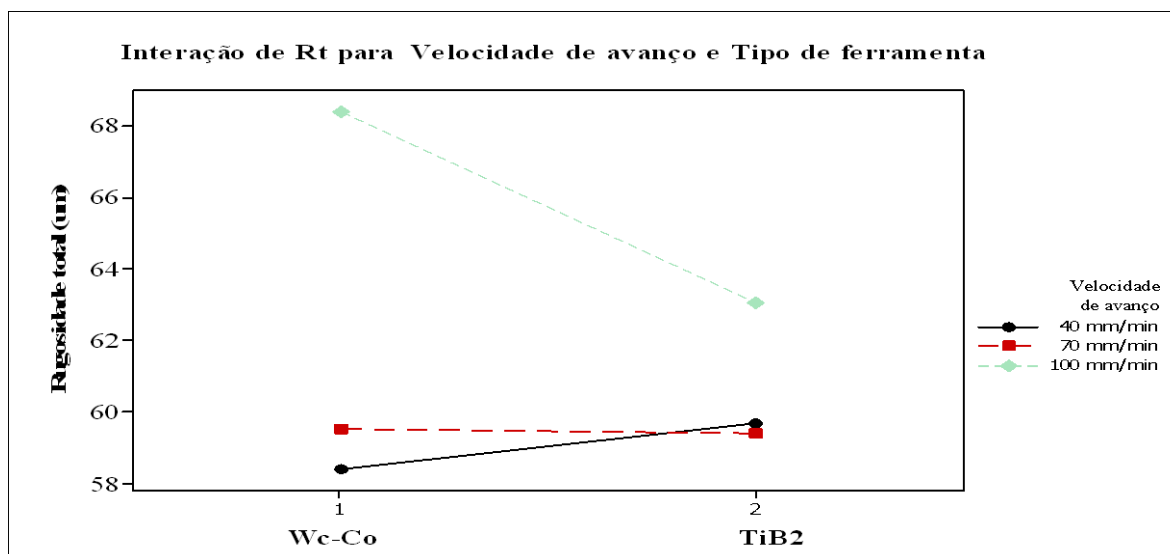
Figura 46. Valores de R_t para velocidade de avanço e profundidade de corte



Fonte : (Elaborado pelo Autor).

A comparação de R_t nas condições referentes a velocidades de avanço aplicadas e ferramentas dá a seguinte condição: Em v_f 40 a ferramenta de Metal duro polido teve rugosidade de 58 μm enquanto TiB_2 apresentou 59 μm , e ambas tiveram desempenho semelhante para v_f de 70 mm/min com rugosidade de 60 μm . Para v_f de 100 mm/min a rugosidade total da ferramenta sem revestimento foi muito superior à encontrada diboreto de titânio como denota a linha de dispersão que mostra um valor de rugosidade de 63 μm para ferramenta revestida enquanto a ferramenta polida apresentou 68 μm , como descrito na Figura 47.

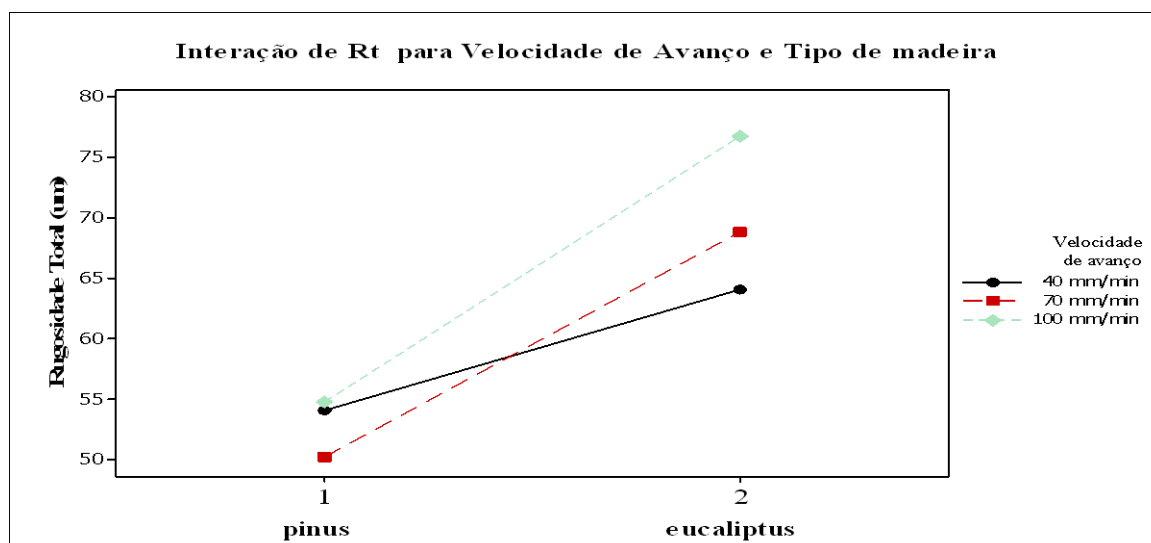
Figura 47. Valores de R_t para velocidade de avanço e tipo de ferramenta



Fonte : (Elaborado pelo Autor).

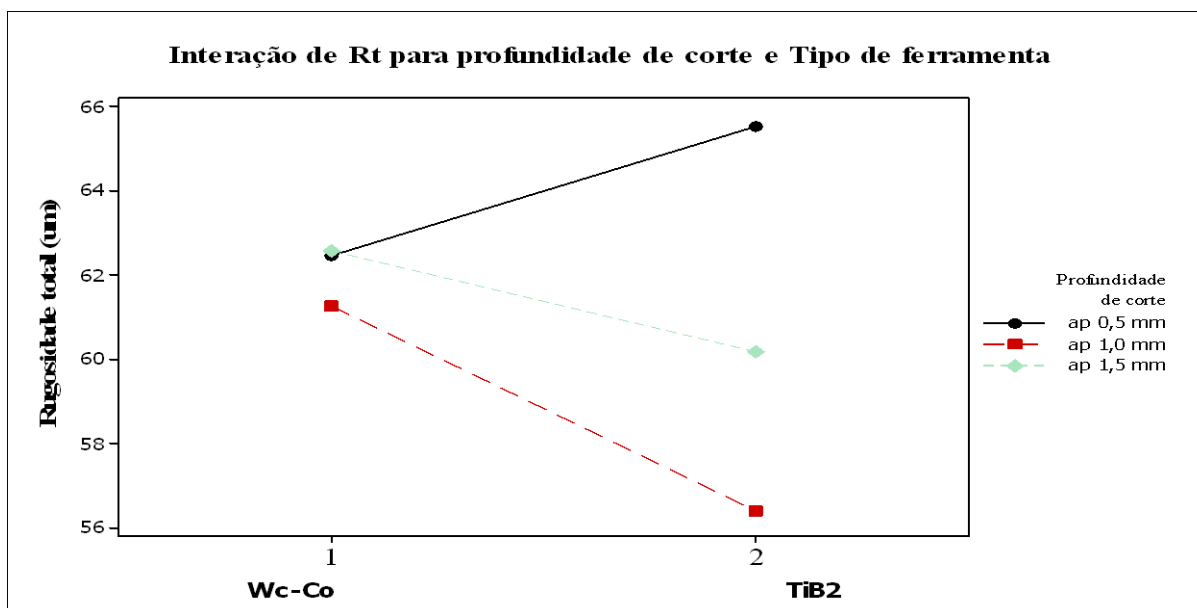
Já com as condições de avanço e tipo de madeira, o eucaliptus teve em todas as condições de velocidade de avanço aplicadas, uma superioridade de rugosidade total sobre a madeira de pinus em que a menor diferença foi em v_f 40 e a condição mais drástica esteve em v_f 100 onde o pinus obteve 55 μm e o eucaliptus ultrapassou os 75 μm , como poder ser visto pela Figura 48, enquanto que na Figura 49, é possível ver a maior rugosidade de TiB_2 em a_p de 0,5 mm enquanto que em a_p de 1,0 e a_p de 1,5 representa a ação da profundidade de de corte com a reação conforme o tipo de madeira processada.

Figura 48. Valores de R_t na interação entre velocidade de avanço e tipo de madeira



Fonte : (Elaborado pelo Autor).

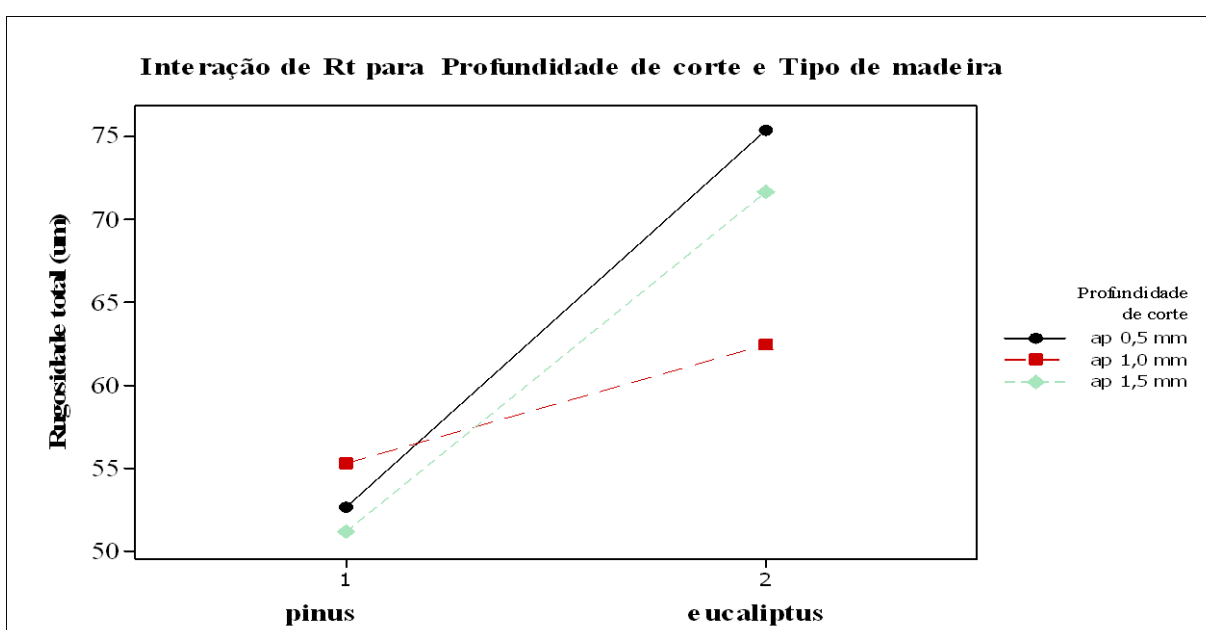
Figura 49. Valores de R_t para interação de profundidade de corte e tipo de ferramenta



Fonte : (Elaborado pelo Autor).

A Figura 50, com os valores de comparação que trata a integração entre R_t quando comparados profundidade de corte e tipo de madeira, torna visível a melhor condição da madeira de pinus, que nas três situações aplicadas, apresentou baixos índices de rugosidade se comparado com o eucaliptus.

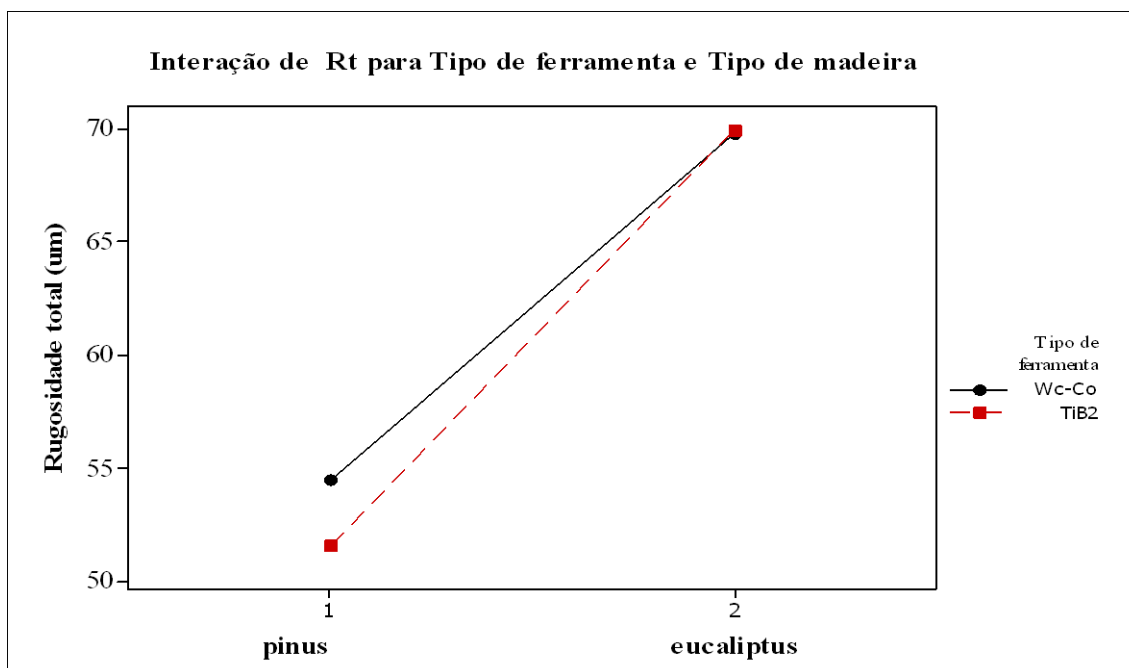
Figura 50. Valores de R_t para interação de Profundidade de corte e tipo de madeira



Fonte : (Elaborado pelo Autor).

Para as mesmas condições com a comparação das ferramentas de corte e os tipos de madeira utilizados. Pelas tendências mostradas na Figura 51, a interação mostra uma forte tendência de aumento de rugosidade da madeira m1, independente do tipo de ferramenta utilizado, deixando claro que nesta situação em específico, o tipo de madeira teve total influência com os valores de R_t .

Figura 51. Valores de R_t em comparação com o tipo de ferramenta e tipo de madeira

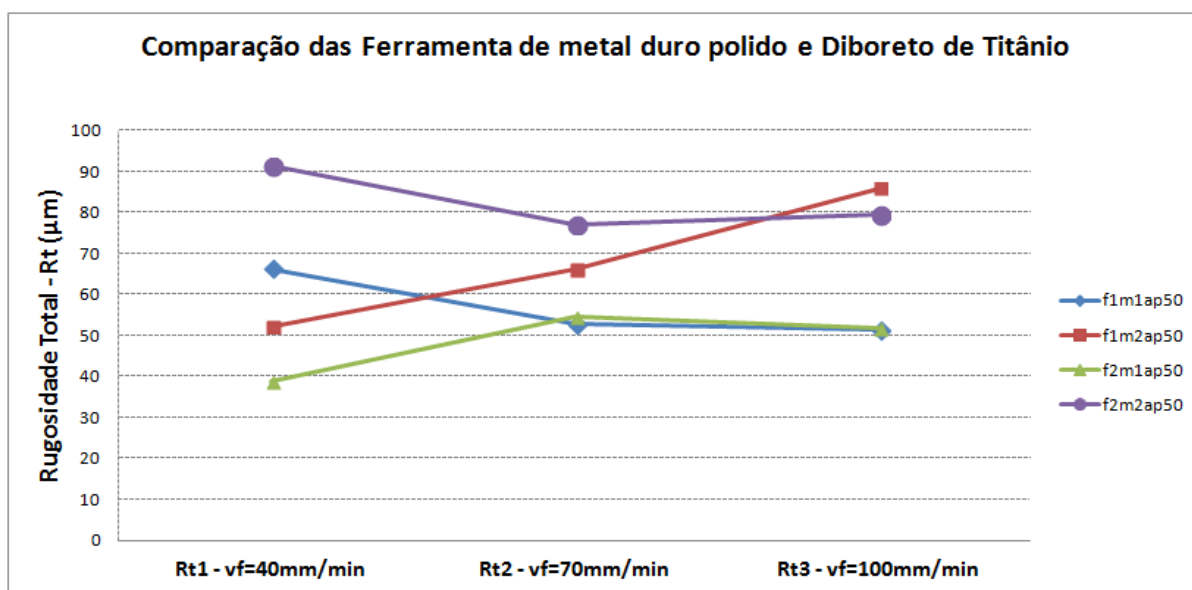


Fonte : (Elaborado pelo Autor).

Para os valores aquisitados em Excel, na condição de profundidade de corte de 0,5 mm a rugosidade total, o eucaliptus (f1m2; f2m2) apresenta os índices mais indesejáveis fechando entre 8,0 e 8,3 μm enquanto que as interações que trabalham com a madeira de pinus (f1m1; f2m1) fecharam com índices perto de 50 μm . A melhor condição foi encontrada para a interação de TiB_2 e pinus (f2m1), que iniciou com uma rugosidade de 40 μm em v_f de 40 mm/min em 50 μm como é possível ver na Figura 52.

Para a profundidade de corte de 1,0 mm, não é possível descrever qual das interações apresenta melhores ou piores resultados, tendo em vista que os valores de rugosidade estão muito próximos uns dos outros, tanto para velocidade de avanço de 40mm/min quanto para 70 mm/min e somente vai haver uma diferença significativa quando a velocidade de avanço atinge 100 mm/min.

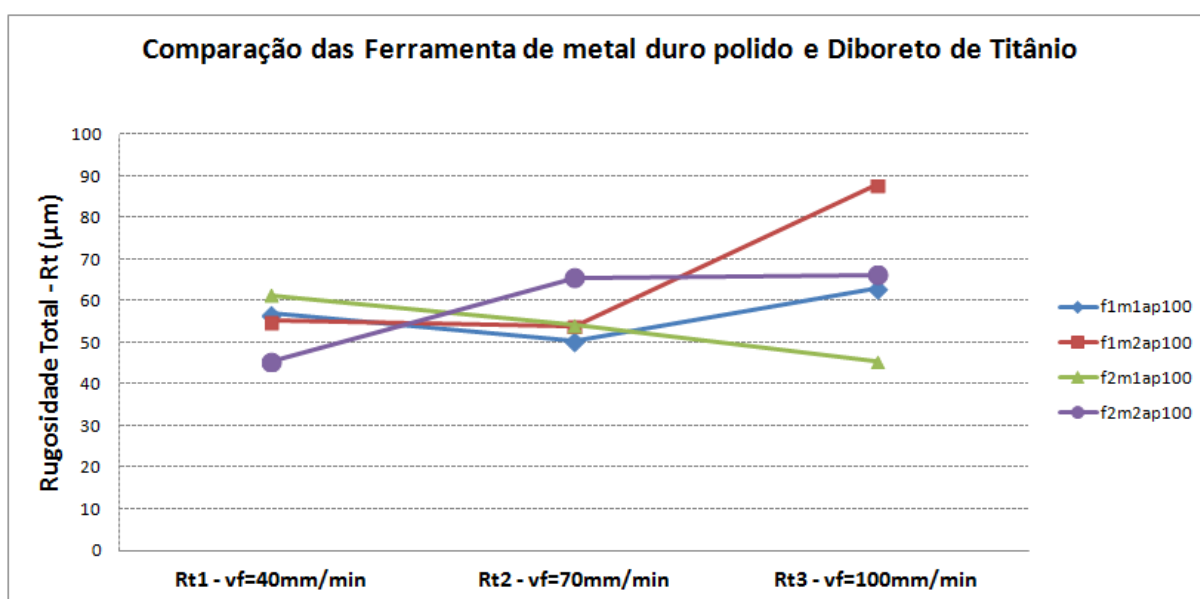
Figura 52. Comparação de R_t na comparação com avanço de corte em a_p de 0,5 mm



Fonte : (Elaborado pelo Autor).

Os valores finais da interação de da ferramenta de diboreto de titânio com a madeira de pinus (f2m1) inicia com um indice de rugosidade de 60 μm e decresce até atingir a rugosidade de 45,0 μm valor de rugosidade enquanto que f2m2 executa trajetória oposta, começando em 45,0 μm e fechando em 65,0 μm para vf de 100,mm/min como é possível ver na Figura 53.

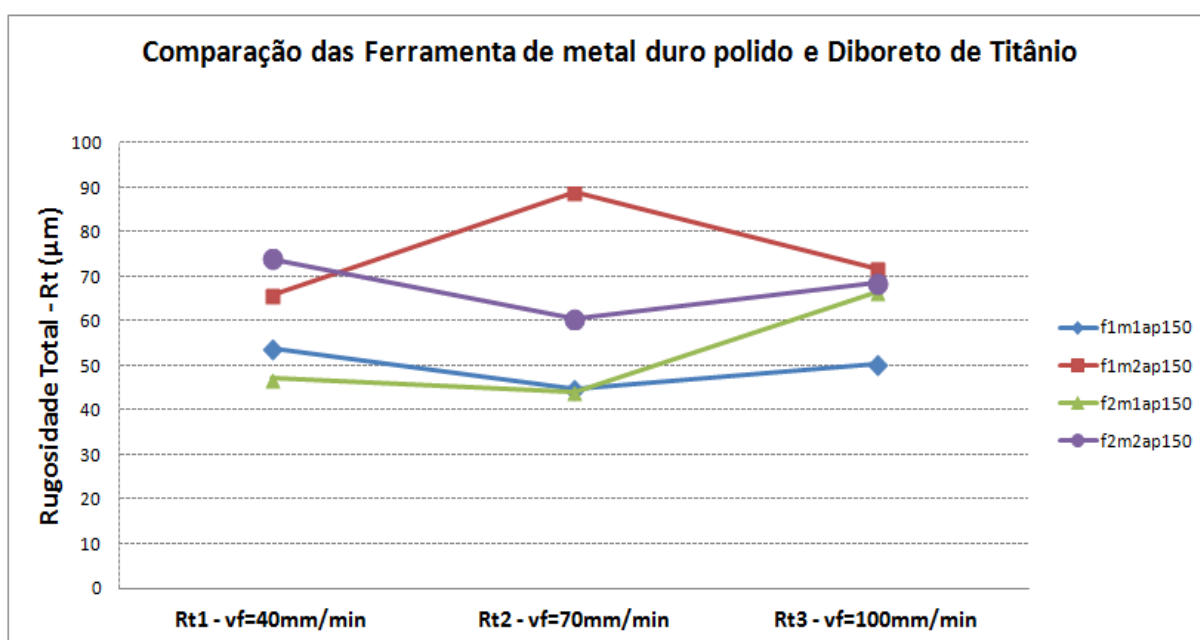
Figura 53. Comparação de R_t na comparação com avanço de corte em a_p de 1,0 mm



Fonte : (Elaborado pelo Autor).

Para a profundidade de 1,5 mm, as interações f1m2 e f2m2 ficam com os maiores valores de rugosidade, enquanto que a melhor condição de superfície pode ser constatada na interação pinus e metal duro (f1m1), que vai de 54,0 μm no avanço de 40 mm/min até 50 μm para 100 mm/min de avanço, seguida da combinação de TiB_2 com a madeira pinus (f2m1). Todas as demais tendências estão descritas na Figura 54.

Figura 54. Comparação de R_t na comparação com avanço de corte em a_p de 1,5 mm



Fonte : (Elaborado pelo Autor).

As tendências de comportamento das duas espécies estudadas estão de acordo com a descrição científica que prevê que a madeira de menor densidade possa sim apresentar menores condições de rugosidade e de acordo com o que foi visto no trabalho de Aguilera e Muñoz (2011), a madeira de densidade parecida com o pinus, neste caso a sequoia, que sendo notavelmente mais leves em relação à madeira de acácia, sendo esta ultima com densidade parecida com o eucaliptus também teve em seus resultados a ideia de um índice de rugosidade total com valores bem semelhantes.

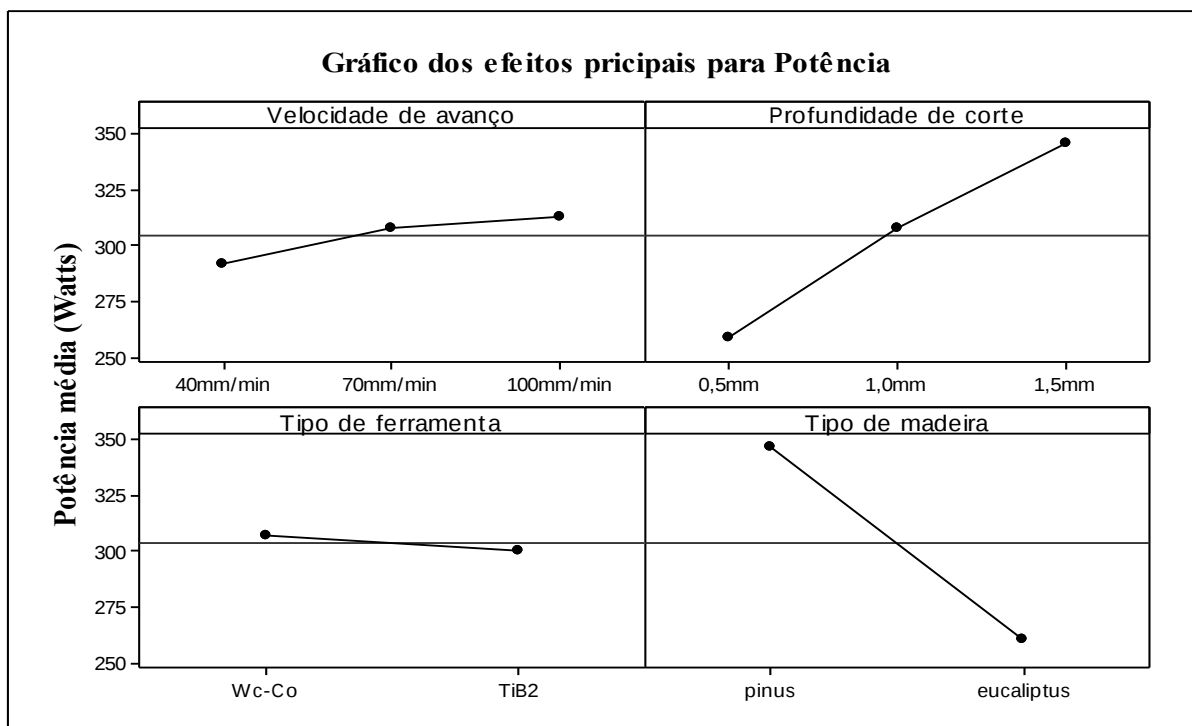
A possibilidade de se cortar o pinus com uma facilidade maior que a madeira de eucaliptus pode estar relacionada com os resultados obtidos, pois a madeira de pinus apresentou praticamente a metade da densidade apresentada para a madeira de eucaliptus, e isso tem de ser levado em consideração, pois influencia na resistência da madeira diante da ação de remoção de material e arrancamento das fibras.

4.4. Principais resultados de potência

Os valores médios de potência gerados pelo programa estatístico denotam uma série de variações interessantes relacionadas às quatro principais fatores utilizados. Na velocidade de avanço, uma variação bem singela foi notada para as três velocidades de avanço aplicadas, onde nota-se que de v_f -40 à v_f -70 houve uma variação um pouco mais robusta vamos assim dizer, e continuou aumentando até a velocidade de avanço de 100 mm/min, de uma forma, mais discreta e estável. Com relação à profundidade de corte, a variação de potência demonstrou mais visível, quase como uma reta ascendente entre as profundidades a_p -0,50, a_p -1,0 e a_p -1,5 mm variando de aproximados 260 Watts em a_p -0,50 mm até próximo dos 380 Watts em a_p -1,5 mm.

A comparação do consumo de potência com relação ao tipo de ferramenta mostrou uma pequena superioridade de consumo junto à ferramenta de metal duro Metal duro polido, quase equiparando as duas ferramentas em valores próximos de 300 W em média. Em relação ao tipo de madeira a madeira pinus tiveram valores de consumo de potência considerável dando uma grande diferença nas médias em comparação com a madeira de eucaliptus como demonstrado na Figura 55, e todas as quatro representações descritas acima.

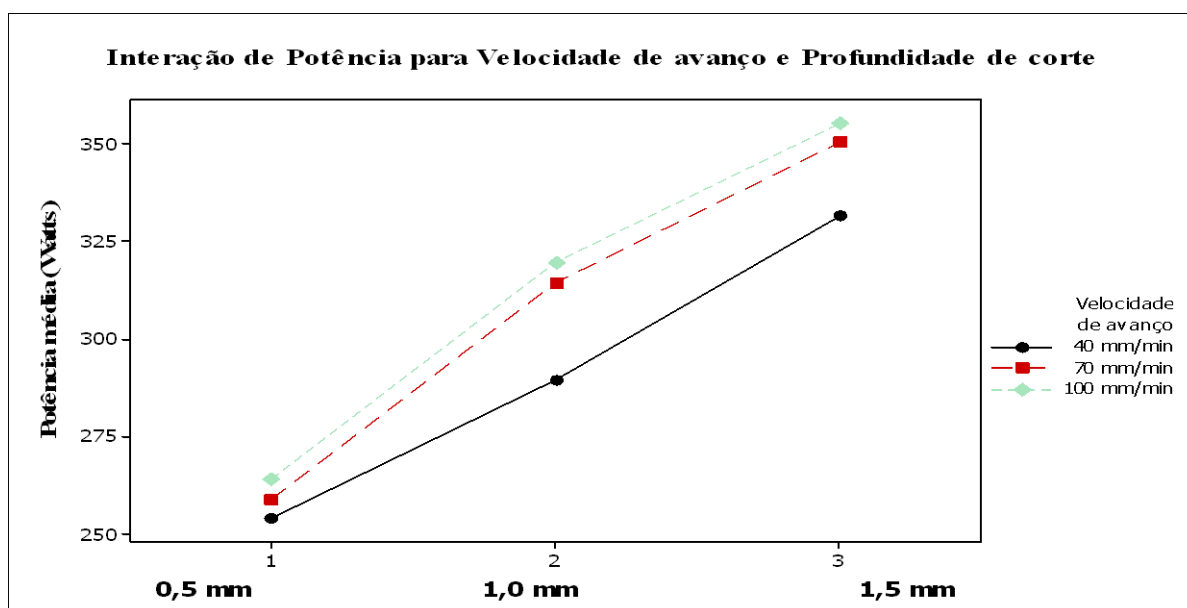
Figura 55. Valores das principais interações para efeito de potência.



Fonte : (Elaborado pelo Autor).

A Figura 56 é usada para demonstrar a elevação de potência de corte de forma ascendente e quase linear em todas as condições sugeridas de forma que se possa afirmar que à medida que se aprofunda o corte, o consumo de potência aumenta gradativamente ao ser forçado a cortar e remover uma camada maior de material, e a medida e que se aumenta a velocidade de avanço de corte também esta potência necessária para cortar também tende a se elevar.

Figura 56. Valores da interação entre velocidade de avanço e profundidade de corte

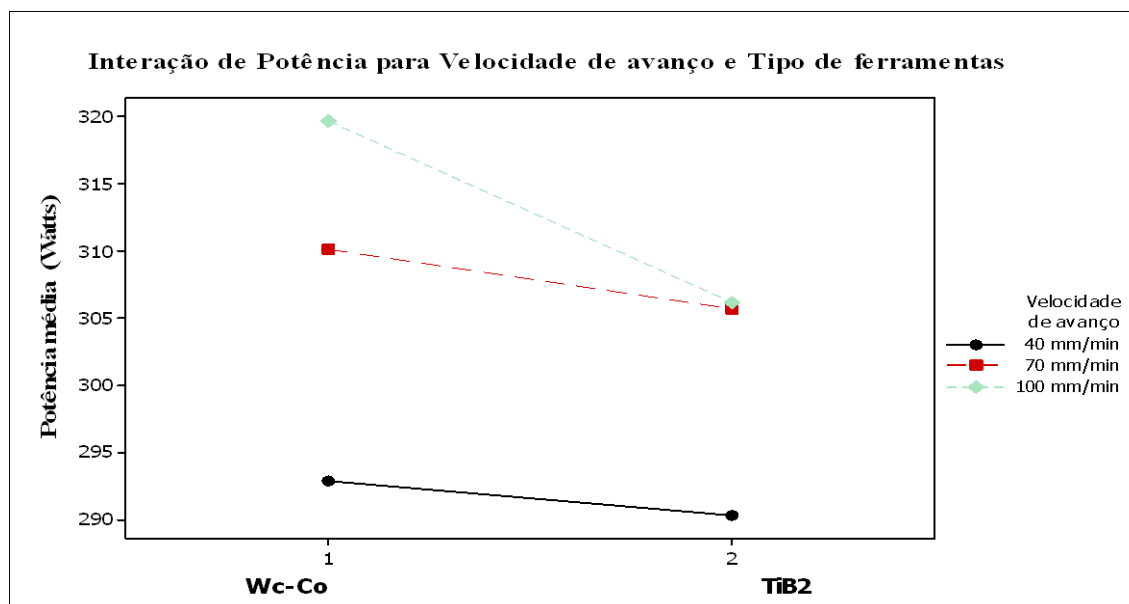


Fonte : (Elaborado pelo Autor).

Com relação à velocidade de avanço e o tipo de ferramenta utilizado é possível dizer que a ferramenta revestido com TiB_2 obteve menores valores de consumo de potência em todas as solicitações de trabalho tendo em $v_f=40$ os menores valores de potência consumida no corte e em $v_f=100$ os valores mais expressivos entre 320 Watts para Metal duro polido e 307 Watts aproximadamente para TiB_2 , como descrito na Figura 57.

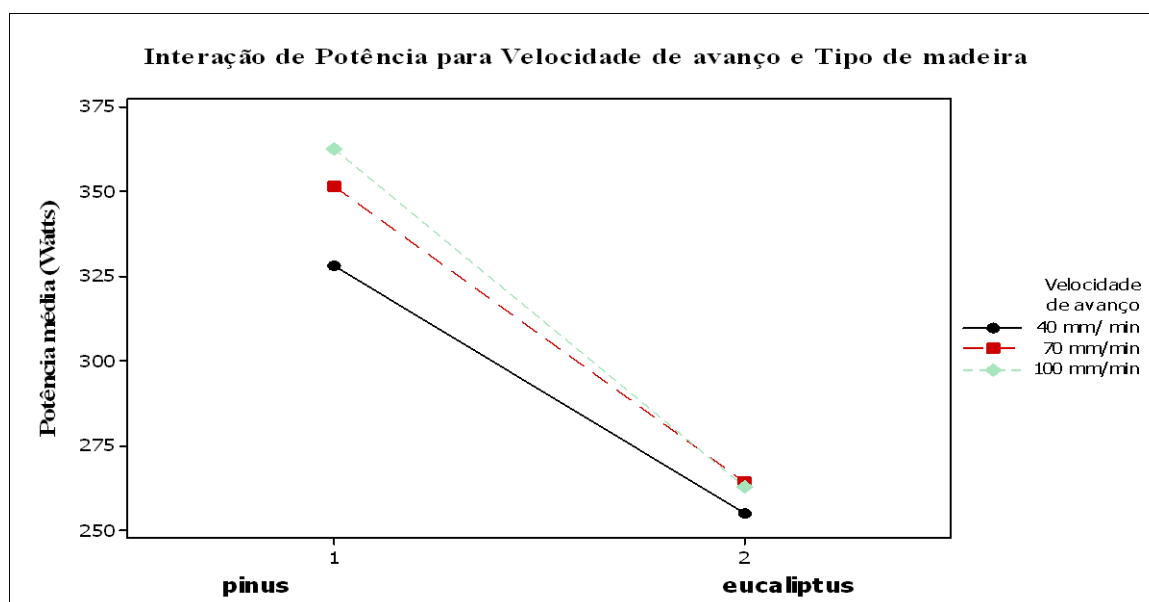
Com relação ao avanço e aos tipos de madeira o pinus consumiu uma potência significativamente superior à que foi consumida pela madeira de eucaliptus que não passou de patamares acima de 260 Watts enquanto que pinus oscilou de 325 Watts em $v_f=40$ até 360 Watts quando v_f foi igual à 100 mm/min, que pode ser visto em detalhes na Figura 58.

Figura 57. Valores de potência entre velocidade de avanço e tipo de ferramenta



Fonte : (Elaborado pelo Autor).

Figura 58. Valores de potência entre velocidade de avanço e tipo de madeira



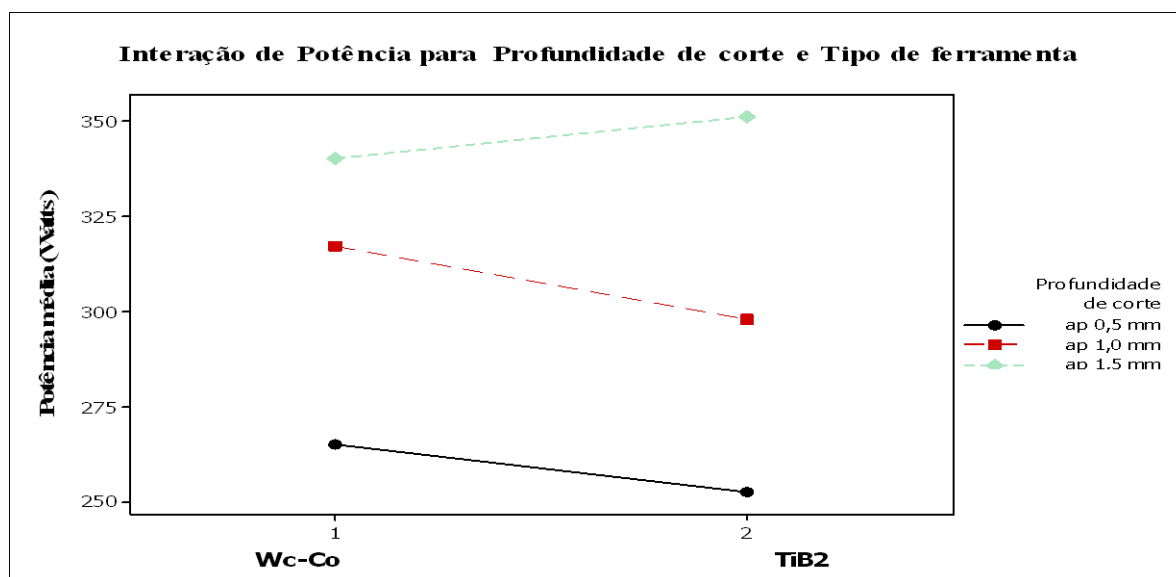
Fonte : (Elaborado pelo Autor).

Para interação de profundidade de corte nas mesmas condições aplicadas acima, foi possível notar que o comportamento entre as duas ferramentas esteve de certa forma estável nas duas primeiras profundidades de corte $a_p=0,5$ e $a_p=1,0$ mm favoráveis ao uso da ferramenta revestida.

Já para a condição de profundidade em a_p -1,5 mm, ocorre um inversão de valores e a ferramenta polida de Metal duro polido ficou com consumo abaixo do que foi necessitado para a ferramenta de TiB_2 .

Esta condição fica visível na Figura 59 que traz os valores de potência média requerida em relação ao tipo de ferramenta que foi utilizado.

Figura 59. Valores de potência para profundidade de corte e tipo de ferramenta



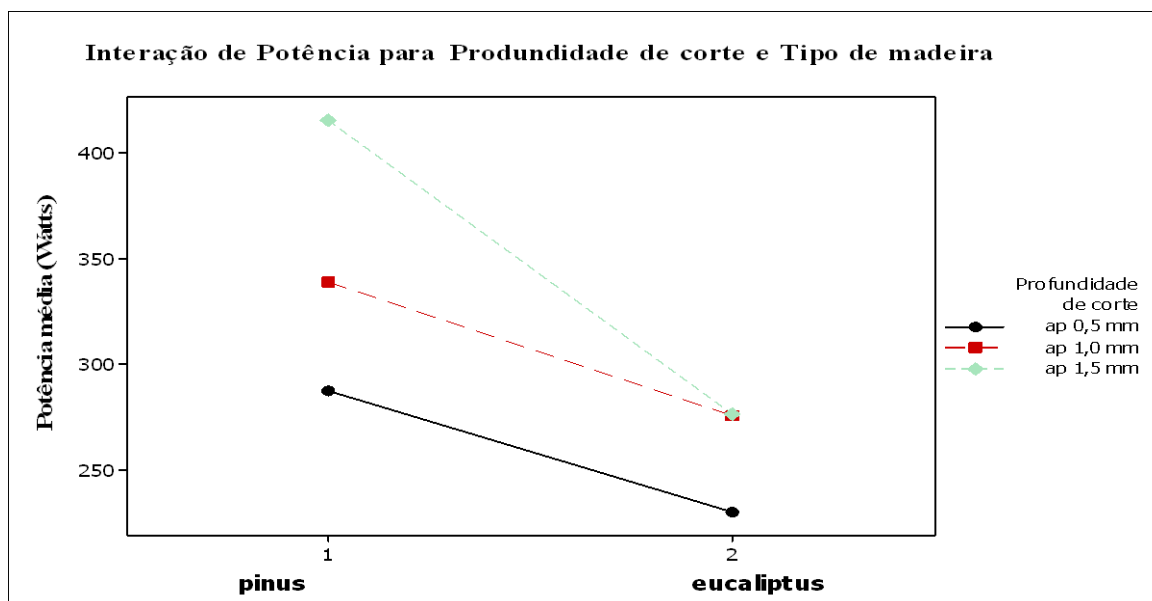
Fonte : (Elaborado pelo Autor).

Na comparação de profundidade e tipo de madeira presentes na Figura 60, o eucaliptus permaneceu com menor consumo em todas as três profundidades de corte aplicadas e a maior diferença entre as comparações se deu com a_p -1,5 mm, onde o consumo médio atingiu os 400 Watts para a madeira de pinus e valores em torno dos 300 Watts no caso da madeira de eucaliptus.

Para a condição de profundidade de corte de a_p -0,5 mm, o pinus consumiu 280 Watts diante dos 220 Watts consumidos pelo eucaliptus enquanto que na condição de a_p -1,0 mm foi consumido 350W para a madeira de pinus ante 280 Watts pelo eucaliptus a uma mesma profundidade de corte .

Com relação à potência consumida quando comparados os dois tipos de ferramenta e dois tipos de madeira utilizados, o destaque maior fica com a ferramenta de Metal duro polido e a madeira de pinus destaca-se como o conjunto que ofereceu maior consumo de potência para o torneamento a que foram submetidos, trabalhando com índices de 360 Watts para metal duro e aproximando-se de 330 Watts para diboreto de titânio enquanto que com a madeira de eucaliptus, os valores foram em média de 250 Watts e 260 Watts respectivamente.

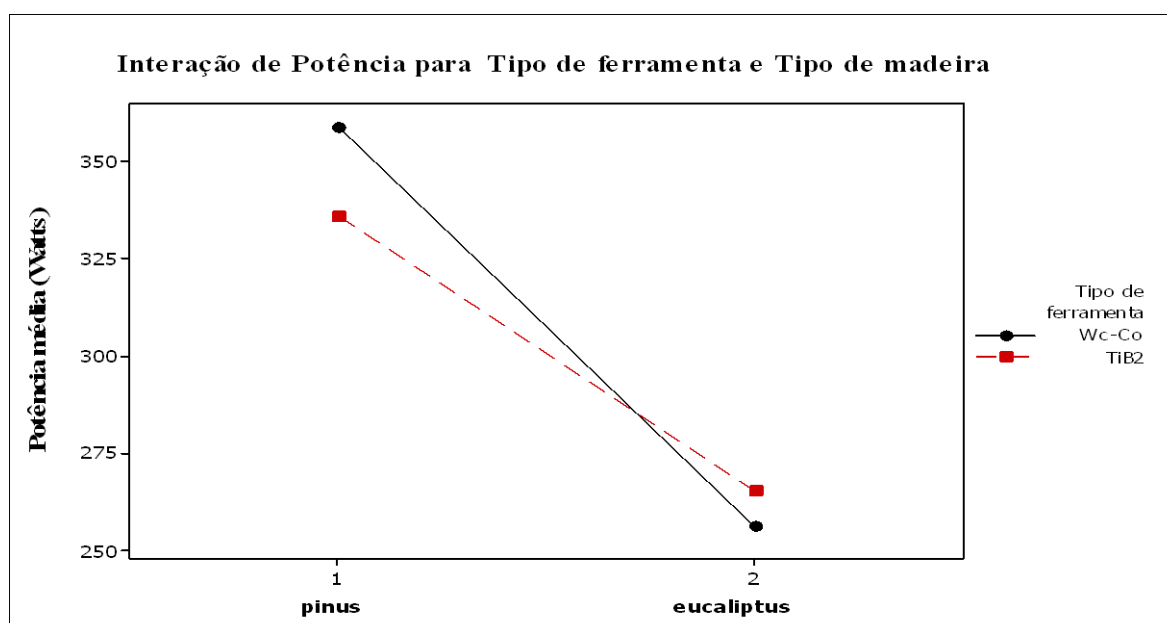
Figura 60. Valores de potência na comparação entre profundidade de corte e tipo de madeira



Fonte : (Elaborado pelo Autor).

Os valores presentes na Figura 61 podem resumir a diferença expressiva de comportamento entre a madeira de pinus e a madeira de eucaliptus, e mostra uma diferença de mais de 100 Watts de potência consumida para um mesmo procedimento e mesmo como uso de ferramenta revestida, os valores de consumo são expressivos.

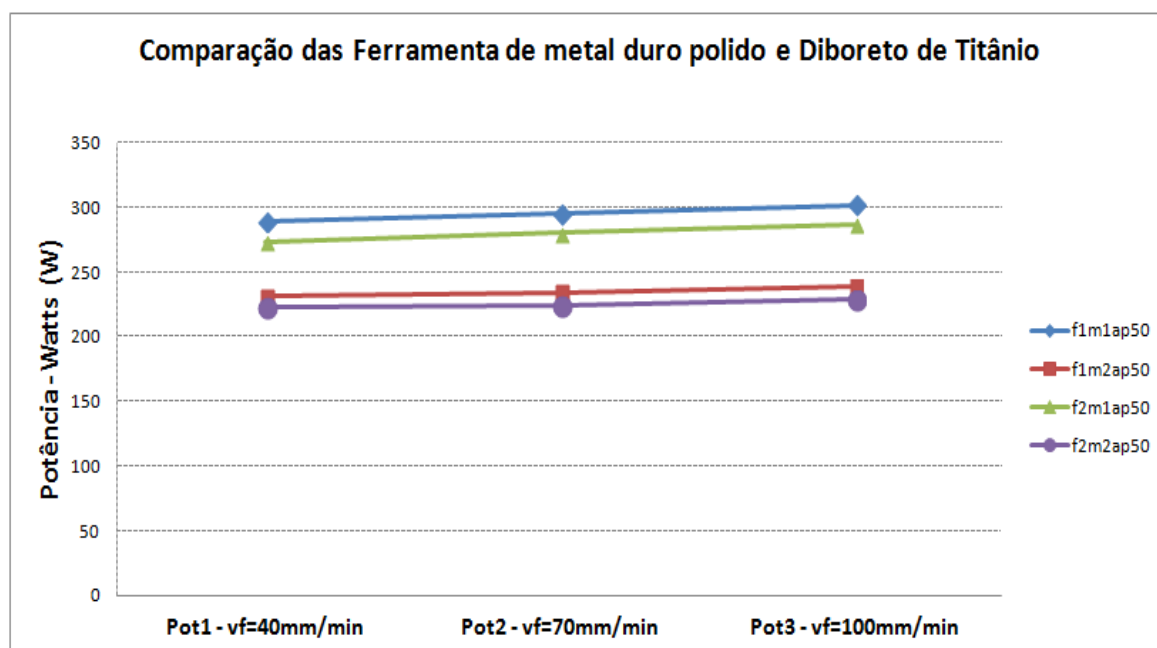
Figura 61. Valores de interação ente tipo de ferramenta e tipo de madeira



Fonte : (Elaborado pelo Autor).

Os valores de potência e as interações entre as madeira e ferramentas divididas em grupos distintos, mostram-se bem uniformes e seguindo a tendência de consumo de potência muito elevada para as interações que contém a madeira de pinus, enquanto os grupos de eucaliptus seguem estáveis e abaixo de 250 Watts de potência consumida com profundidade de corte de 0,5 mm, como podem ser vistas na Figura 62.

Figura 62. Comparação de potência em relação a velocidade de avanço para a_p de 0,5 mm



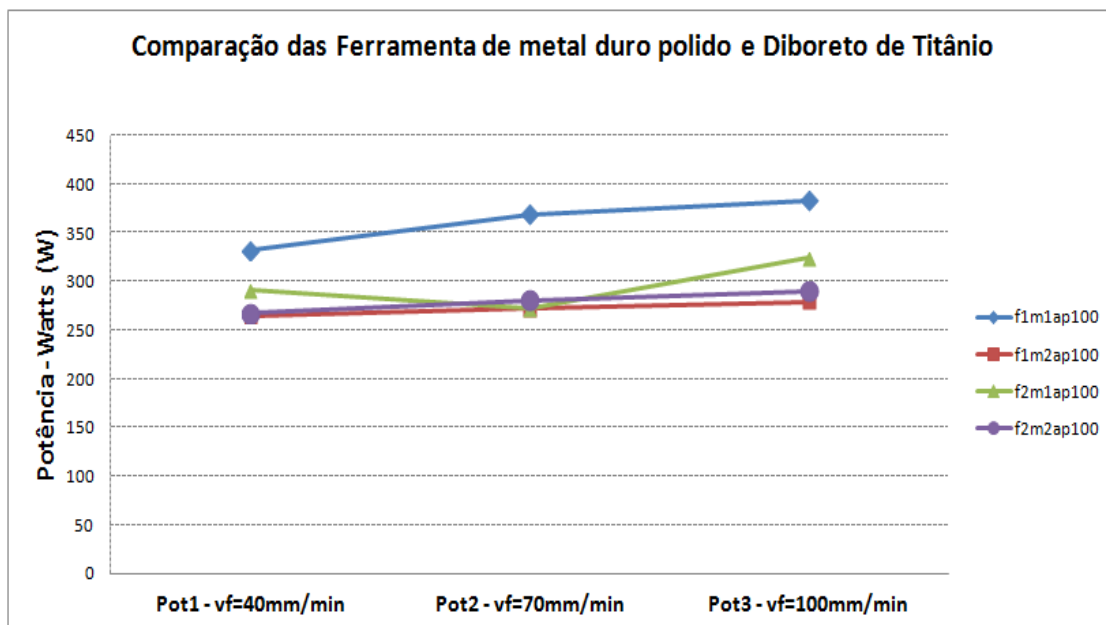
Fonte : (Elaborado pelo Autor).

Pela Figura 63, percebe-se a interação entre ferramentas em função de profundidade de corte e avanço de corte, é possível ver que o grupo formado pela madeira eucaliptus e a ferramenta de diboreto de titânio, apresenta as mesmas características e valores de potência da madeira de eucaliptus (m2), demonstrando que a madeira não influenciou diretamente nesta condição e sim a ferramenta de corte foi quem influenciou na diminuição do consumo de potência durante o corte.

O procedimento que utilizou a madeira de pinus e a ferramenta de metal duro (m1f1) apresentou índices muito acima dos demais, indo de 340 Watts em v_f 40 mm/min a 380 Watts quando v_f passa a ser 100 mm/min. Já para profundidade de corte de 1,5 mm, a divisão de grupos passa a ser mais expressiva, mantendo a madeira de pinus com os maiores valores de potência consumida, independente do tipo de ferramenta aplicado, mantendo até certa estabilidade, em uma crescente que vai de 390 à 450 Watts tanto para f1m1 quanto para f2m1.

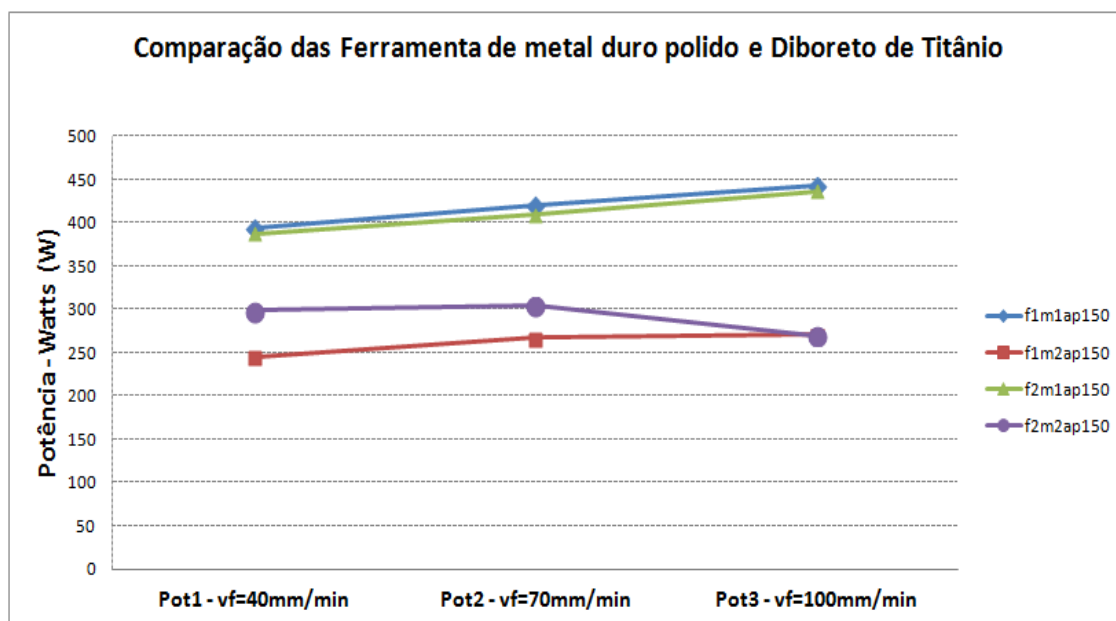
A melhor condição, ou menor consumo de potência dos sistema fica à cargo da interação entre o metal duro polido e a madeira de eucaliptus (f1m2), seguido pelo grupo contendo a madeira de eucaliptus e a ferramenta de metal duro com revestimento de diboreto de titânio como expresso na Figura 64.

Figura 63. Comparação de potência em relação a velocidade de avanço para a_p de 1,0 mm



Fonte : (Elaborado pelo Autor).

Figura 64. Comparação de potência em relação a velocidade de avanço para a_p de 1,5 mm



Fonte : (Elaborado pelo Autor).

Os resultados aquisitados por Aguilera e Muñoz (2011) mostraram uma correlação interessante entre a potência de corte e a espessura do cavaco gerado, notando que foi exigido maior poder de corte para aumentar a taxa de avanço do material a uma profundidade de corte maior. Conforme cita Lima (2013), a comparação entre espécies no processo de lixamento, o *Pinus elliottii* apresentou maiores médias de potência consumida, tendo uma densidade do *Pinus* em estudo um pouco menor do que a densidade do *Corymbia citriodora* podendo se assim dizer

que a hipótese para o ocorrido esteja vinculada à resina contida na madeira desta espécie de pinus tenha contribuído para este resultado.

É possível afirmar que a rugosidade superficial da madeira está intimamente ligada com as condições de corte estabelecidas e a espessura do cavaco gerado, que pode ser melhorado com a alteração da velocidade de rotação, melhorando a velocidade de corte, pois uma madeira de baixa densidade submetida a uma operação de baixa velocidade tende a perder qualidade de acabamento de superfície pelo arrancamento forçado das fibras (AGUILERA E ZAMORA, 2009).

Tanto neste trabalho que foi desenvolvido, quanto nos trabalhos de Aguilera e Muñoz (2011) Os resultados são consistentes com os registros fornecidos pela literatura, onde a potência de corte específica tende a estar ligado diretamente com a espessura de cavacos gerados, que por sua vez estão ligados à profundidade de corte, onde profundidades menores podem representar menos exigências da potência de corte enquanto que maiores profundidades exigem mais da ferramenta de corte e potência da máquina.

A comparação de sentidos de corte concordante e discordante realizados por Almeida (2013) não apresentaram grande discrepância, tendo para velocidade de avanço de 3 m/min e profundidade de 1,0 mm os melhores resultados tanto para a madeira de pinus quanto para o eucaliptus, tendo em vista que a condição de corte apresenta condições para ser mais apropriado para se obter melhores índices de rugosidade.

De certa forma, os dados foram totalmente opostos ao que se esperava tendo em vista que a madeira de pinus deveria oferecer menor resistência, o que causaria um consumo menor de potência para ser processada, o que pode estar ligado diretamente ao modo ou sistema de captação que foi utilizado para justificar tamanho diferença, como também pode estar ligada a taxa de umidade contida em cada tipo de madeira no momento da operação.

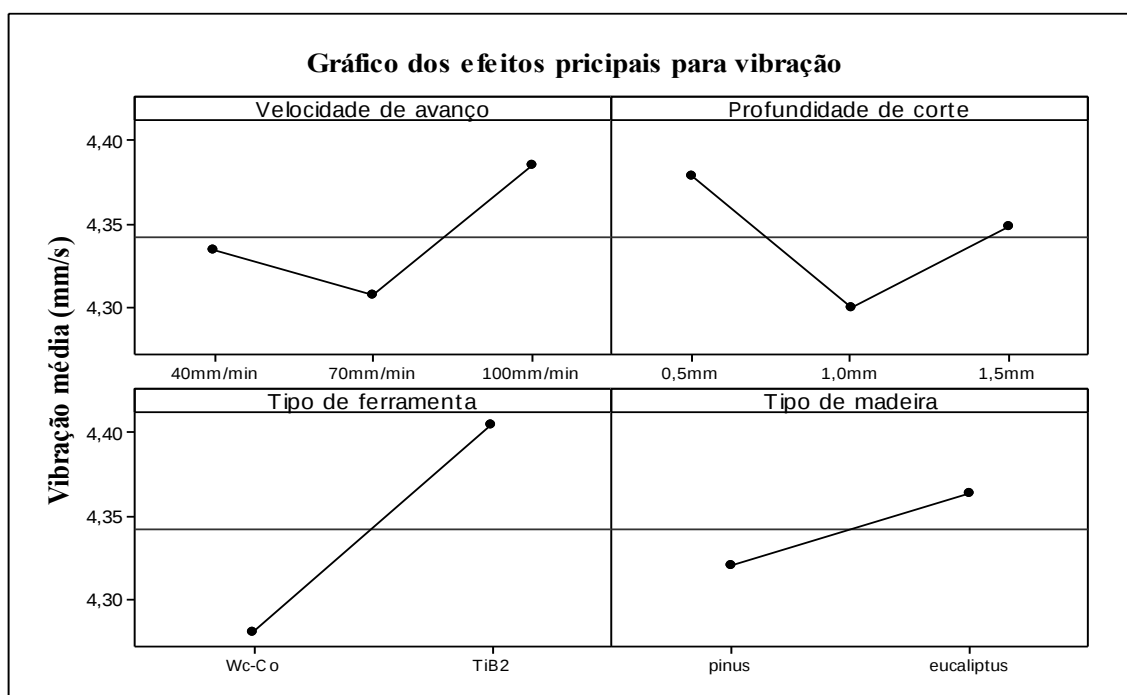
Aguilera e Muñoz (2011) notaram a tendência de um aumento gradual da rugosidade da superfície com o aumento da espessura dos cavacos gerados, também coincidentes com o que é apresentado para a análise do trabalho coletado por eles usando madeiras de Aromo e Sequoia, tendo cada uma delas a densidade semelhante às encontradas nos tipos de madeira avaliados neste trabalho.

4.5. Principais resultados de vibração no torneamento

Os efeitos principais de vibração contidos na Figura 65, destacam no Quadro 1 a relação à velocidade de avanço um decréscimo de vibração média para v_f 40 em relação à v_f 70 numa margem máxima de 4 mm/s, mas com a mudança de

v_f 70 para v_f 100 ocorre uma elevação gradual desta média ate proximo dos 4,40 mm/svalor este bem proximo da vibração maxima coletada durante o processo de torneamento. Em relação à pofundidade de corte o indice de vibração inicia alto quando a profundidade de a_p -0,5 mm, e vai decaindo para atingir em a_p -1,0 mm valores proxios de 4,30 mm/s e voltando a se elevar até estabilizar em 4,35 em a_p de 1,5mm, uma condição de vibração bem menor que a iniciada na primeira profundidade aplicada.

Figura 65. Valores para os principais efeitos da vibração



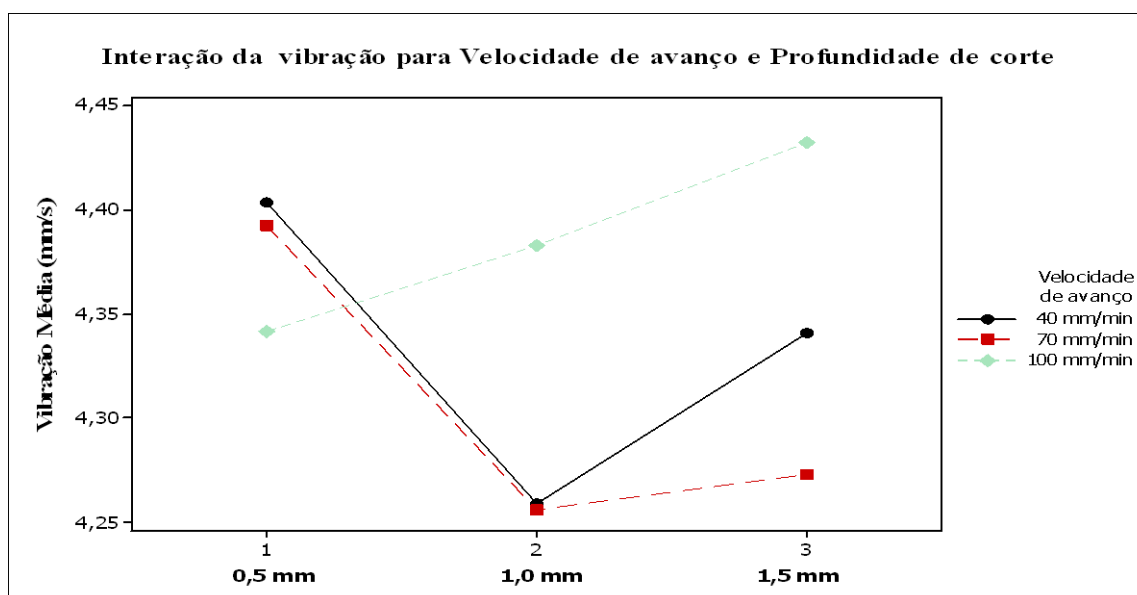
Fonte : (Elaborado pelo Autor).

Para a verificação da atuação das ferramentas de corte mostra que a ferramenta f1 com Metal duro polido obteve menores médias da vibração se comparada com a ferramenta f2 de TiB_2 como é possível ver na Figura 66. Para a atuação das madeiras quanto à vibração mecânica, pode se constatar que a madeira de Pinus descrita como tendo uma estrutura visivelmente macia, ofereceu menores índices de vibração média em comparação com a vibração gerada pela madeira m2 de eucaliptus aparentemente a mais densa.

Em relação comparação de velocidade de avanço e pofundidade de corte o indice de vibração em v_f -40 inicia com 4,40 mm/s quando a_p é de 0,5 mm, decaindo drasticamente até 4,25 mm/s em a_p -1,0 mm e voltando a se elevar em a_p de 1,5 mm a uma vibração média de 4,35 mm/s, bem menor que a inicial, mas relativamente superior à vibração da segunda profundidade aplicada.

No caso de $v_f=70$ mm/min a situação inicial também é semelhante, só que de $a_p=1,0$ até $a_p=1,5$ mm ocorre o equilíbrio destes índices, permanecendo entre 4,25mm/s e 4,7mm/s, bem abaixo do resultado obtido na condição de $v_f=40$. Já na condição de $v_f=100$, a variação entre as tres velocidades acabaram gerando um aumento no sentido acendente, iniciando em 4,35 mm/s até $a_p=1,0$ mm e depois para 4,40 mm/s quando $a_p=1,5$ mm, tudo isso como descreve a Figura 66.

Figura 66. Valores de vibração para velocidade de avanço e profundidade de corte

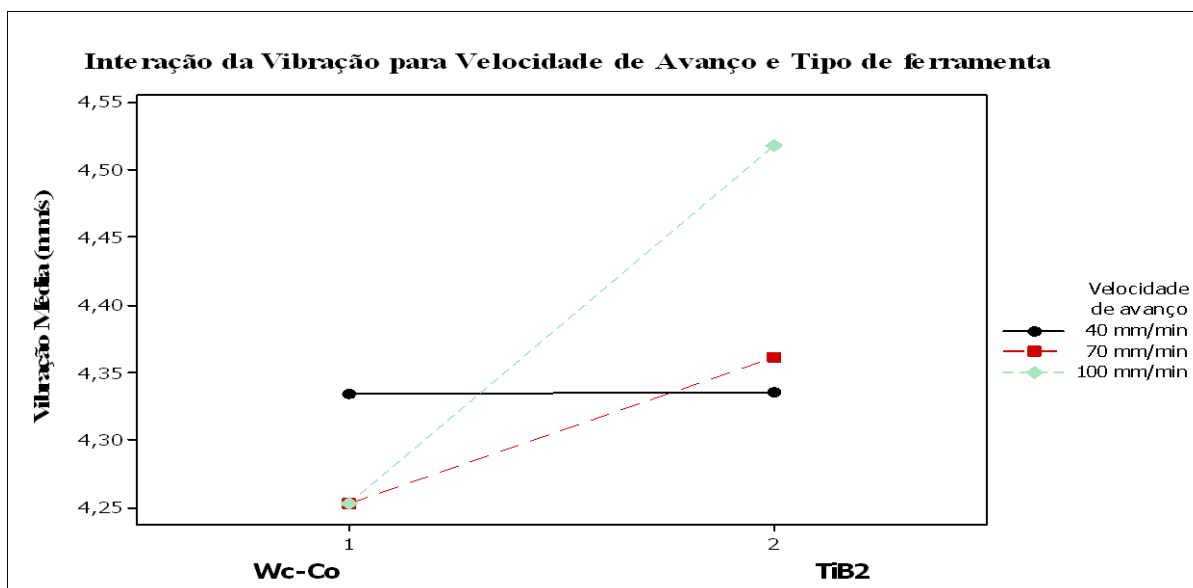


Fonte : (Elaborado pelo Autor).

A análise de vibração da Figura 67 mostra um comportamento diferente das três velocidades de avanços aplicadas, sendo que em $v_f=40$ mm/min as ferramentas mostram se alinhados quanto à vibração semelhante, com Metal duro polido levemente acima de TiB_2 . Para $v_f=70$ Já ocorre uma elevação da vibração de TiB_2 , em cerca de 0,10 mm/s, mas a situação mais significativa ficou em $v_f=100$ de 4,25 mm/s da ferramenta de Metal duro polido para 4,54 mm/s ao comparar com a ferramenta revestida de diboreto de titânio.

As condições mostradas por que $v_f=70$ e 100 mm/min seguem outro padrão, onde para $v_f=70$ mm/min destaca maior vibração de pinus em relação ao eucaliptus em patamares em torno de 4,33 e 4,28 mm/s respectivamente.

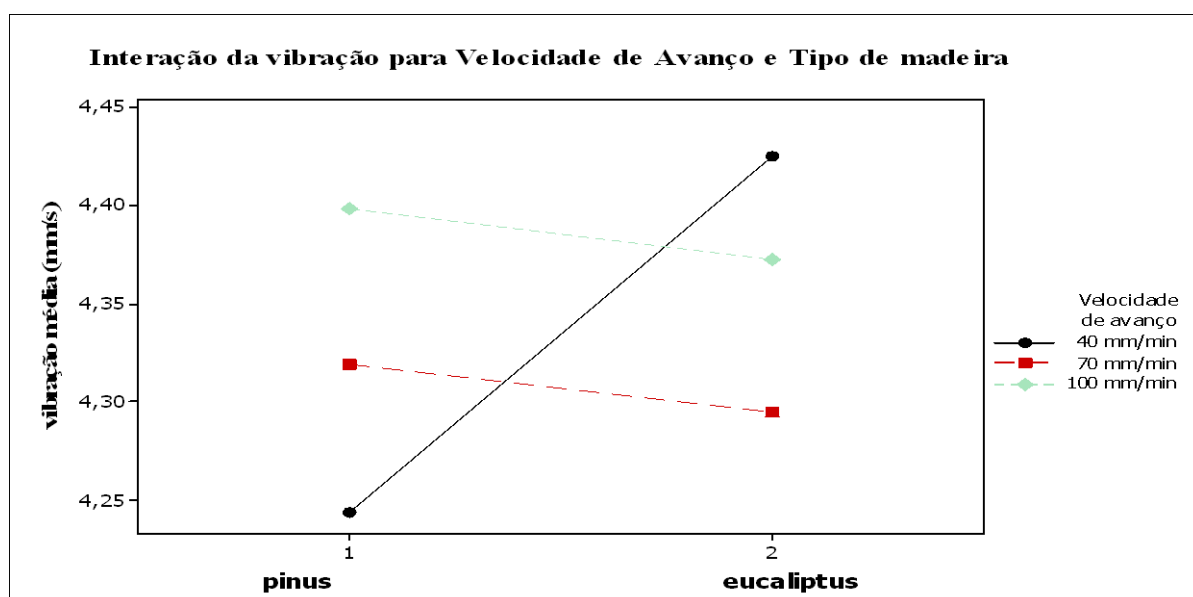
Figura 67. Valores de vibração para velocidade de avanço e tipo de ferramenta



Fonte : (Elaborado pelo Autor).

Para v_f -100 as condições são semelhantes à v_f -70, mas em valores de 4,40 mm/s de vibração para a madeira de pinus e de 4,37 mm/s da adquirida pela madeira de eucaliptus, descritos mais precisamente pela Figura 68. Para os dois tipos de madeira utilizados, mantendo o pinus com valores levemente superiores aos de eucaliptus, o que se manteve por enquanto em a_p 1,0 mm, onde houve uma equiparação dos valores as ferramentas e madeiras com diferença de superioridade de vibração com o pinus spp.

Figura 68. Valores de vibração em relação à velocidade de avanço e tipo de madeira



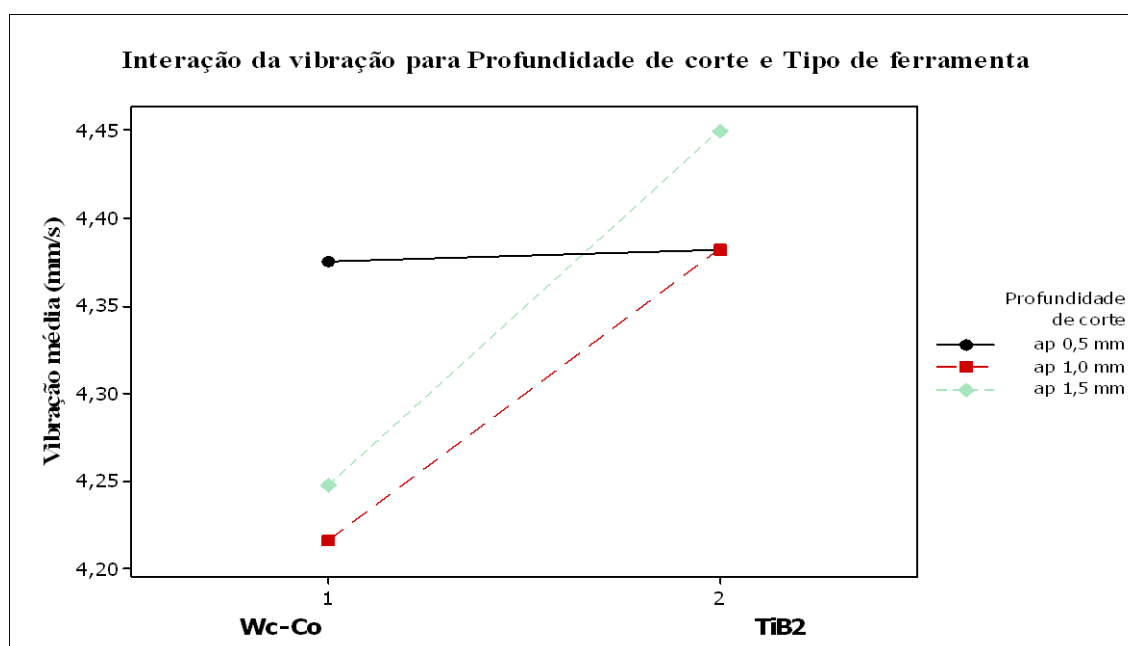
Fonte : (Elaborado pelo Autor).

Já no ultima profundidade de corte testada para o avanço de 40 mm/min, com uma inversão de valores bastante expressiva em a_p -1,5 mm onde a madeira de pinus teve vibração inferior ao de eucaliptus para aplicação da ferramenta de Metal duro polido, mas foi bastante superior para o eucaliptus no caso da aplicação da ferramenta de diboreto de titânio, apresentado na Figura 69.

Com relação à profundidade de corte e sua integração com o tipo de madeira aplicada é possível ver a atuação de a_p -0,5 mm com uma vibração maior para a madeira de eucaliptus, mesma condição para a condição em a_p -1,0 mm com uma diferença significativa de vibração entre as duas profundidades.

Em a_p -1,5 mm ocorre a maior diferença entre elas colocando a madeira de pinus com vibração em 4,30 mm/s enquanto que o eucaliptus apresentou vibração de 4,40 mm/s, descritos na Figura 70.

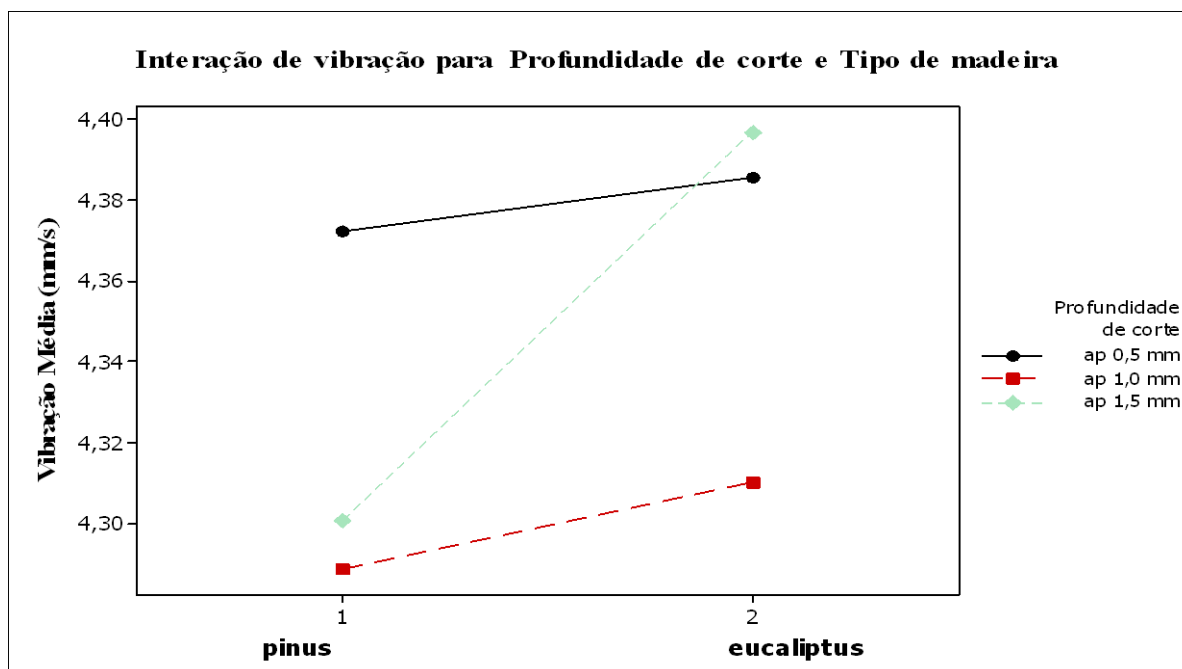
Figura 69. Valores de vibração ara profundidade de corte e tipo de ferramenta



Fonte : (Elaborado pelo Autor).

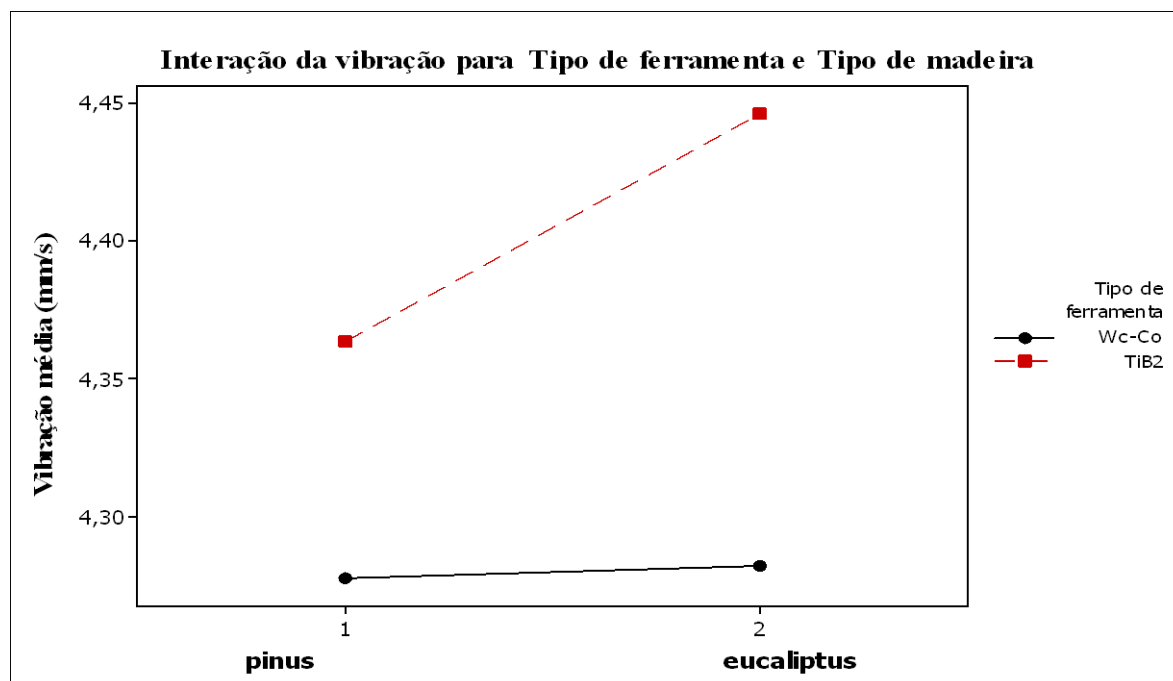
Com a relação entre ferramentas de corte e tipo de madeira, a análise de vibração mostra nitidamente a ação da ferramenta de Metal duro polido, mantendo estável e com uma diferença mínima de vibração entre as espécies estudadas dando um nível um pouco mais elevado de vibração para o eucaliptus spp. A ferramenta de TiB_2 mantém a indicação do eucaliptus, mas em patamares bem mais elevados, como visto no indicador de vibração de 4,35 mm/s para pinus e 4,45 mm/s para a madeira eucaliptus, detalhes que são possíveis de averiguar na Figura 71.

Figura 70. Valores de vibração para profundidade de corte e tipo de madeira



Fonte : (Elaborado pelo Autor).

Figura 71. Valores de vibração entre o tipo de ferramenta e tipo de madeira

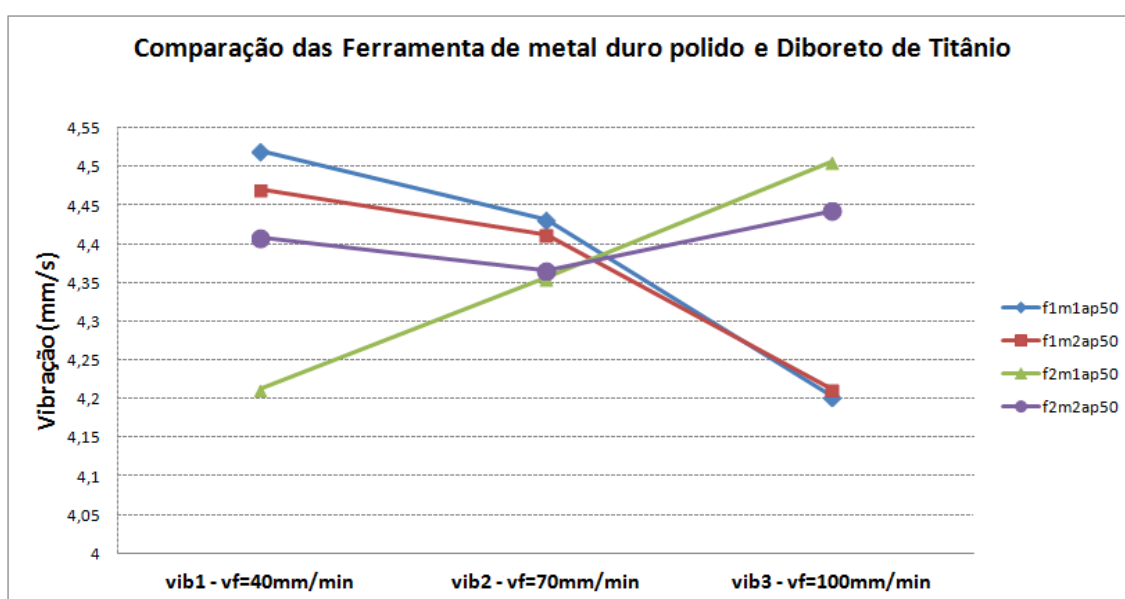


Fonte : (Elaborado pelo Autor).

Vibrações desta natureza são extremamente maléficas para usinagem em geral, e uma alternativa que comprova eficácia no controle de vibração ou ruído irradiado pelo sistema tem sido conseguido através dos chamados neutralizadores dinâmicos de vibração ou absorvedores de vibração, que acoplados aos sistemas primários mecânicos ou estruturais funcionam muito bem. Nos dados gerados em Excel, as interações também descrevem os mesmos valores adquiridos por Minitab 16. O confronto dos dados pelos gráficos gerados em MS Excel mostram mais nitidamente os efeitos profundidades de 0,5; 1,0 e 1,5 mm em função da ferramenta de corte e avanço de corte nos dão uma ideia do que ocorre em cada intervalo do experimento.

Para a comparação em profundidade de 0,5 mm, os valores de vibração sofrem uma inversão interessante durante o processo, como é mostrado na Figura 75, onde combinações com metal duro polido iniciam com valores de vibração bem maiores, com o aumento do avanço eles vão diminuindo significativamente até chegar a 4,2 mm/s, enquanto que as combinações que utilizam TiB_2 segue o caminho inverso, como pode ser visto na Figura 72.

Figura 72. Comparação das ferramentas em função da vibração com ap 0,5 mm

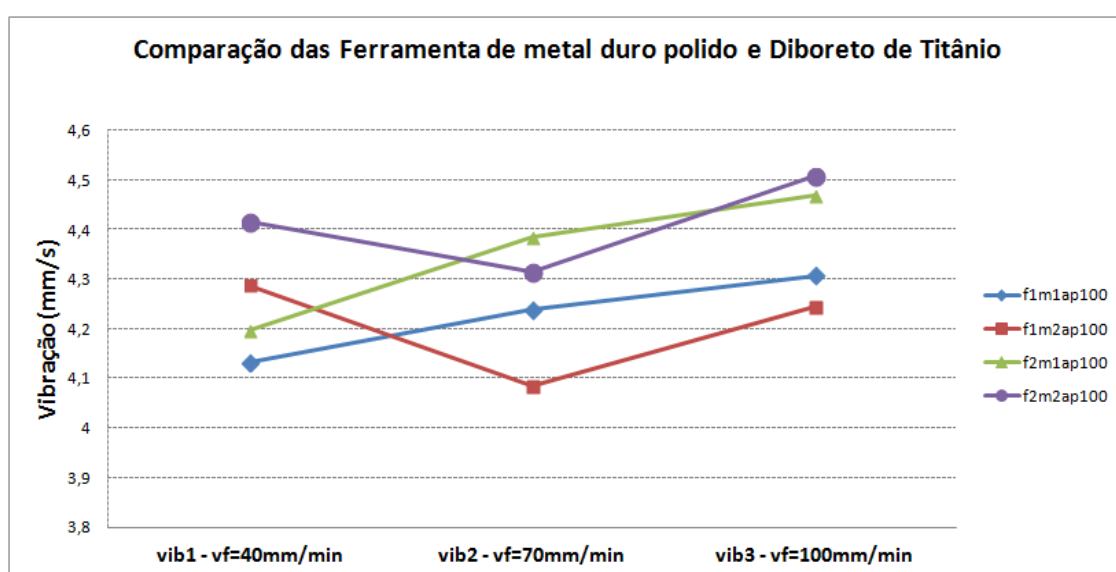


Fonte : (Elaborado pelo Autor).

Para a condição de profundidade de 1,0 mm, as combinações de metal duro seguem uma tendência de ficarem com os menores valores médios da análise, bem abaixo das combinações que utilizam a ferramenta revestida, seguem variando conforme vai ocorrendo o aumento da velocidade de avanço entre 4,1mm/s e 4,3 mm/s, enquanto que as demais chegam à atingir 4,5 mm/s com a velocidade de avanço em cerca de 100 mm/s, conforme pode ser visto na Figura 73.

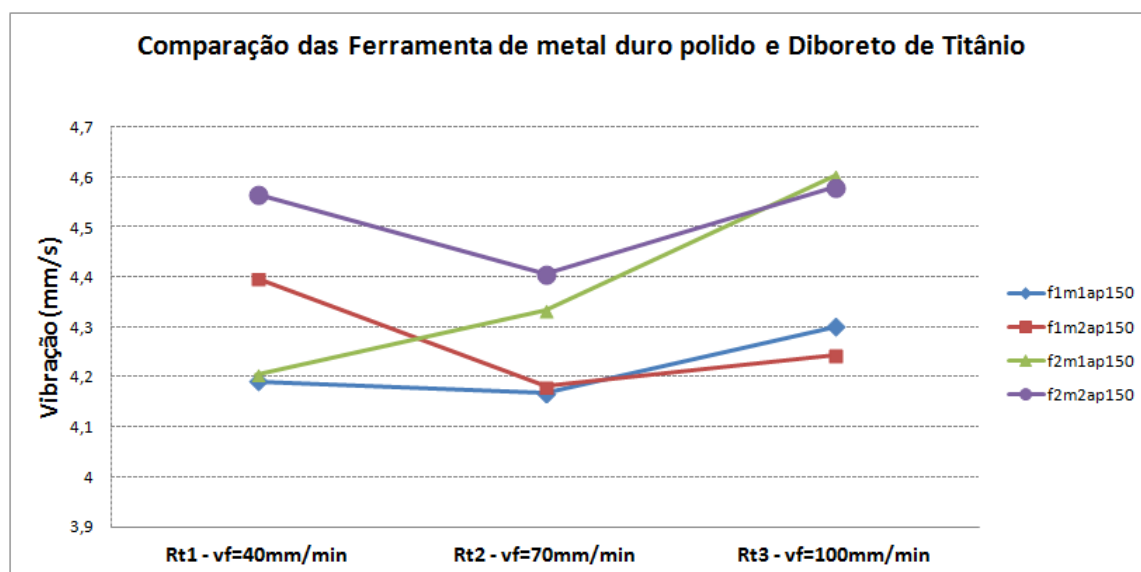
Na condição onde a profundidade de corte é de 1,5 mm ocorre uma inversão de sentido, e as ferramentas de corte com revestimento passam a produzir uma vibração ligeiramente superior, alcançando cerca de 4,45 mm/s enquanto que as ferramentas com superfície polida oscila até fechar com valores de 4,2 mm/s para a combinação de pinus e metal duro (f1m1) e em 4,15 mm/s para o metal duro polido e a madeira de eucaliptus (f1m2). Os detalhes destas interações podem ser verificadas na projeção da Figura 74, com as condições de profundidade e e velocidade de avanço estabelecidas.

Figura 73. Comparação das ferramentas em função da vibração com ap 1,0 mm



Fonte : (Elaborado pelo Autor).

Figura 74. Comparação das ferramentas em função da vibração com ap 1,5 mm



Fonte : (Elaborado pelo Autor).

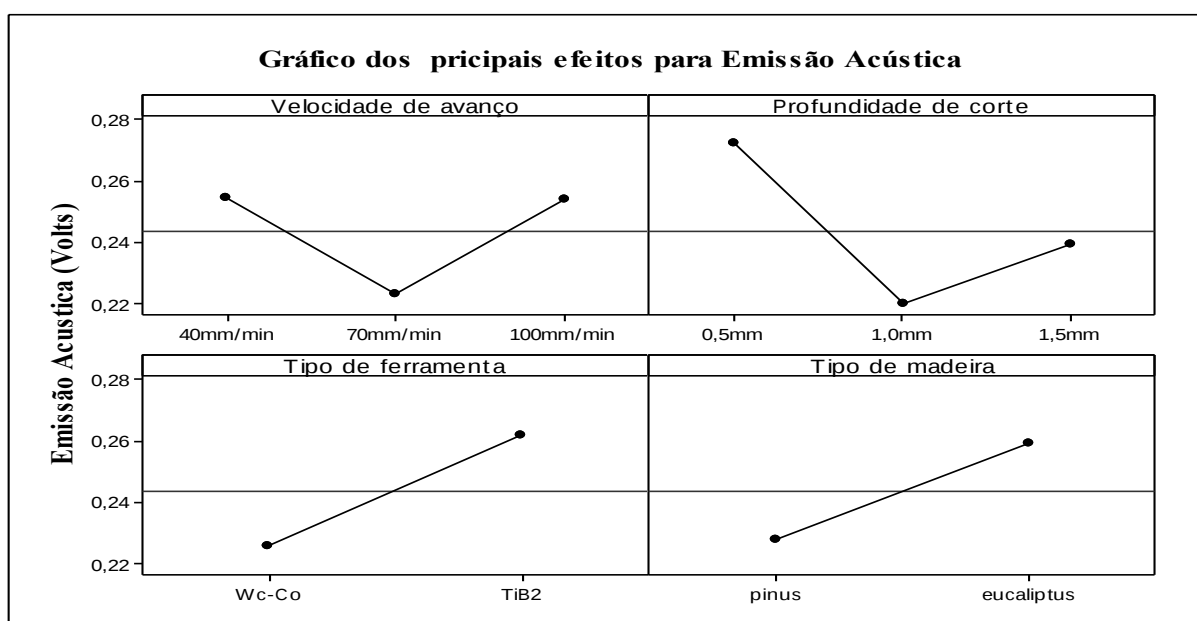
A relação direta entre o tipo de madeira e a velocidade de avanço coincide com as análises de Souza & Schroeter. No caso específico deste projeto, onde a madeira de pinus mostra uma redução do efeito vibratório em relação à ação da velocidade de avanço $v_f=40$, a uma média de 4,25 mm/s para m1 enquanto m2 ou eucaliptus que mostrou vibração próxima a 4,43 mm/s.

4.6. Resultados de emissão acústica no torneamento de madeira

Na análise dos efeitos principais de emissão acústica para os quatro parâmetros avaliados, percebe-se uma semelhança de comportamento entre vibração e da emissão através da velocidade de avanço descrita em RMS ou volts, pois onde a vibração para os índices que se repetiram com os efeitos de emissão acústica, de modo que onde ocorreu maior vibração, também ocorreu aumento da emissão acústica. A profundidade $a_p=0,5$ mm obteve maior índice de emissão acústica, enquanto em $a_p=1,5$ mm ocorreu a menor emissão registrada durante o procedimento.

Para as ferramentas de corte a ferramenta revestida registrou um índice bem maior de emissão que a ferramenta de metal duro polida. Quanto ao tipo de madeira, o eucaliptus mais denso apresentou valores de emissão acústica superiores à madeira de pinus, como destacada na Figura 75.

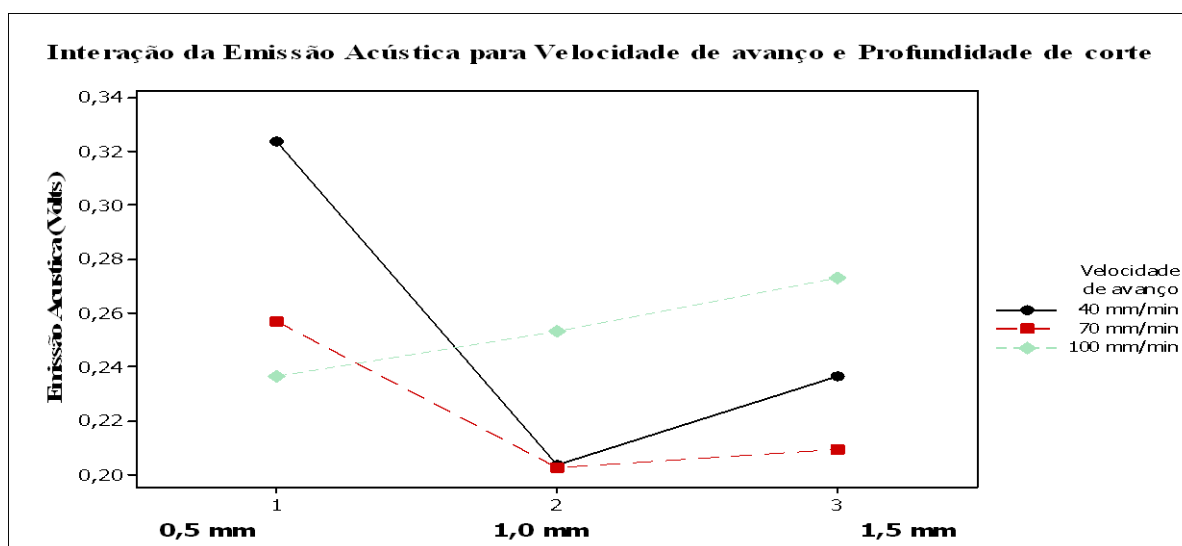
Figura 75. Valores e Efeitos principais para Emissão Acústica



Fonte : (Elaborado pelo Autor).

Para as condições de velocidade de avanço e profundidade de corte tem-se que uma profundidade de a_p 0,5 mm a uma velocidade de avanço v_f 40 mm/min ocorre o decréscimo bastante expressivo até a_p 1,0 e voltando a se elevar para a_p 1,5 mm. A variação segue menos expressiva em v_f 70 decrescendo de a_p 0,5 até a_p 1,0 e voltando a aumentar em a_p 1,5. Já para v_f 100 ocorre ao inverso em uma ascendente de a_p 0,5 até a_p 1,5 mm como expresso na Figura 76.

Figura 76. Valores de Emissão Acústica para velocidade de avanço e profundidade de corte

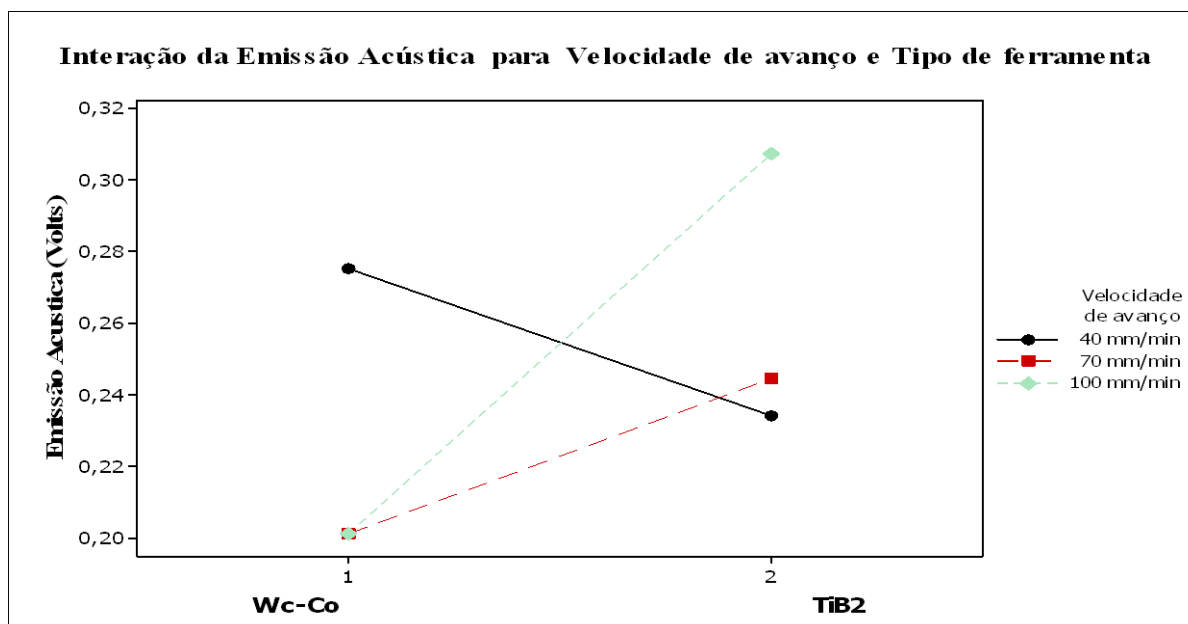


Fonte : (Elaborado pelo Autor).

Para as condições de velocidade de avanço e tipo de ferramenta, enquanto que para v_f 40 mostrados no Figura 77, tem-se o maior valor de emissão com Metal duro polido quando v_f é de 40 mm/min e nas outras condições de v_f 70mm/min e v_f 100 mm/min nota-se uma ligeira inversão dos valores em que a ferramenta de diboreto de titânio apresenta maiores índices de emissão Acústica para 70 e 100 mm/min. Na análise de velocidade de avanço e tipo de madeira mostram valores de emissão de 0,20 Volts para pinus e 0,31 Volts para a madeira de eucaliptus.

O eucaliptus em v_f de 40 mm/min apresenta 0,21 Volts e em v_f 100 mm/min, apresenta 0,25 Volts enquanto o pinus apresenta 0,23 Volts e 0,26 Volts respectivamente, conforme a Figura 78.

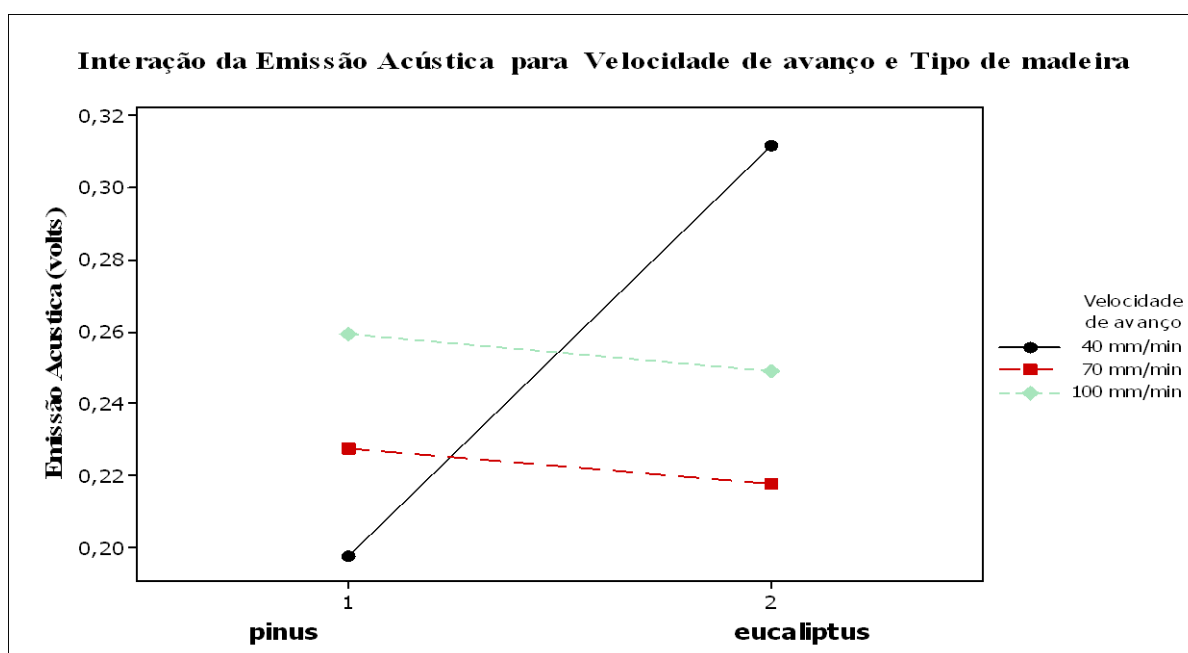
Figura 77. Valores de Emissão Acústica para velocidade de avanço e tipo de ferramenta



Fonte : (Elaborado pelo Autor)

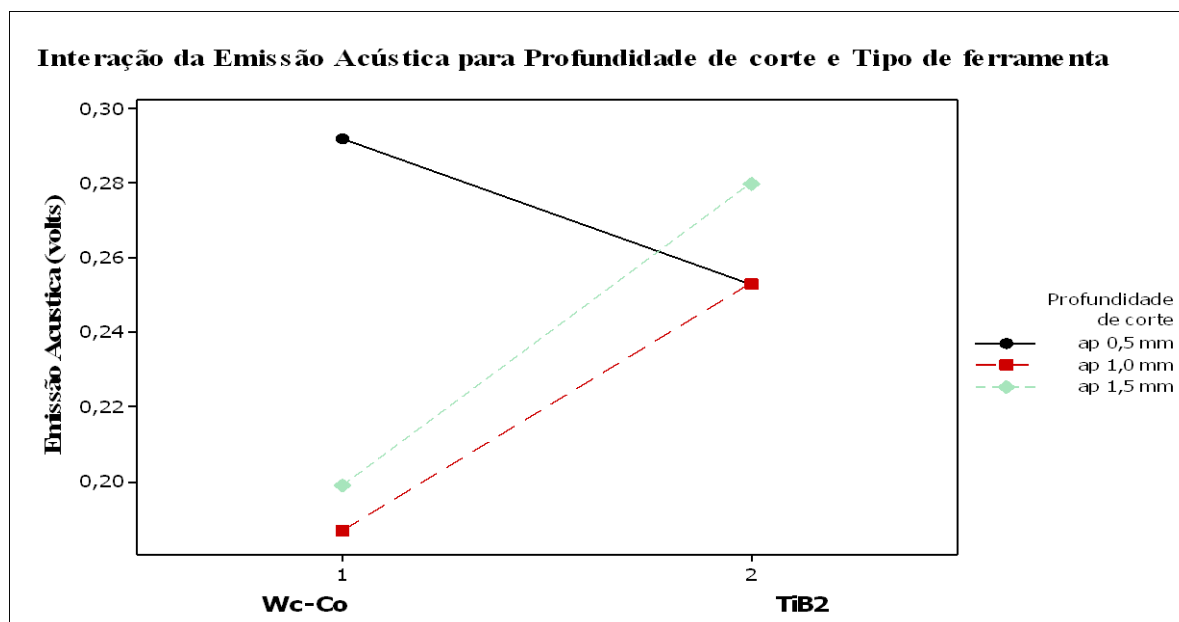
Para variação da emissão em relação a profundidade de corte para o tipo de ferramenta utilizado, a situação onde a emissão é mais elevada esta em ap de 0,5 mm para a ferramenta de metal duro , e Já nas profundidades de a_p -1,0 e a_p -1,5 os valores são mais elevados para a ferramenta de TiB_2 , conforme valores de emissão expressos na Figura 79.

Figura 78. Valores de Emissão Acústica para velocidade de avanço e tipo de madeira



Fonte : (Elaborado pelo Autor)

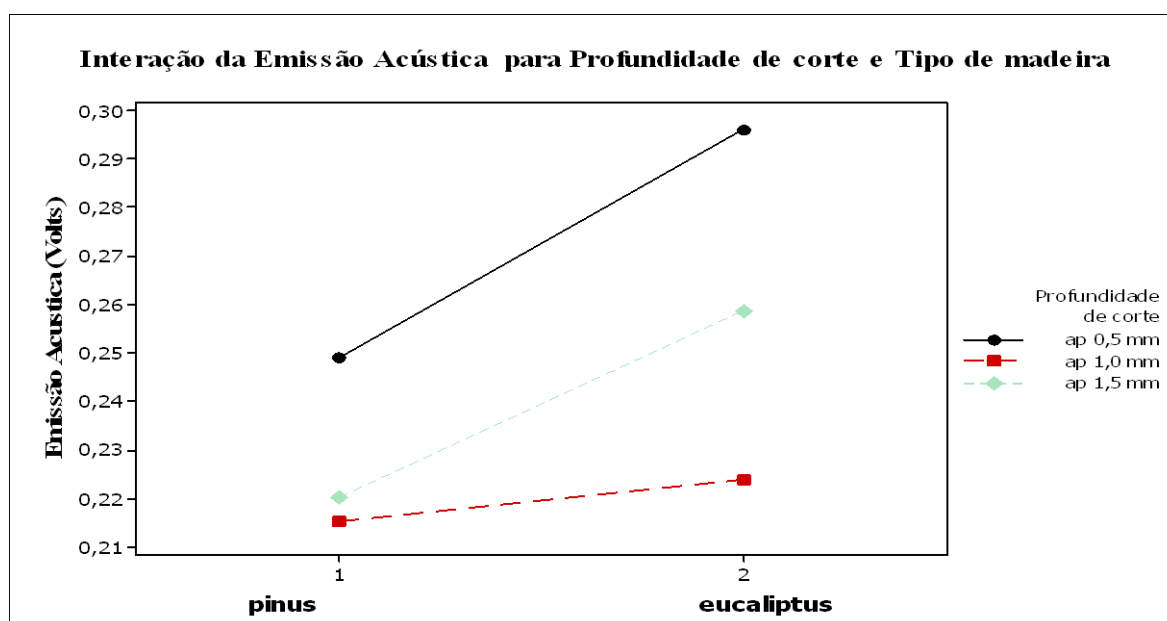
Figura 79. Valores de emissão acústica para profundidade de corte e tipo de ferramenta



Fonte : (Elaborado pelo Autor)

Com relação a profundidade de corte e tipo de madeira, tem-se em todas as situações impostas, nota-se uma maior emissão Acústica para a madeira de eucalipto em relação à madeira de pinus na condição ap-0,5 mm a uma proporção de 0,25 Volts e 0,30 Volts respectivamente, detalhados na Figura 80.

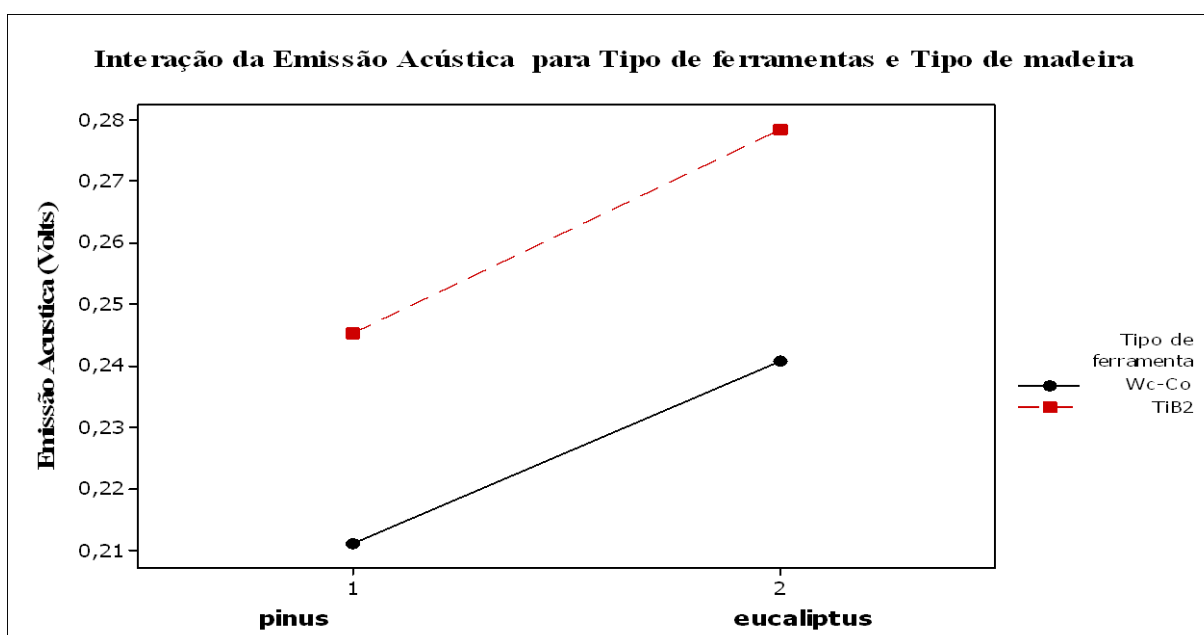
Figura 80. Valores de emissão acústica para profundidade de corte e tipo de madeira



Fonte : (Elaborado pelo Autor)

Quanto à emissão Acústica gerada entre os tipos de ferramenta e tipos de madeira, é possível verificar na Figura 81, uma certa estabilidade e valores mais uniformes na emissão para os dois materiais, tendo na ferramenta de TiB_2 a condições de maior emissão com 0,24 Volts para a madeira de pinus ,enquanto a madeira eucaliptus obteve algo em torno de 0,28 Volts, e para a ferramenta de Metal duro polido a mesma linha, tendo o pinus com 0,21 Volts enquanto o eucaliptus registrou 0,24 Volts.

Figura 81. Valores de emissão acústica comparando tipo de ferramenta e tipo de madeira

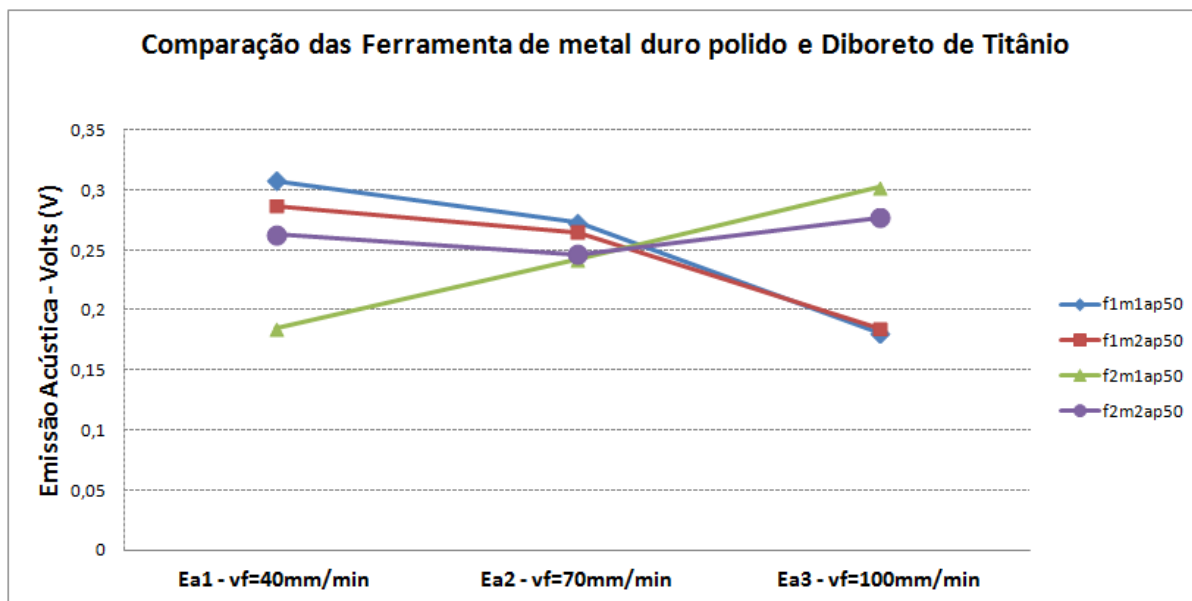


Fonte : (Elaborado pelo Autor)

Os dados compilados pela plataforma Excel não ficaram fora do que foi gerado pela plataforma Minitab 16 , e os valores presentes nos graficos á seguir transmitem uma idéia mais precisa do que ocorreu durante a operação de torneamento.

Com relação a comparação dos valores gerados, é possível notar que as ferramentas de corte com revestimento cerâmico iniciam com uma emissão acústica bem menor na condição de profundidade de corte de 0,5 mm, mas no decorrer do experimento, vai se elevando para valores bem maiores à medida que a velocidade de avanço vai mudando conforme pode ser visto na Figura 82, possivelmente pelo atrito em contato com a superfície da madeira e demais fatores ,como sinuosidade presente na superfície ou gerada durante o contato da ferramenta e do material usinado.

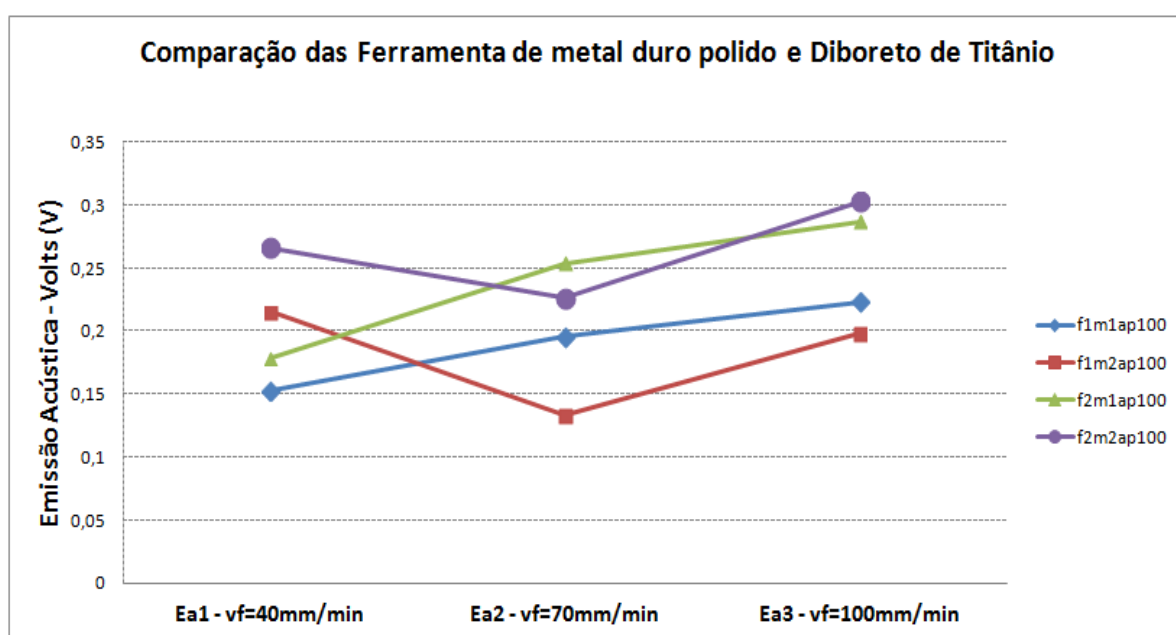
Figura 82. Comparação Emissão Acústica e ferramentas com a_p de 0,5 mm



Fonte : (Elaborado pelo Autor)

Já na Figura 83, quando utilizada a profundidade de corte de 1,0 mm, a ferramenta com revestimento de TiB_2 se coloca desde o início com os valores de emissão Acústica acima do que é gerado pelas ferramentas de Metal duro polido para todas as variações da velocidade de avanço estabelecida, com destaque para a combinação de eucalipto e metal duro ($f1m2$) que chegam a trabalhar abaixo de 0,15 Volts quando a velocidade de avanço passa para 70 mm/min.

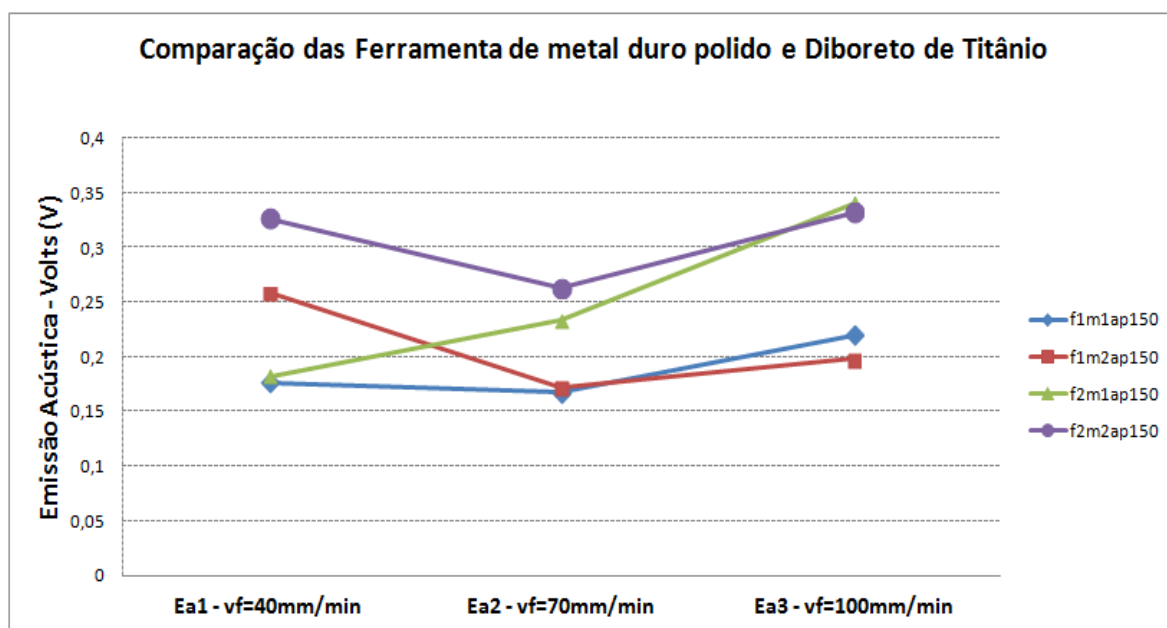
Figura 83. Comparação função da Emissão Acústica e ferramentas com a_p de 1,0 mm



Fonte : (Elaborado pelo Autor)

Na ultima condição a ser avaliada, com a profundidade de 1,5 mm é possível notar que as combinações com a ferramenta de TiB_2 apresentaram os valores de emissão Acústica, principalmente quando velocidade de avanço ultrapassa os 70 mm/min, tendo a melhor condição para a combinação de metal duro polido e pinus (f1m1), que podem ser analisadas na Figura 84.

Figura 84. Comparação da Emissão Acústica e ferramentas com a_p de 1,0 mm



Fonte : (Elaborado pelo Autor)

Desta forma, os dados em Excel reproduzem de maneira mais pratica a comparação entre os valores de emissão acústica para as quatro interações entre ferramenta, madeira e profundidades de corte em 0,5 mm, 1,0 mm e 1,5 mm. Mesmo na pior das condições, a madeira de pinus influenciou mais do que ao tipo de ferramenta, que iniciava em valores menores com o metal duro polido, e em maiores velocidade de avanço, a ferramenta de diboreto de titânio apresentou resultados levemente superiores influenciou significativamente nos resultados.

Para Iskra & Tanaka (2005), intensidade sonora e rugosidade da superfície podem estar fortemente correlacionadas, independentemente da taxa de alimentação imposta. Oposto a isso, a intensidade do som pode ter sua intensidade dobrada com duplicação da largura de corte, enquanto que a rugosidade da superfície pode não aumentar na mesma proporção. Os resultados aquistados sugerem que a medição da emissão acústica é um método bastante útil para o monitoramento da rugosidade da superfície e também para determinar as taxas de alimentação ideais para cada processo de torneamento de madeira, respeitando as condições de trabalho idênticas a fim de garantir integridade dos dados captados.

5. CONCLUSÃO

A precisão dos resultados obtidos comprova a eficácia da instrumentação do sistema para aquisição segura e uso do cabeçote e sensores acoplados correspondeu tranquilamente às expectativas, tendo em vista que a filtragem simultânea dos valores de emissão acústica, vibração e potência consumida ocorreram sem maiores problemas.

A ferramenta produzida somente com metal duro polido mostrou-se pouco eficiente às baixas velocidades de avanço, mas à medida que esta velocidade era aumentada ocorreu a tendência conjunta de diminuição da rugosidade das peças torneadas.

As ferramentas de metal duro polidas apresentaram variações interessantes, que podem estar diretamente relacionadas com o polimento superficial que a manteve estável quando submetida a variações das velocidades de avanços de corte ou pela ação da temperatura conforme se varia a profundidade de corte à que foram submetidas. A ferramenta com recobrimento de diboreto de titânio não influenciou na rugosidade média, mas proporcionou menores valores de rugosidade total (R_t), além de ter apresentado menor consumo de potência, entretanto, apresentou elevação nos valores captados para vibração e emissão acústica, com leve tendência de diminuição da rugosidade com o aumento da velocidade de avanço.

Não houve um resultado muito expressivo que possa colocar uma ou outra ferramenta como sendo melhor dentro de uma variação máxima de 5 μm entre elas, mesmo na pior condição de torneamento apresentado, o que de certa forma pode estar mais ligados à densidade da madeira, ou variações entre profundidade de corte e velocidade de avanço.

Quanto à madeira utilizada, resultados demonstram que a madeira de pinus precisou de uma maior potência de corte com relação à madeira de eucaliptus, mas foi à madeira de eucaliptus quem apresentou maior vibração e maior emissão acústica diante dos resultados obtidos.

Quanto às velocidades de avanço testadas, não há qualquer relação aparente entre a vibração e a velocidade de avanço do processo de torneamento da madeira de Pinus. No entanto, com relação às velocidades de corte, há uma tendência de que ocorra maior vibração do eucaliptus, possivelmente pela formação de cavacos mais quebradiços e de desprendimento mais rápido.

Com relação à potência de corte, as variações estão totalmente divergentes em relação à maior consumo de potência para a madeira de pinus em relação à madeira de eucaliptus, e isso pode ter relação com a variação de espécie utilizada de forma aleatória ou do equipamento de captação ou alguma falha que possa ter ocorrido na coleta dos dados, carecendo novos testes para que haja uma leitura mais segura das informações.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Acrescentar de madeiras nativas no experimento, além de testes de resistência mecânica com a comparação de ferramentas de metal duro e ferramentas diamantadas no corte de madeira.
- Verificar o comportamento das ferramentas revestidas para usinagem de diferentes espécies de madeira, variando a taxa de umidade e com comparar as análises por de rugosímetro e sistemas de detecção óticos para medição da rugosidade vibração e emissão acústica das peças.
- Desenvolvimento de sistemas semelhantes para aquisição de dados em tornos industriais, fresadoras e lixadeiras voltados para o processamento de madeira em geral.

7. BIBLIOGRAFIA

7.1 bibliografias Utilizadas

AGUIAR, A. V. D., SOUSA, V. A. D., FRITZSONS, E. , & PINTO JUNIOR, J. E., **Programa de melhoramento de pinus da Embrapa Florestas**, (2011).

AGUILERA, A.; MARTIN, P., **Machining qualification of solid Wood of Fagus silvatica and Picea excelsa: cutting forces Power requirements and surface roughness**. Holz als Rohun Werkstoff, Berlín, v. 59, n. 6, p. 483-488, Dec. 2001.

AGUILERA, A.; MUÑOZ, H. **Rugosidad superficial y potência de corte en el cepillado de acacia melanoxylon y sequoia sempervirens. Maderas**. Ciencia Y Tecnología, Concepción, v. 13, n. 1, p.19-28, 2011.

ALBUQUERQUE, C. A. C. de., **Material Empregado na Confecção de Ferramentas de Corte**. Revista da Madeira – Ed. Nº 140 - Outubro de 2014.

ALI S. M., DHAR N. R., **Tool Wear and Surface Roughness Prediction using an Artificial Neural Network (ANN) in Turning Steel under Minimum Quantity Lubrication (MQL)**. International Science World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol: 4 nº10 - 2010.

ALMEIDA, A. L. D. M. **Estudo do fresamento de madeiras em centro de usinagem CNC**. Trabalho de Graduação do curso de Eng. Industrial Madeireira. Itapeva-SP, 2013.

ALMEIDA, D. H. DE M. SCALIANTE, R., MACEDO, L. B., MOLINA, J. C., CHRISTOFORO, A. L., & JUNIOR, C. C., **Resistência ao impacto na flexão de madeiras nativas e de reflorestamento**. *Madeira: arquitetura e engenharia*, 12(31), pags. 29-36 (2013).

ALVES, R. C., MARTINS T., CARRASCO E. V. M., **Influencia da densidade na velocidade de propagação de ondas em sete espécies de madeiras tropicais**. Natural rescues, vol. 3, nº1, section Produção Florestal-www.arvore. Org.br., (2013)

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

ARAUJO, H. J. B. D., **Agrupamento das espécies madeireiras ocorrentes em pequenas áreas sob manejo florestal do Projeto de Colonização Pedro Peixoto (AC) por similaridade das propriedades físicas e mecânicas** (2002).

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS 1666-87: **standard method for conducting machining tests of Wood and Wood base materials**. Philaladelphia, 1995. 245 p, 1987.

- BAENA, E. De S. **Análise da viabilidade econômica da resinagem em *Pinus elliottii* Elgelm. Var *elliottii* nas regiões Sul do Estado do Paraná e Sul e Sudoeste do Estado de São Paulo**. 94 p. Curitiba. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, UFPR- Universidade Federal do Paraná, 1994.
- BANDINI, C. M. D. **Influência da geometria de corte no torneamento do eucaliptus spp.** Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de mesquita Filho”, Campus Experimental de Itapeva, 2012. 59 f..
- BAPTISTA, A. L. B., “**Aspectos metalúrgicos na avaliação da usinabilidade de aços**”, Revista escola de minas, 3p. , Ouro Preto, MG, 2002.
- BARBOUR, J., “**Wood quality**”. Encyclopedia of Forest Science, p1840-1846, 2004.
- BAVASTRI, C. A., POLLI, M. L., PRESEZNIAK, F. A., & VENANCIO, H. W. **Controle Ótimo de Vibrações Autoexcitadas em Processos de Usinagem Usando Neutralizadores Dinâmicos Visco elásticos- 2006**.
- BERTOLA, A. **Eucaliptus - 100 Anos de Brasil**. “FALÉM MAL, MAS CONTINUEM FALANDO DE MIM!”. 2004. 89p.
- BEZERRA, D. C., & MACHADO, I. F., **Avaliação do Efeito da Velocidade de Corte nos Esforços de Usinagem e no Acabamento Superficial de um Aço ABNT 1045**. In *CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO* (Vol. 2) (2007).
- BORTOLETTO JÚNIOR G., **Estudo de algumas propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Pinus merkusii***. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 36, n. 79, p. 237-243, set. 2008.
- BORTOLETTO JUNIOR, G. **Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus merkusii* para produção de lâminas**. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 36, n. 78, p. 95-103, 2008.
- CABRAL, S. C., **Sinterização de Compósitos Superabrasivos no Sistema TiB_2 - AiN assistidos por altas pressões e altas temperaturas**. Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes-Rj, 2012. 120 f.
- CAMARGO, M. B. **United States markets for Brazilian plantation Wood**. World Forestry Institute, 2008. 36 p. Acesso em: 05/11/2014.
- CANTI, T., **O móvel do século XIX no Brasil**. CGPM, Rio de Janeiro (1988).
- CARPINETTI, L. C. R. **Rugosidade superficial: conceitos e princípios de medição**. Apostila. São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. 2000. 51 p.
- CARPINETTI, L. C. R.; GONÇALVES FILHO, E. V.; PORTO, A. J. V.; JASINEVICIUS, R. G., **Rugosidade Superficial: Conceitos e Princípios de Medição**. São Carlos: Apostila, pp. 51, Seção de Publicações da EESC-USP, 1996.

- COELHO, C., CARVALHO, L., MARTINS, J. , COSTA, C., MASSON, D., & MÉAUSOONE, P. J., **Estudo dos Efeitos dos Parâmetros de Maquinação da Madeira nas Características Objectivas e Percepção Subjectiva de um Acabamento.** In *5º Congresso Florestal Nacional “a Floresta e as Gentes* (p16-19)” (2005).
- COSTA, D. D. da; PEREIRA, A. G., **Desenvolvimento e avaliação de uma tecnologia de baixo custo para programação CNC em pequenas empresas.** *Revista Produção*, v. 16, n. 1, p. 048-063, Jan./Abr. 2006.
- DIAS JÚNIOR, A. F., de CARVALHO, A. M., dos SANTOS, P. V., & da SILVA, M. A. **Usinagem da madeira de cinco espécies nativas brasileiras.** *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, (2014). 18f.
- DINIZ, A. E. , MARCONDES, F. C., COPPINI, N. L., **“Tecnologia da usinagem dos materiais”**, Artiber Editoria Ltda. 5. Ed. - SP- Brasil, 4ª Edição, 2006. 255 p..
- DOBES, J. , & LEAL, J. E. S., **Fontes de Erro na medição da Rugosidade.** 12th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology Guayaquil, Ecuador, 2014.
- DOMINGOS, F. C., DE FREITAS, S. V. D. C., & NETO, V. M. **Análise Metrológica DE Rugosímetros.** 3º CIMEC, 2014.
- DOSSA, D., SILVA, H. D. D., BELLOTE, A. F. J. , & RODIGHERI, H. R. (2002). **Produção e rentabilidade do Eucalyptus em empresas florestais.** Relatório Anual Embrapa florestas, em biblioteca florestal. Ufv. Br. 2002.
- ETT G. **Estudo eletroquímico da co-redução de KBF_4 e k_2TIF_6 em meio de uma mistura eutética de lif-naf-kf para a obtenção do diboreto de titânio (tib_2).** Tese de Doutorado em Ciências na Área de Reatores Nucleares de Potência e Tecnologia do Combustível Nuclear. IPEN-USP, São Paulo - SP 1999.
- FARIAS, M. G., WEINGAERTNER, W. L., & HOFFMEISTER, H. W. **Análise sobre a vida da ferramenta de metal duro no fresamento em altas velocidades de eucalyptus grandis e eucalyptus dunnii.** 1º COBEF, Curitiba – PR -Brasil, (2001).
- FERNANDES, J. A., CASANOVA, C. A. M., TEIXEIRA, C. R., & BALZARETTI, N. M. **Ferramentas diamantadas para usinagem de madeira.** *Revista Estudos Tecnológicos-* Vol. 7, nº 1; pg. 55-70; jan/abr - 2011.
- FERRARESI, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais.** São Paulo: Edgard Blücher Ltda., v. 1- 751 pg., 1986.
- FERREIRA, M.; SANTOS, P. E. T. **Melhoramento genético florestal dos Eucalyptus no Brasil: breve histórico e perspectivas.** In: IUFRO Conference on Silviculture and Improvement of Eucalypts, Salvador. Anais. Colombo, Embrapa-CNPf, 1997. p. 14-34.
- FERREIRA, O. P. **Madeira: uso sustentável na construção civil.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas: Secretaria do Verde e do Meio Ambiente do Município de São Paulo: Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo, (2003).

- FLORIANO, E. P., SCHNEIDER, P. R., FINGER, C. A. G., & FLEIG, F. D. **Análise econômica da produção de *Pinus elliottii* na Serra do Sudeste, Rio Grande do Sul.** *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 393-406, out.-dez. 2010.
- FOELKEL, C. E. B., BRASIL, M. A. M., & BARRICHELO, L. E. G. **Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas.** *IPEF, Piracicaba*, 2(3), 65-74, (1971).
- GARCIA, C. H.; MORA, A. L. **A cultura de eucaliptus no Brasil.** São Paulo, Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000.
- GONÇALVES, M. T. T. **Processamento da Madeira.** Bauru-SP - USC, 242p, ISBN 85-901425-1-5. 2000.
- GONÇALVES, M. T. T. **Proposta de metodologia para medição dos esforços de corte na usinagem da madeira.** Tese Doutorado. São Carlos: EESC/USP. 1993, 249p.
- GONÇALVES, M. T. T.. **Processamento de usinagem à Comando Numérico Computadorizado (CNC) torneamento e fresamento.** 2010-87 f.
- GONÇALVES, M. T. T.; CAGNON, J. A.; TIBÚRCIO, U. F de O., SOUZA, A. J. D de. **Consumo de potência no torneamento cilíndrico de madeiras de eucaliptus.** In: EBRAMEM, 10°. São Pedro, SP, 2006. Anais. 2006.
- GONDIM, R. M., & DUARTE, M. A. **Monitoramento do Processo de Usinagem via Acabamento Superficial.** 16° POSMEC. FEMEC/UFU, Uberlandia - MG, 2006.
- GOSWAMI N., DAVE K.G., PRAJAPATI A.V., **Vibration Analysis of Lathe Machine.** GRA - Global Research Analysis. Volume: 2 - 2013 • ISSN N° 2277 – 8160.
- HASELEIN, C. R., CECHIN, E., & GATTO, E. J. S. D. A. (2000). **WOOD CHARACTERISTICS OF PLANTATION SLASH PINE AT AGE 30.** *Ciência Florestal, Santa Maria*, 10(2), 135-144.
- HUANG, M., JIANG, L., LIAW, P. K., BROOKS, C. R., SEELEY, R., & KLARSTROM, D. L. **Using acoustic emission in fatigue and fracture materials research.** *JOM*, 50(11), 1-14, (1998).
- ISKRA, P., & TANAKA, C. **The influence of wood fiber direction, feed rate, and cutting width on sound intensity during routing.** *Holz als Roh-und Werkstoff*, 63(3), 167-172, (2005).
- JAVOREK, L., HRIC, J., & VACEK, V., **The study of chosen parameters during sanding of spruce and beech wood.** *Pro Ligno, Brasov*, 2(4), 1-11, (2006).
- JÚNIOR, D. L., & COLODETTE, J. L. **Importância e versatilidade da madeira de eucaliptus para a indústria de base florestal.** *Pesquisa Florestal Brasileira*, 33(76), 429-438, (2013).
- KAWAMOTO, S.; WILLIAMS, R. S., **Acoustic emission and acoustic-ultrasonic techniques for wood and wood-based composites – A review.** Madison, WI: U.S.Department of Agriculture and Forest Service, Forest Products Laboratory. 16 p, 2002.

- KILIC, M.; HIZIROGLU, S.; BURDURLU, E. **Effect of Machining on Surface Roughness of Wood**. Building and Environment: 41: 1074-1078 2006.
- KIVIMA A. E. **Die Schnittkraft in der Holzbearbeitung. Holz als Roh- und Werkstoff**. v. 10, 3: S. 94-108, 1952.
- KOCH, P. **Wood Machining Processes**. New York: Ronald Press Company, p. 530, 1964.
- LIRA G. S. DE L., **Estudo preliminar da deposição de filmes duros por plasma em insertos de metal duro**. Monografia de Graduação em engenharia mecânica UFRN-CTN-UPEG. Natal, RN, 2013.
- LUCAS FILHO, F. C. **Análise da usinagem da madeira visando à melhoria de processos em indústrias de móveis**. Tese de doutorado, UFSC - Florianópolis – SC, (2004).
- LUNDBERG, I. Å. S.; PORANKIEWICZ, B. **Studies of non-contact methods for roughness measurements on wood surfaces**. Holz als Roh-und Werkstoff, v. 53, n. 5, p. 309-314, 1995.
- MACHADO, A. R. **Machining of Ti-6Al-4V and Inconel 901 with a High Pressure Coolant System"**, Ph.D. Thesis, University of Warwick, p. 288, 1990.
- MACHADO, A. R., **Teoria da usinagem dos materiais**. São Paulo, Blucher, p.397,2011.
- MALINOVSKI, R., & MALINOVSKI, J. **Colheita de pinus no Brasil. Revista da madeira-especial Pinus, Curitiba, 96-102**, (2002).
- MARCONDES, F. **O metal duro passado a limpo. O Mundo da Usinagem**, 2 Ed. Vol. 44, 20-23, (2008).
- MARTO, G. B. T.; BARRICHELO, L. E. G.; MULLER, P. H. Indicações para escolha de espécies de pinus. Revista da Madeira, Curitiba, v. 16, n. 99, p. 16-17, set. 2006.
- McKenzie, W. M., **Fundamental aspects of the wood cutting process**. Forest Products Journal. V.10, n. 9, 1965.
- MOSKOWITZ, D.; & PHILLIPS, C. W.; **U.S. Patent No. 4,859,124**. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, 1989.
- MUNRO, R. G., **Material Properties of Titanium Diboride**. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, 2000 - 105(5), 709-720.
- NAYLOR, A., HACKNEY F., **A review of wood machining literature with a special focus on sawing**. Bioresource, 8 (5). Pp. 3122-3135. ISSN 1930-2126, (2013).
- NOGUEIRA, J. L., RIBEIRO, M. V., **Sistema de gerenciamento de ferramentas de corte assistido por computador**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, Curitiba- PR. Anais- ABCM, 2001.
- NOVASKI, O. **Introdução à engenharia de fabricação mecânica**. E. Blucher, 129 p (1994).
- ORTIZ MANSILLA, R. O, BARADIT, E., & NAVARRETE, J. **Analysing variance for determining humidity content and measuring directional effect on ultrasound speed in pinus radiata D. Don Wood samples**. *Ingeniería e Investigación*, 29(3), 139-141.p., (2009).

- PINHEIRO, C.; **Efeitos do teor de umidade da madeira no fresamento de Pinus Elliottii**. Dissertação de mestrado- FEG- Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá- UNESP – GUARATINGUETÁ-SP, (2014).
- PINTAÚDE, G., FARIAS, M. C. M., KOHNLEIN, M., TANAKA, D. K., & SINATORA, A. **Desgaste abrasivo de ferramentas de corte utilizadas na indústria madeireira**. In *Congresso Nacional de Engenharia Mecânica- CONEM*, pp. 931-938, (2000).
- PIRATELLI FILHO, A., & Mecânica, D. E. **Rugosidade superficial**. *Seminário de Metrologia*, 3, (2011).
- PRYOR, L. D., & JOHNSON, L. A. S. **A classification of the eucalypts**. Canberra: Australian National University, 1971.
- RAMOS COELHO M. L., GOMIDE R. G., DE ANDRADE F. A., BRESSIANI. J. C. **Estudo da influência do teor de TIB₂, obtido pela reação in situ de B₄C E TIC, nas propriedades mecânicas de cerâmicas a base de B₄C**.
- RESENDE, M. D. V. **Melhoramento de essências florestais**. In: BORÉM, A. Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa: UFV, 1999. pp. 589-647.
- RITTER, E. F., & de FARIAS, J. B. S. **Estudo do Comportamento da Força de Corte e da Rugosidade no Torneamento de Compósito de Polipropileno com Casca de Arroz**. 6º CONGRESSO BRASILEIRO DE Engenharia DE Fabricação– Caxias do Sul – RS - 2011.
- RODRIGUES, A. R. **Estudo da geometria de arestas de corte aplicadas em usinagem com altas velocidades de corte**. Dissertação de Doutorado, Universidade de São Paulo, (2005).
- SALONI, D. E., LEMASTER, R. L., & JACKSON, S. D. **Abrasive machining process characterization on material removal rate, final surface texture, and Power consumption for wood**. *Forest products journal*, 55(12), 35-41, (2010).
- SANDAK J.; NEGRI, M. **Wood Surface Roughness - What Is It?** Publicado nos anais do 17º International Wood Machining Seminar, Rosenheim, 2005.
- SANDVIK COROMANT. **Ferramentas antivibratórias: soluções para o acabamento superficial de qualidade na operação de torneamento interno**. Revista o mundo da usinagem, 2014.
- SANT'ANNA, D. R., de OLIVEIRA GOMES, J. , & BORILLE, A. V. **Análise de vibrações em Processos de Usinagem**, (2011).
- SANTOS, S.C; SALES, W. F. **Aspectos Tribológicos da Usinagem dos Materiais**. São Paulo: Artliber Editora, 2007.
- SCHROETER, R. B., WEINGAERTNER, W. L., & MACEDO, S. E. M. **Análise de forças no fresamento de topo reto**. In *CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO-COBEF* (Vol. 1), (2001).
- SERPA, P. N., VITAL, B. R., DELLA LUCIA, R. M., & PIMENTA, A. S. **Avaliação de algumas propriedades da madeira de Eucalyptus grandis, Eucalyptus saligna e Pinus elliottii**. *Revista Arvore* 27(5), 723-733, (2003).

- SHIMIZU, J. Y. , **Pínus na Silvicultura Brasileira**. Embrapa florestas. Colombo-PR, 2009.
- SIQUEIRA, K. P., **Principais metodologias de medição de estado de superfícies**. Ciências Exatas e Naturais, v.5, n.2, p.203-210. 2003.
- SOUZA, A. J. D. de. , **Proposição de um novo método de medição do desgaste em ferramentas de corte empregadas em operações de fresamento da madeira**. 101 f. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica, FEG- Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, 2009.
- SOUZA, A. J. **Processos de Fabricação por Usinagem** – Parte 1. Apostila de Usinagem – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2011. 89p.
- SOUZA M. O. A; SILVA J. C.; DELLA LUCIA, R. M.; EVANGELISTA W. V. **Avaliação da madeira de Eucalyptus camaldulensis Dehnh e Eucalyptus urophylla S. T. Blake em ensaios de usinagem, visando à produção moveleira**. Revista árvore, vol. 33 nº 4, Viçosa – Mg, 2009.
- STEWART, H. A. **A comparison of tool materials, coatings, and treatments related to tool wear during wood machining**. *Forest products journal (USA)*, (1991).
- SULIMA, I., JAWORSKA, L., WYŻGA, P., PEREK-NOWAK, M., **The influence of reinforcing particles on mechanical and tribological properties and microstructure of the steel-TiB₂ composites**, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 48/1 (2011) 52-57.
- TANASOIU, V.; MICLEA, C.; TANASOIU, C. **Nondestructive testing techniques and piezoelectric ultrasonics transducers for wood and built in wooden structures**. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, v. 4, n. 4, p. 949-957, 2002.
- TARGA, L. A., BALLARIN, A. W., & BIAGGIONI, M. A. **Avaliação do módulo de elasticidade da madeira com uso de método não destrutivo de vibração transversal**. *Engenharia Agrícola*, 25(2), 291-299, (2005).
- TEIXEIRA, C. R., CASANOVA, C. A. M., FERREIRA FILHO, D., FERNANDES, J. A., & BALZARETTI, N. M. **Influência da Anisotropia da Madeira no Desgaste das Ferramentas Diamantadas**. 6º CONGRESSO BRASILEIRO DE Engenharia DE Fabricação– Caxias do Sul – RS – Brasil, (2011).
- TIBURCIO U. F. O., RIBEIRO M. V., GONÇÁLVES M. T. T., SOUZA A. J. D., **Análise do acabamento superficial na usinagem de madeiras**. REMADE. REVISTA DA MADEIRA - EDIÇÃO Nº123 (2010).
- TORRES, C. S.; SCHAEFFER, L., **Sinterização de METAL DURO POLIDO com Atmosfera de Argônio, Preparado em Moinho Atritor**. 18º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 24 a 28 de Novembro de 2008, Porto de Galinhas, PE, Brasil.
- VALVERDE, S. R., SOARES, N. S., SILVA, M. D., JACOVINE, L. A. G., & NEIVA, S. D. A. **O comportamento do mercado da madeira de eucaliptus no Brasil**. *Rev. Biomassa & Energia*, 1(4), 393-403, (2004).

VARANDA L. D. , ALVES MCS, GONÇALVES M. T. T, SANTIAGO L. F. F. **A influência das variáveis do lixamento tubular na qualidade das peças de Eucalyptus grandis.** Cerne 2010; vol.16: pags 23-32.

VICENTIN, G. C., de ÂNGELO SANCHEZ, L. E. , SCALON, V. L., DE MELLO, H. J., & ABREU, G. G. C. **Turning Tool-holder with Internal Cooling System Based on Change Phase of Fluid.** 20th International Congress of Mechanical Engineering November 15-20, 2009, Gramado- RS, Brazil.

7.2 bibliografias consultadas

ABAF- ASSOCIAÇÃO BAIANA DE EMPRESAS DA BASE FLORESTAL – **Relatório anual 2013** - <http://www.abaf.org.br> - consultado em janeiro de 2014

ABIMCI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE, Estudo setorial 2009 ano base 2008.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (Norma Brasileira NBR-7190) **Projeto de estruturas de madeira.** Rio de Janeiro, 1997.

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

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

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: **Projeto de estruturas de madeira.** Rio de Janeiro, 1997. 107p.

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-6405: **Rugosidade das superfícies.** Rio de Janeiro, 1988.

I. B. A - INSTITUTO BRASILEIRO DA ÁRVORE. **Relatório de indicadores da indústria Brasileira de árvores- ano 2013.** www.IBA.org- consulta em janeiro de 2014.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Madeira: uso sustentável na construção civil.** São Paulo, 2ª Ed, 99 p., 2009.

NORMA DIN 8580 – **DIN - Fertigungsverfahren.** Berlin: Beuth Verlag, 1985.

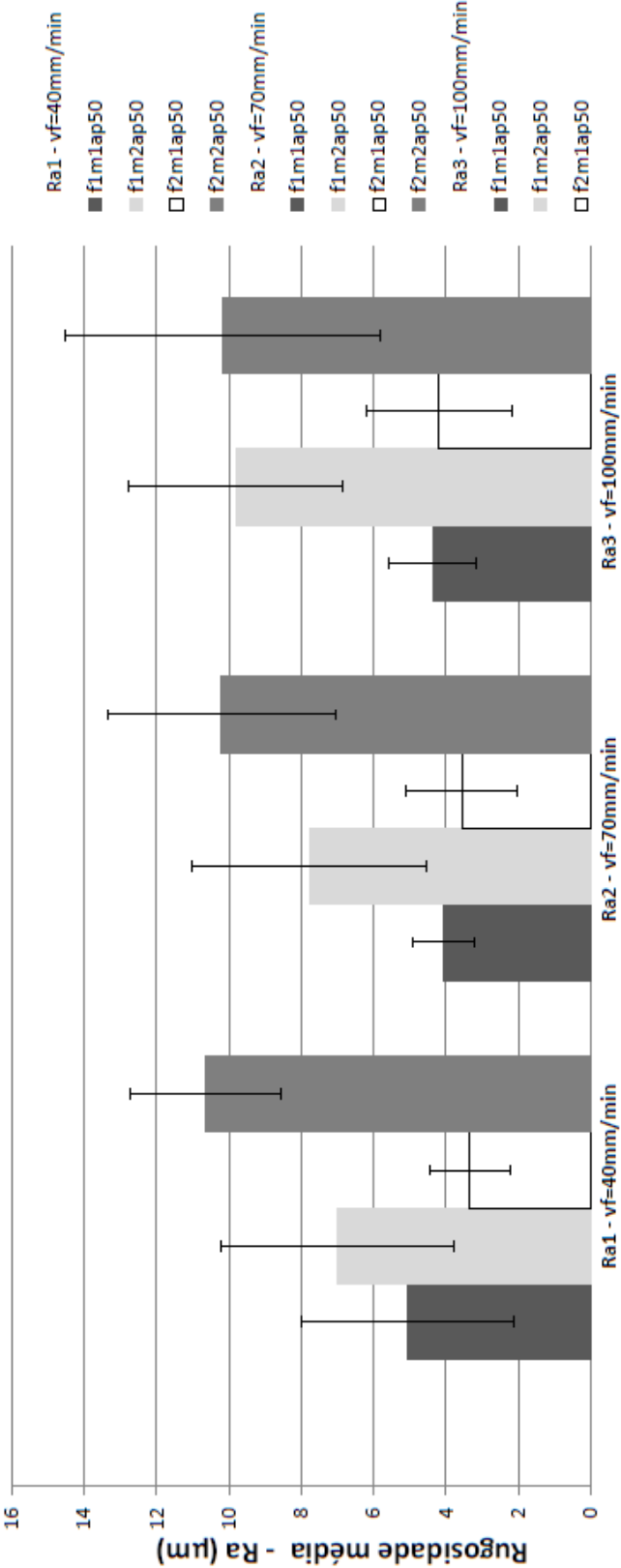
APÊNDICE A – Rugosidade Média Profundidade de 0,5 mm

Ensaio em Função da Rugosidade Média (Ra - µm)				
CP	Fer+Mad+Profu cor	Ra1 - vf=40mm/min	Ra2 - vf=70mm/min	Ra3 - vf=100mm/min
1	f1m1ap50	3,40	5,4	4,6
2	f1m1ap50	9,40	4,2	4
3	f1m1ap50	8,20	3,8	6
4	f1m1ap50	3,00	4,4	3
5	f1m1ap50	3,80	2,8	5,4
6	f1m1ap50	2,60	3,8	3,2
Profundidade de corte 0,5 mm f1=ferramenta de metal duro só polida f2=ferramenta de metal duro com cobertura de boreto de titânio (TiB2) m1=Pinus eliotti m2=Corymba Citriodora ap50= profundidade de corte de 0,5 mm vf= velocidade de avanço				
1	f1m2ap50	3,8	9,8	12
2	f1m2ap50	5,8	9	11,8
3	f1m2ap50	4,2	4,6	5,8
4	f1m2ap50	6,2	2,8	7,4
5	f1m2ap50	11,4	9,8	13,2
6	f1m2ap50	10,6	10,6	8,6
1	f2m1ap50	3,6	2,6	3,4
2	f2m1ap50	3	3	5,6
3	f2m1ap50	5,2	6,4	7,6
4	f2m1ap50	1,8	3,6	3
5	f2m1ap50	3,6	3,8	3,4
6	f2m1ap50	2,8	2	2,2
1	f2m2ap50	13,6	11,4	13,4
2	f2m2ap50	9,6	8	5,2
3	f2m2ap50	9	9,2	9,6
4	f2m2ap50	13	15,6	17
5	f2m2ap50	9,2	6,6	6,8
6	f2m2ap50	9,4	10,4	9

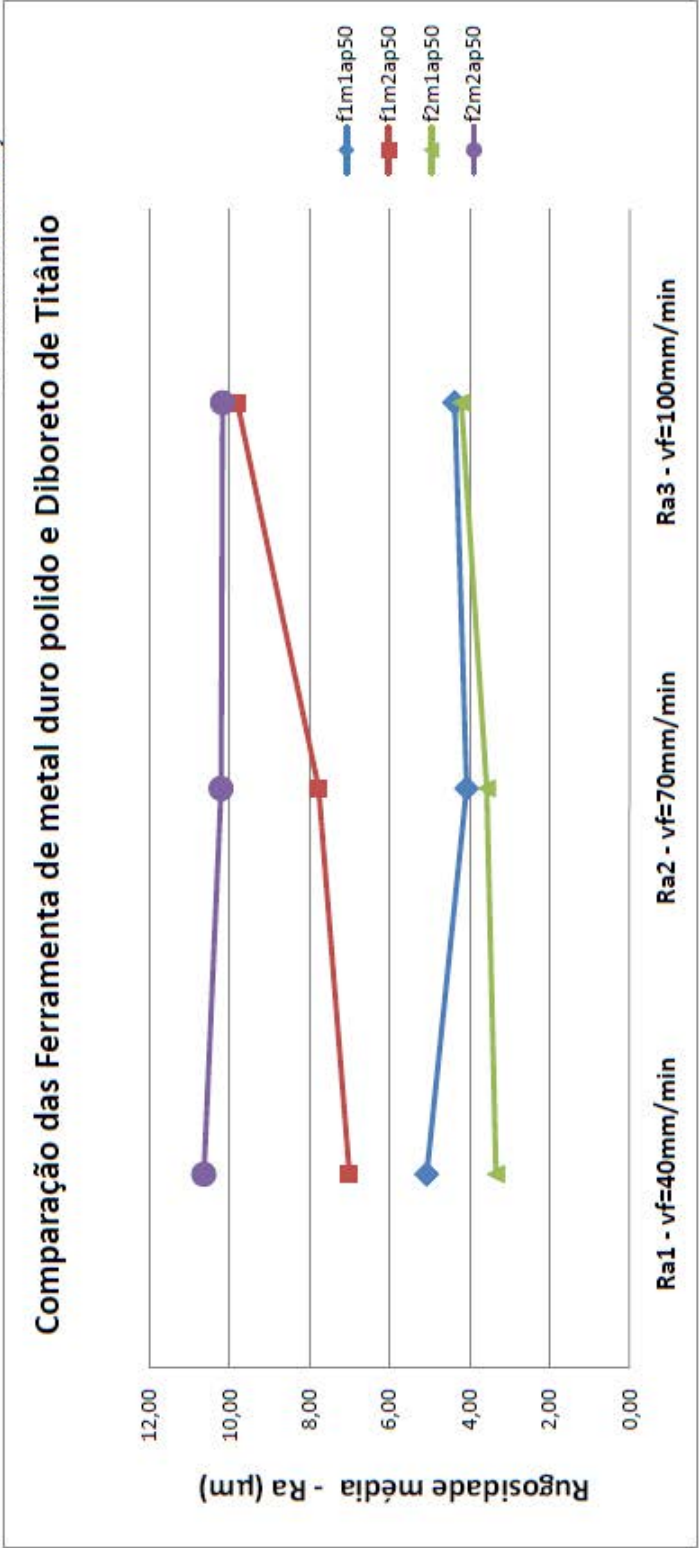
Ensaio em Função da Rugosidade Média (Ra - μm)				
f1m1ap50	Ra1 - vf=40mm/min	Ra2 - vf=70mm/min	Ra3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =
máximo	9,40	5,40	6,00	2.50 mm
média	5,07	4,07	4,37	12.5mm
mínimo	2,60	2,80	3,00	Profundidade de corte 0,5 mm
Desvio Padrão	2,94	0,85	1,20	f1=ferramenta de metal duro só polida
				f2=ferramenta de metal duro com cobertura
				de boreto de titânio (TiB2)
f1m2ap50	Ra1 - vf=40mm/min	Ra2 - vf=70mm/min	Ra3 - vf=100mm/min	m1=Pinus eliotti
máximo	11,40	10,60	13,20	m2=Corymbia Citriodora
média	7,00	7,77	9,80	ap50= profundidade de corte de 0,5 mm
mínimo	3,80	2,80	5,80	vf= velocidade de avanço
Desvio Padrão	3,24	3,24	2,95	
f2m1ap50	Ra1 - vf=40mm/min	Ra2 - vf=70mm/min	Ra3 - vf=100mm/min	
máximo	5,20	6,40	7,60	
média	3,33	3,57	4,20	
mínimo	1,80	2,00	2,20	
Desvio Padrão	1,13	1,54	2,01	
f2m2ap50	Ra1 - vf=40mm/min	Ra2 - vf=70mm/min	Ra3 - vf=100mm/min	
máximo	13,60	15,60	17,00	
média	10,63	10,20	10,17	
mínimo	9,00	6,60	5,20	
Desvio Padrão	2,08	3,14	4,36	

Elementos		Ra1 - vf=40mm/min	Ra2 - vf=70mm/min	Ra3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =	2.50 mm
f1m1ap50	Média	5,07	4,07	4,37	Eval Lenght	12.5mm
	Desvio Padrão	2,94	0,85	1,20	Profundidade de corte 0,5 mm	
f1m2ap50	Média	7,00	7,77	9,80	f1=ferramenta de metal duro só polida	
	Desvio Padrão	3,24	3,24	2,95	f2=ferramenta de metal duro com cobertura	
f2m1ap50	Média	3,33	3,57	4,20	de boreto de titânio (TiB2)	
	Desvio Padrão	1,13	1,54	2,01	m1=Pinus eliotti	
f2m2ap50	Média	10,63	10,20	10,17	m2=Corymbya Citriodora	
	Desvio Padrão	2,08	3,14	4,36	ap50= profundidade de corte de 0,5 mm	
Ensaio em Função da Rugosidade Média (Ra - µm)						
vf= velocidade de avanço						

Comparação das Ferramenta de metal duro polido e Diboreto de Titânio



Elementos		Ra1 - vf=40mm/min	Ra2 - vf=70mm/min	Ra3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =	2.50 mm
f1m1ap50	Média	5,07	4,07	4,37	Eval Lenght	12.5mm
f1m2ap50	Média	7,00	7,77	9,80	Profundidade de corte 0,5 mm f1=ferramenta de metal duro só polida f2=ferramenta de metal duro com cobertura de boreto de titânio (TiB2)	
f2m1ap50	Média	3,33	3,57	4,20		
f2m2ap50	Média	10,63	10,20	10,17		
Ensaio em Função da Rugosidade Média (Ra - µm)						

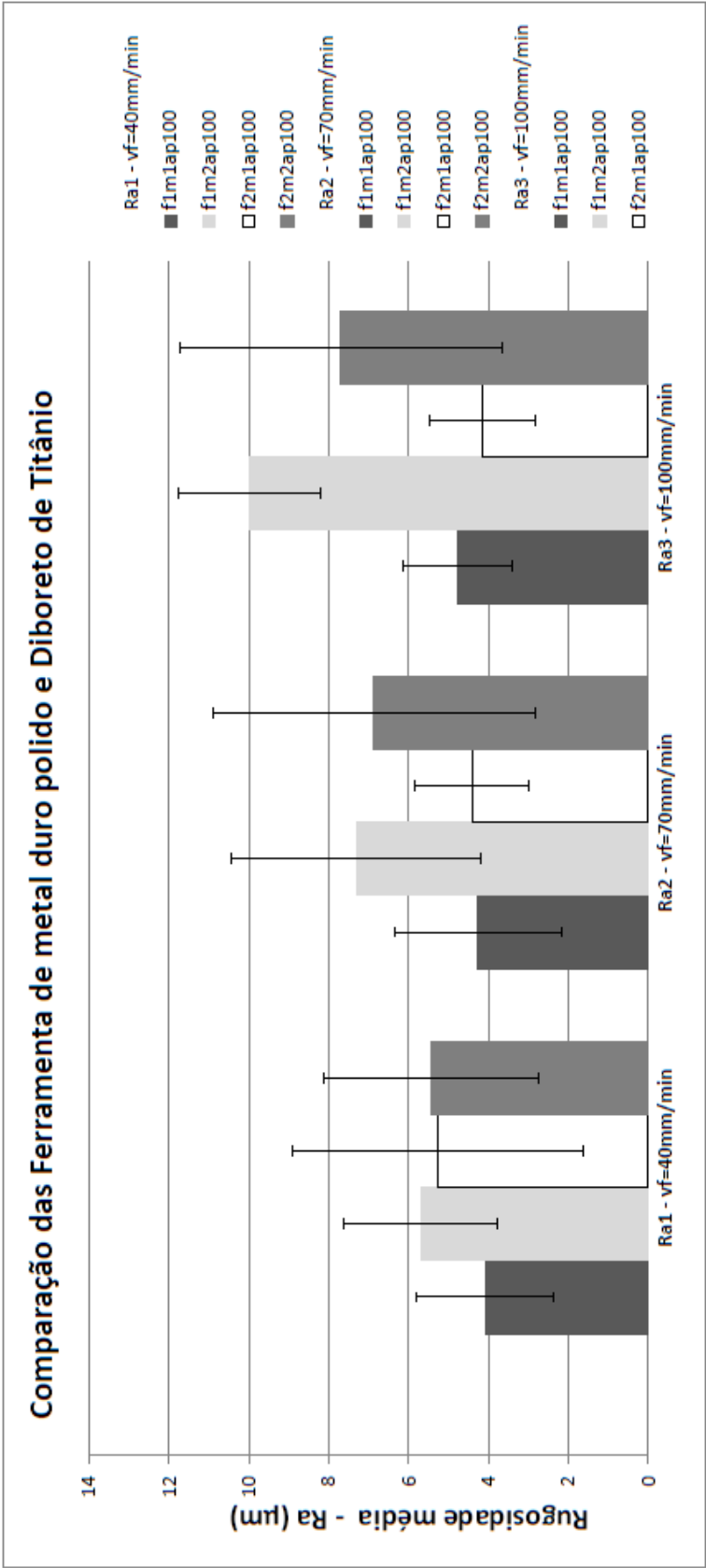


APÊNDICE B – Rugosidade Média Profundidade 1,0 mm

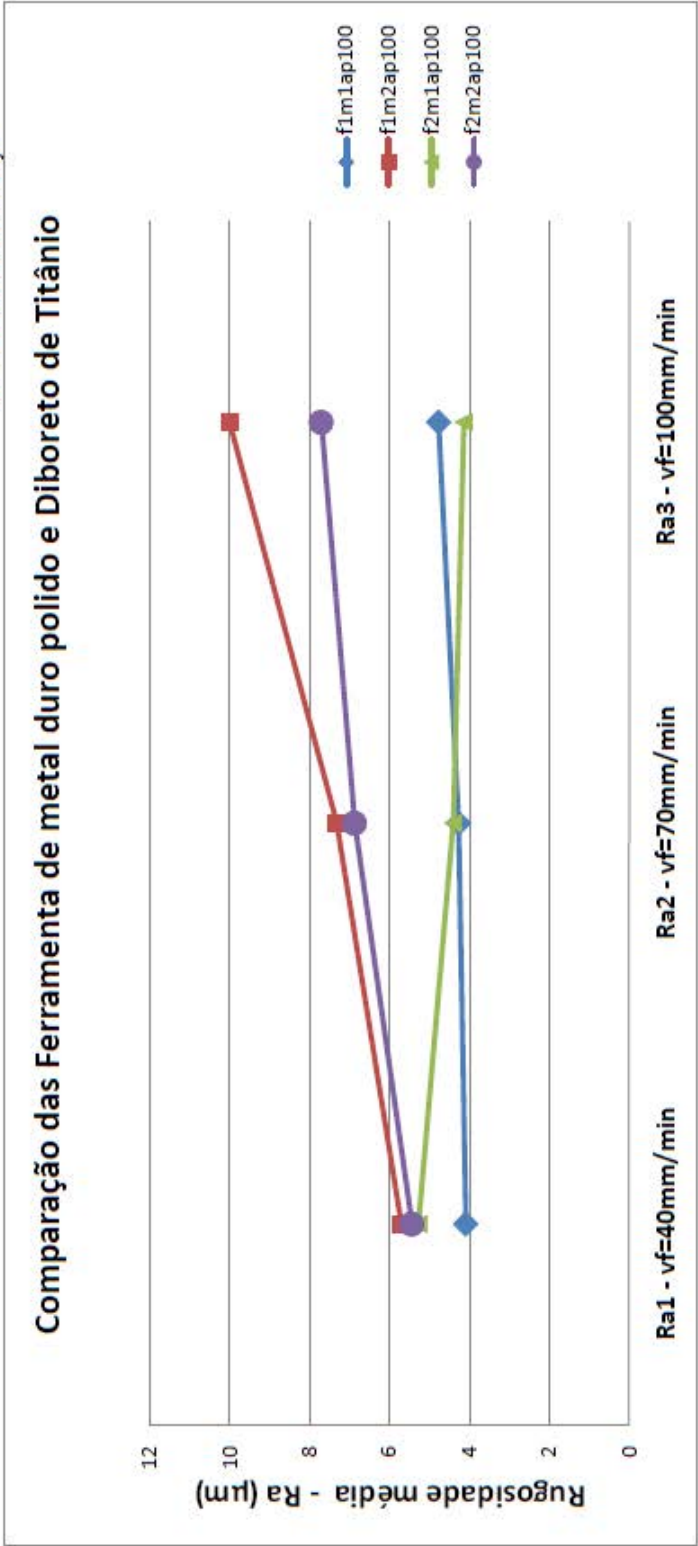
Ensaio em Função da Rugosidade Média (Ra - µm)					
CP	Fer+Mad+Profu cor	Ra1 - vf=40mm/min	Ra2 - vf=70mm/min	Ra3 - vf=100mm/min	
1	f1m1ap100	2,20	4,4	3	Gauss Lc = 2.50 mm
2	f1m1ap100	5,50	2,2	4,4	Eval Lenght 12.5mm
3	f1m1ap100	6,60	4,2	6,4	Profundidade de corte 1 mm
4	f1m1ap100	4,00	8,2	4,4	f1=ferramenta de metal duro só polida
5	f1m1ap100	2,40	3,6	6,4	f2=ferramenta de metal duro com cobertura
6	f1m1ap100	3,80	3	4	de boreto de titânio (TiB2)
m1=Pinus eliotti					
1	f1m2ap100	3,8	8,6	10,4	m2=Corymbya Citriodora
2	f1m2ap100	5,6	7	7,2	ap100= profundidade de corte de 1 mm
3	f1m2ap100	5	3,8	12,2	vf= velocidade de avanço
4	f1m2ap100	3,8	4	11,4	
5	f1m2ap100	8	12	9	
6	f1m2ap100	8	8,5	9,8	
1	f2m1ap100	10,8	5,8	4,8	
2	f2m1ap100	7	5,4	5	
3	f2m1ap100	2,2	2,8	2,4	
4	f2m1ap100	2,4	5	5,8	
5	f2m1ap100	7,2	2,4	4	
6	f2m1ap100	2	5	2,8	
1	f2m2ap100	4,6	2,4	2,4	
2	f2m2ap100	3	6,2	4,8	
3	f2m2ap100	3,6	2,6	5,4	
4	f2m2ap100	8	7,8	11	
5	f2m2ap100	9,6	9,4	10,2	
6	f2m2ap100	3,8	12,8	12,4	

Ensaio em Função da Rugosidade Média (Ra - μm)				
f1m1ap100	Ra1 - vf=40mm/min	Ra2 - vf=70mm/min	Ra3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =
máximo	6,60	8,20	6,40	2.50 mm
média	4,08	4,27	4,77	Eval Lenght
mínimo	2,20	2,20	3,00	12.5mm
Desvio Padrão	1,72	2,09	1,36	Profundidade de corte 1 mm
f1=ferramenta de metal duro só polida				
f2=ferramenta de metal duro com cobertura				
de boreto de titânio (TiB2)				
f1m2ap100	Ra1 - vf=40mm/min	Ra2 - vf=70mm/min	Ra3 - vf=100mm/min	m1=Pinus eliotti
máximo	8,00	12,00	12,20	m2=Corymba Citriodora
média	5,70	7,32	10,00	ap100= profundidade de corte de 1 mm
mínimo	3,80	3,80	7,20	vf= velocidade de avanço
Desvio Padrão	1,91	3,11	1,78	
f2m1ap100	Ra1 - vf=40mm/min	Ra2 - vf=70mm/min	Ra3 - vf=100mm/min	
máximo	10,80	5,80	5,80	
média	5,27	4,40	4,13	
mínimo	2,00	2,40	2,40	
Desvio Padrão	3,62	1,43	1,32	
f2m2ap100	Ra1 - vf=40mm/min	Ra2 - vf=70mm/min	Ra3 - vf=100mm/min	
máximo	9,60	12,80	12,40	
média	5,43	6,87	7,70	
mínimo	3,00	2,40	2,40	
Desvio Padrão	2,71	4,03	4,03	

Elementos		Ra1 - vf=40mm/min	Ra2 - vf=70mm/min	Ra3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =	2.50 mm
f1m1ap100	Média	4,08	4,27	4,77	Eval Lenght	12.5mm
	Desvio Padrão	1,72	2,09	1,36	Profundidade de corte 1 mm	
f1m2ap100	Média	5,70	7,32	10,00	f1=ferramenta de metal duro só polida	
	Desvio Padrão	1,91	3,11	1,78	f2=ferramenta de metal duro com cobertura	
f2m1ap100	Média	5,27	4,40	4,13	de boreto de titânio (TiB2)	
	Desvio Padrão	3,62	1,43	1,32	m1=Pinus eliotti	
f2m2ap100	Média	5,43	6,87	7,70	m2=Corymba Citriodora	
	Desvio Padrão	2,71	4,03	4,03	ap100= profundidade de corte de 1 mm	
Ensaio em Função da Rugosidade Média (Ra - µm)						
vf= velocidade de avanço						



Elementos		Ra1 - vf=40mm/min	Ra2 - vf=70mm/min	Ra3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =	2.50 mm
f1m1ap100	Média	4,08	4,27	4,77	Eval Lenght	12.5mm
f1m2ap100	Média	5,70	7,32	10,00	Profundidade de corte 1 mm f1=ferramenta de metal duro só polida f2=ferramenta de metal duro com cobertura de boreto de titânio (TiB2) m1=Pinus eliotti m2=Corymbya Citriodora ap100= profundidade de corte de 1 mm vf= velocidade de avanço	
f2m1ap100	Média	5,27	4,40	4,13		
f2m2ap100	Média	5,43	6,87	7,70		
Ensaaios em Função da Rugosidade Média (Ra - µm)						

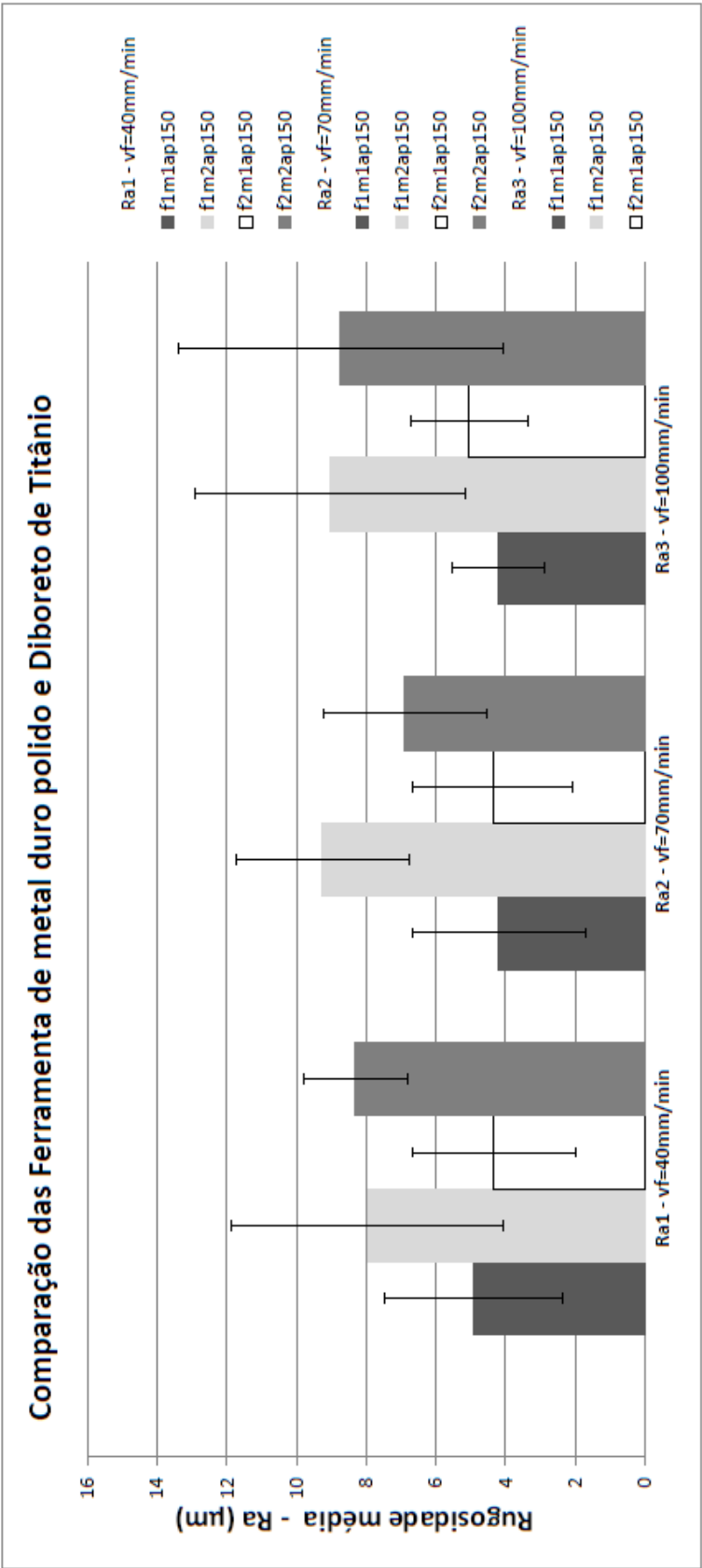


APÊNDICE C – Rugosidade Média Profundidade de 1,5 mm

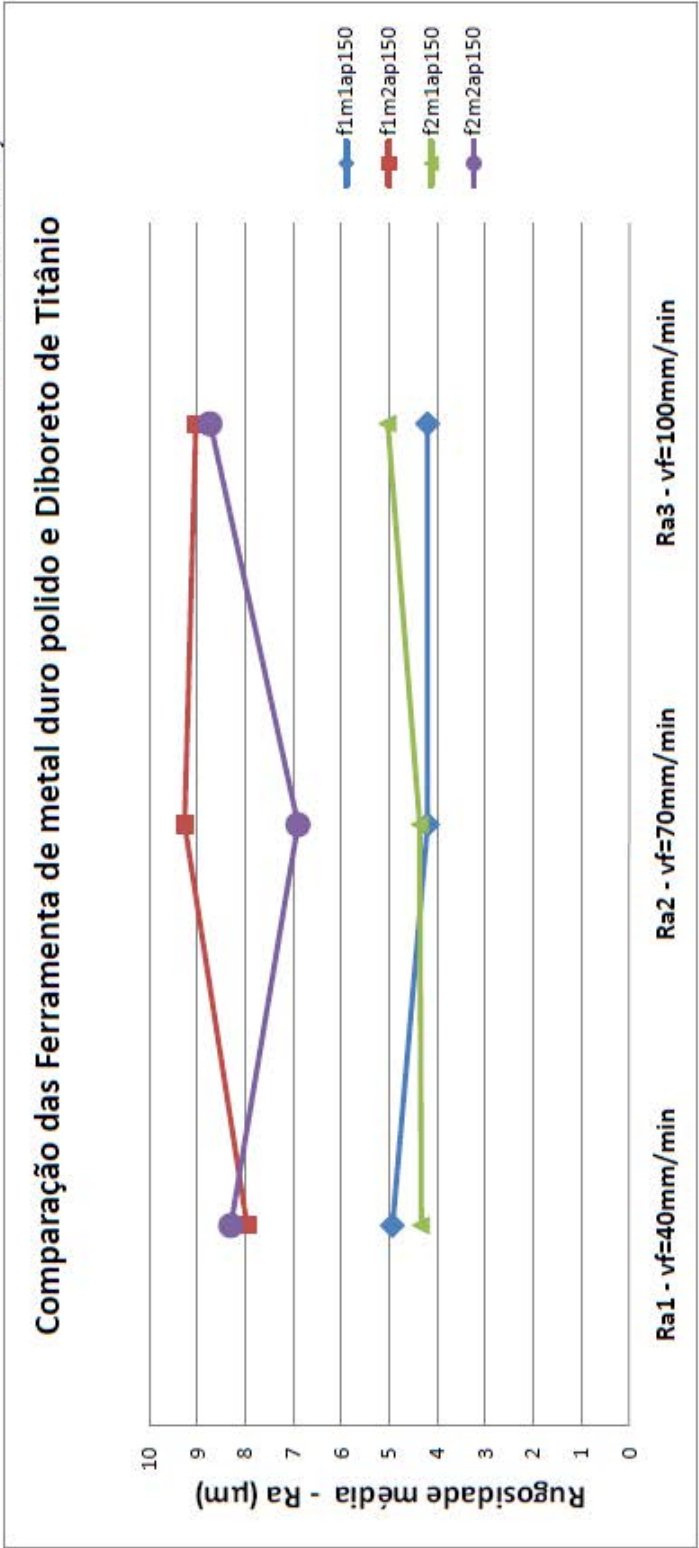
Ensaio em Função da Rugosidade Média (Ra - µm)					
CP	Fer+Mad+Profu cor	Ra1 - vf=40mm/min	Ra2 - vf=70mm/min	Ra3 - vf=100mm/min	
1	f1m1ap150	2,00	5	3	Gauss Lc = 2.50 mm
2	f1m1ap150	6,80	2,4	3,2	Eval Length 12.5mm
3	f1m1ap150	2,00	2	5	Profundidade de corte 1,5 mm
4	f1m1ap150	7,00	8,6	3,2	f1=ferramenta de metal duro só polida
5	f1m1ap150	7,60	4,6	4,4	f2=ferramenta de metal duro com cobertura
6	f1m1ap150	4,20	2,6	6,4	de boreto de titânio (TiB2)
m1=Pinus eliotti					
1	f1m2ap150	6,6	6,8	8,6	m2=Corymbya Citriodora
2	f1m2ap150	12,4	11,8	16,2	ap150= profundidade de corte de 1,5 mm
3	f1m2ap150	13,4	8,4	6,2	vf= velocidade de avanço
4	f1m2ap150	5,6	10,6	8,4	
5	f1m2ap150	4,6	6,2	5,2	
6	f1m2ap150	5,2	11,8	9,6	
m1=Pinus eliotti					
1	f2m1ap150	3	2,8	5,2	
2	f2m1ap150	6,6	8,4	4,2	
3	f2m1ap150	4,4	2	2,6	
4	f2m1ap150	7,6	5,4	7,2	
5	f2m1ap150	1,6	4	6,6	
6	f2m1ap150	2,8	3,6	4,4	
m1=Pinus eliotti					
1	f2m2ap150	7,6	8,6	8,8	
2	f2m2ap150	9,6	4,8	14,8	
3	f2m2ap150	9,4	9	11	
4	f2m2ap150	9,8	9,4	11	
5	f2m2ap150	6,4	4,2	2	
6	f2m2ap150	7	5,4	4,8	

Ensaio em Função da Rugosidade Média (Ra - μm)					
f1m1ap150	Ra1 - vf=40mm/min	Ra2 - vf=70mm/min	Ra3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =	2.50 mm
máximo	7,60	8,60	6,40	Eval Length	12.5mm
média	4,93	4,20	4,20	Profundidade de corte 1,5 mm	
mínimo	2,00	2,00	3,00	f1=ferramenta de metal duro só polida	
Desvio Padrão	2,55	2,48	1,34	f2=ferramenta de metal duro com cobertura de boreto de titânio (TiB2)	
f1m2ap150	Ra1 - vf=40mm/min	Ra2 - vf=70mm/min	Ra3 - vf=100mm/min	m1=Pinus eliotti	
máximo	13,40	11,80	16,20	m2=Corymba Citriodora	
média	7,97	9,27	9,03	ap150= profundidade de corte de 1,5 mm	
mínimo	4,60	6,20	5,20	vf= velocidade de avanço	
Desvio Padrão	3,89	2,48	3,87		
f2m1ap150	Ra1 - vf=40mm/min	Ra2 - vf=70mm/min	Ra3 - vf=100mm/min		
máximo	7,60	8,40	7,20		
média	4,33	4,37	5,03		
mínimo	1,60	2,00	2,60		
Desvio Padrão	2,34	2,29	1,68		
f2m2ap150	Ra1 - vf=40mm/min	Ra2 - vf=70mm/min	Ra3 - vf=100mm/min		
máximo	9,80	9,40	14,80		
média	8,30	6,90	8,73		
mínimo	6,40	4,20	2,00		
Desvio Padrão	1,48	2,35	4,65		

Elementos		Ra1 - vf=40mm/min	Ra2 - vf=70mm/min	Ra3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =
f1m1ap150	Média	4,93	4,20	4,20	2.50 mm
	Desvio Padrão	2,55	2,48	1,34	12.5mm
f1m2ap150	Média	7,97	9,27	9,03	Profundidade de corte 1,5 mm f1=ferramenta de metal duro só polida f2=ferramenta de metal duro com cobertura
	Desvio Padrão	3,89	2,48	3,87	
f2m1ap150	Média	4,33	4,37	5,03	de boreto de titânio (TiB2)
	Desvio Padrão	2,34	2,29	1,68	m1=Pinus eliotti
f2m2ap150	Média	8,30	6,90	8,73	m2=Corymbya Citriodora
	Desvio Padrão	1,48	2,35	4,65	ap150= profundidade de corte de 1,5 mm
Ensaio em Função da Rugosidade Média (Ra - µm) vf= velocidade de avanço					



Elementos		Ra1 - vf=40mm/min	Ra2 - vf=70mm/min	Ra3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =
f1m1ap150	Média	4,93	4,20	4,20	2.50 mm
f1m2ap150	Média	7,97	9,27	9,03	12.5mm
f2m1ap150	Média	4,33	4,37	5,03	Profundidade de corte 1,5 mm f1=ferramenta de metal duro só polida f2=ferramenta de metal duro com cobertura de boreto de titânio (TiB2) m1=Pinus eliotti m2=Corymbya Citriodora ap150= profundidade de corte de 1,5 mm vf= velocidade de avanço
f2m2ap150	Média	8,30	6,90	8,73	
Ensaio em Função da Rugosidade Média (Ra - µm)					



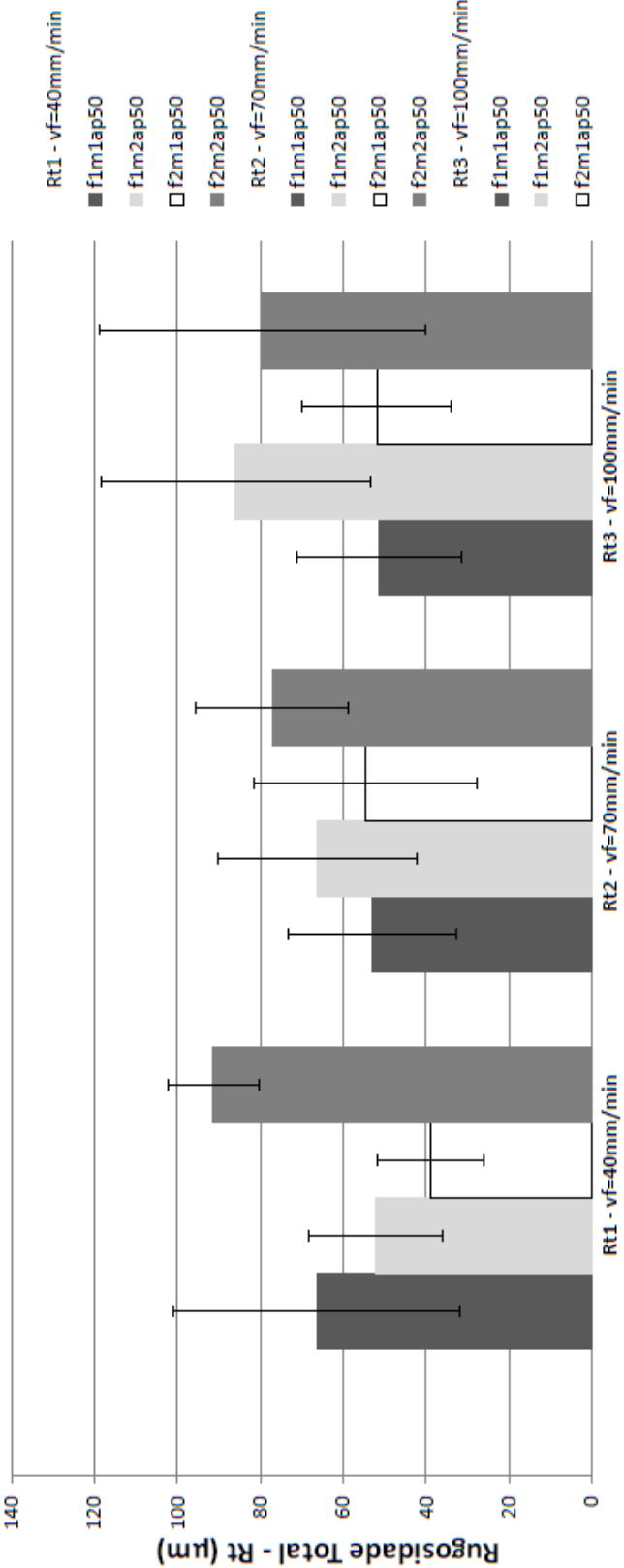
APÊNDICE D – Rugosidade Total Profundidade de 0,5 mm

Ensaio em Função da Rugosidade Total (Rt - µm)					
CP	Fer+Mad+Profu cor	Rt1 - vf=40mm/min	Rt2 - vf=70mm/min	Rt3 - vf=100mm/min	
1	f1m1ap50	48	90	61	Gauss Lc = 2.50 mm
2	f1m1ap50	111	51	41	Eval Lenght 12.5mm
3	f1m1ap50	107	50	60	Profundidade de corte 0,5 mm
4	f1m1ap50	51	55	29	f1=ferramenta de metal duro só polida
5	f1m1ap50	55	30	82	f2=ferramenta de metal duro com cobertura
6	f1m1ap50	26	41	35	de boreto de titânio (TiB2)
m1=Pinus eliotti					
1	f1m2ap50	32	69	112	m2=Corymba Citriodora
2	f1m2ap50	52	96	136	ap50= profundidade de corte de 0,5 mm
3	f1m2ap50	38	47	55	vf= velocidade de avanço
4	f1m2ap50	53	30	54	
5	f1m2ap50	61	74	84	
6	f1m2ap50	77	81	75	
1	f2m1ap50	35	33	51	
2	f2m1ap50	46	45	76	
3	f2m1ap50	50	99	69	
4	f2m1ap50	16	45	47	
5	f2m1ap50	49	75	40	
6	f2m1ap50	37	30	28	
1	f2m2ap50	100	82	96	
2	f2m2ap50	88	67	47	
3	f2m2ap50	77	69	73	
4	f2m2ap50	102	112	150	
5	f2m2ap50	100	60	46	
6	f2m2ap50	81	73	65	

Ensaio em Função da Rugosidade Total (Rt - μm)					Gauss Lc =	2.50 mm
f1m1ap50	Rt1 - vf=40mm/min	Rt2 - vf=70mm/min	Rt3 - vf=100mm/min		Eval Length	12.5mm
máximo	111,00	90,00	82,00			
média	66,33	52,83	51,33			
mínimo	26,00	30,00	29,00			
Desvio Padrão	34,57	20,29	19,91			
Profundidade de corte 0,5 mm						
f1=ferramenta de metal duro só polida						
f2=ferramenta de metal duro com cobertura						
de boreto de titânio (TiB2)						
m1=Pinus eliotti						
m2=Corymbya Citriodora						
ap50= profundidade de corte de 0,5 mm						
vf= velocidade de avanço						
f1m2ap50	Rt1 - vf=40mm/min	Rt2 - vf=70mm/min	Rt3 - vf=100mm/min			
máximo	77,00	96,00	136,00			
média	52,17	66,17	86,00			
mínimo	32,00	30,00	54,00			
Desvio Padrão	16,14	23,89	32,51			
f2m1ap50	Rt1 - vf=40mm/min	Rt2 - vf=70mm/min	Rt3 - vf=100mm/min			
máximo	50,00	99,00	76,00			
média	38,83	54,50	51,83			
mínimo	16,00	30,00	28,00			
Desvio Padrão	12,80	26,99	17,95			
f2m2ap50	Rt1 - vf=40mm/min	Rt2 - vf=70mm/min	Rt3 - vf=100mm/min			
máximo	102,00	112,00	150,00			
média	91,33	77,17	79,50			
mínimo	77,00	60,00	46,00			
Desvio Padrão	10,84	18,54	39,18			

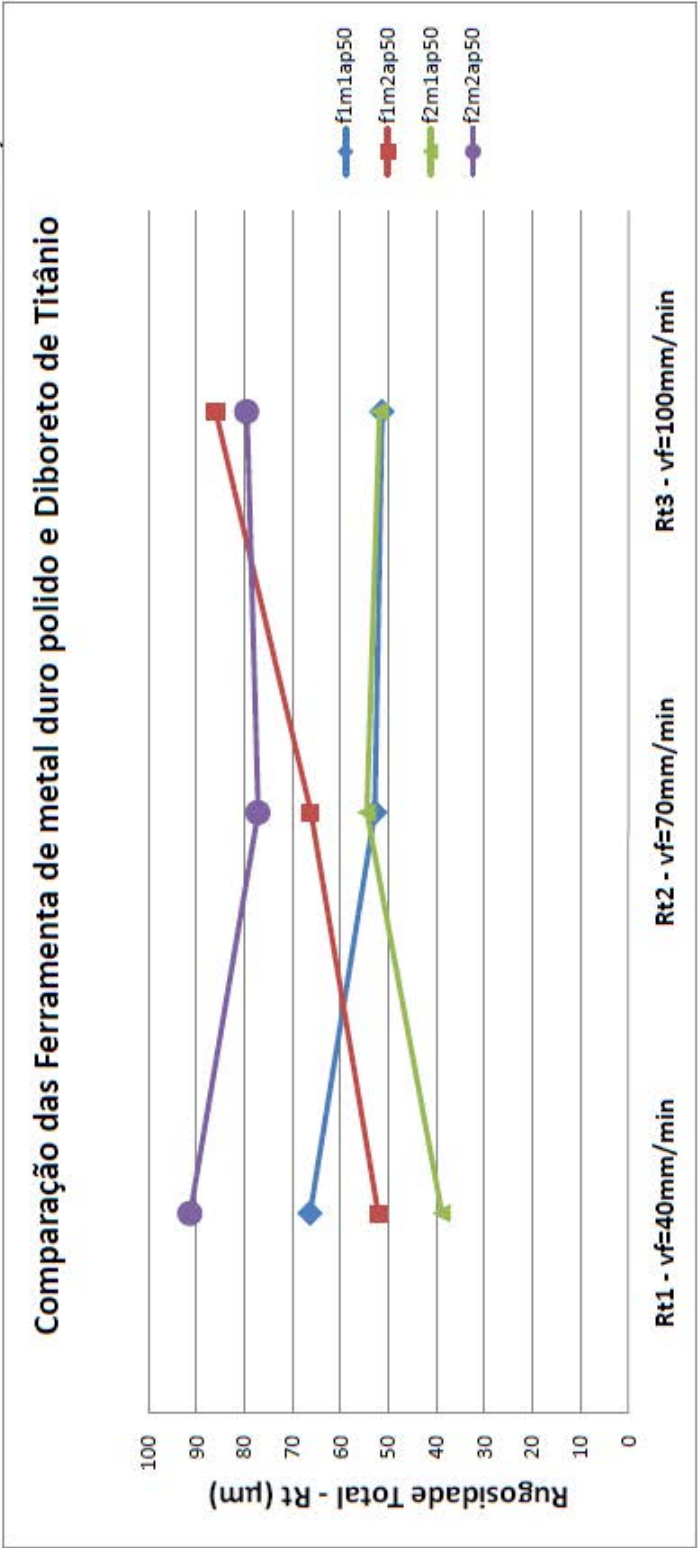
Elementos		Rt1 - vf=40mm/min	Rt2 - vf=70mm/min	Rt3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =
f1m1ap50	Média	66,33	52,83	51,33	2.50 mm
	Desvio Padrão	34,57	20,29	19,91	12.5mm
f1m2ap50	Média	52,17	66,17	86,00	Profundidade de corte 0,5 mm f1=ferramenta de metal duro só polida f2=ferramenta de metal duro com cobertura de boreto de titânio (TiB2) m1=Pinus eliotti m2=Corymbya Citriodora ap50= profundidade de corte de 0,5 mm vf= velocidade de avanço
	Desvio Padrão	16,14	23,89	32,51	
f2m1ap50	Média	38,83	54,50	51,83	
	Desvio Padrão	12,80	26,99	17,95	
f2m2ap50	Média	91,33	77,17	79,50	
	Desvio Padrão	10,84	18,54	39,18	
Ensaio em Função da Rugosidade Total (Rt - µm)					

Comparação das Ferramenta de metal duro polido e Diboreto de Titânio



Elementos		Rt1 - vf=40mm/min	Rt2 - vf=70mm/min	Rt3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =
f1m1ap50	Média	66,33	52,83	51,33	Eval Lenght
f1m2ap50	Média	52,17	66,17	86,00	Profundidade de corte 0,5 mm
f2m1ap50	Média	38,83	54,50	51,83	f1=ferramenta de metal duro só polida
f2m2ap50	Média	91,33	77,17	79,50	f2=ferramenta de metal duro com cobertura de boreto de titânio (TiB2)
Ensaio em Função da Rugosidade Total (Rt - µm)					

m1=Pinus eliotti
m2=Corymbya Citriodora
ap50= profundidade de corte de 0,5 mm
vf= velocidade de avanço

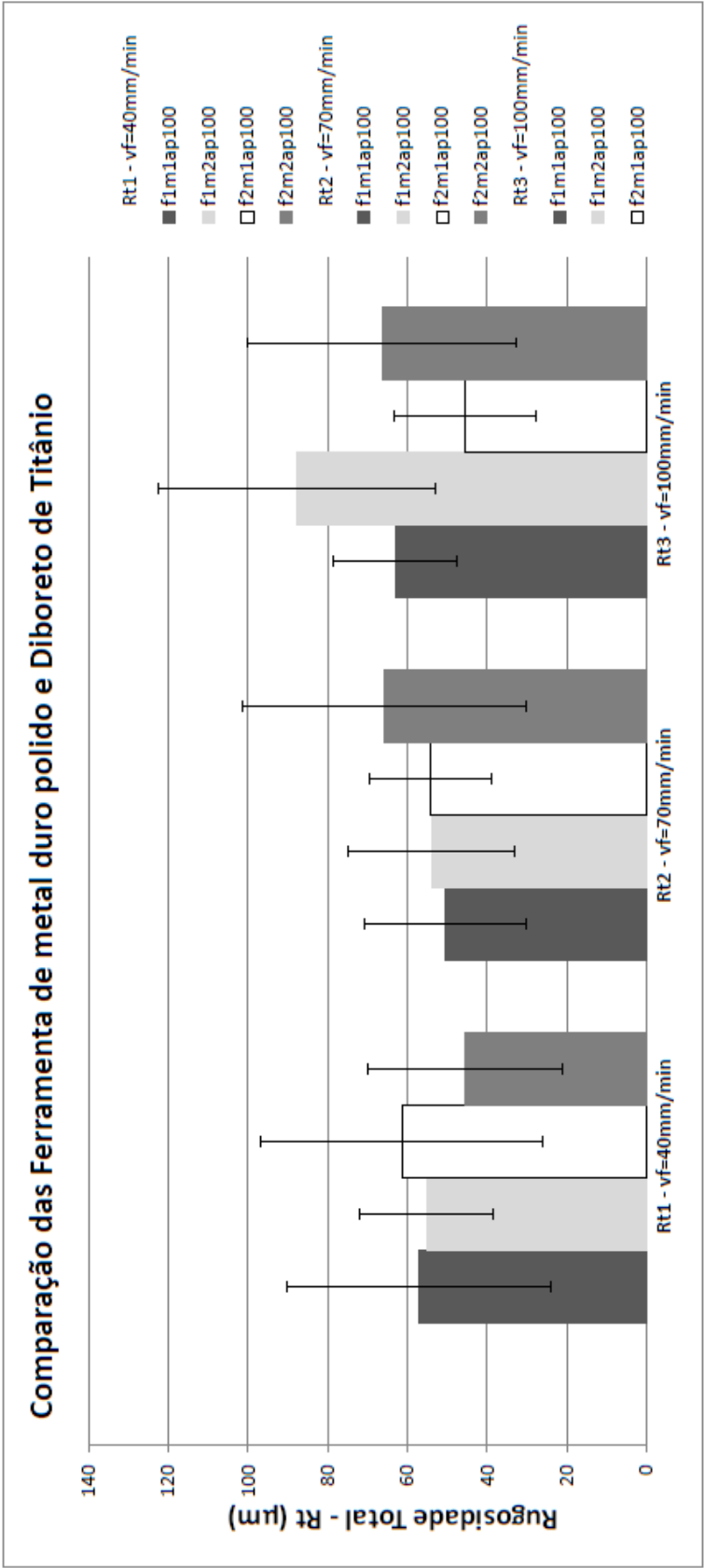


APÊNDICE E – Rugosidade Total Profundidade de 1,0 mm

Ensaio em Função da Rugosidade Total (Rt - µm)					
CP	Fer+Mad+Profu cor	Rt1 - vf=40mm/min	Rt2 - vf=70mm/min	Rt3 - vf=100mm/min	
1	f1m1ap100	24	65	38	Gauss Lc = 2.50 mm
2	f1m1ap100	77	20	67	Eval Lenght 12.5mm
3	f1m1ap100	104	48	77	Profundidade de corte 1 mm
4	f1m1ap100	75	73	68	f1=ferramenta de metal duro só polida
5	f1m1ap100	25	62	77	f2=ferramenta de metal duro com cobertura
6	f1m1ap100	37	35	51	de boreto de titânio (TiB2)
m1=Pinus eliotti					
1	f1m2ap100	67	67	74	m2=Corymbya Citriodora
2	f1m2ap100	64	52	56	ap100= profundidade de corte de 1 mm
3	f1m2ap100	37	32	155	vf= velocidade de avanço
4	f1m2ap100	32	31	90	
5	f1m2ap100	58	85	72	
6	f1m2ap100	73	57	80	
1	f2m1ap100	100	70	47	
2	f2m1ap100	94	77	52	
3	f2m1ap100	32	44	22	
4	f2m1ap100	45	46	67	
5	f2m1ap100	82	41	58	
6	f2m1ap100	15	47	27	
1	f2m2ap100	31	26	25	
2	f2m2ap100	32	75	31	
3	f2m2ap100	23	24	62	
4	f2m2ap100	79	67	88	
5	f2m2ap100	74	86	112	
6	f2m2ap100	34	116	80	

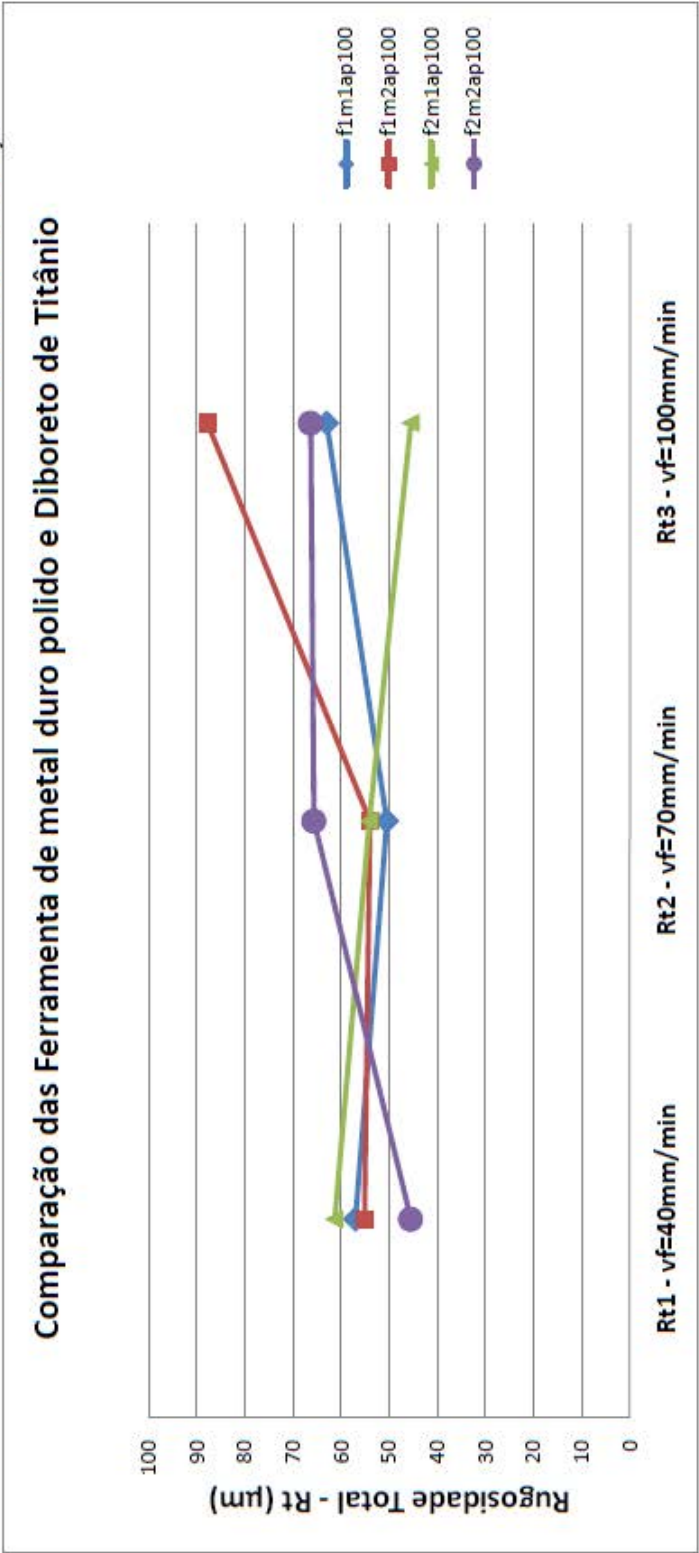
Ensaio em Função da Rugosidade Total (Rt - μm)					
f1m1ap100	Rt1 - vf=40mm/min	Rt2 - vf=70mm/min	Rt3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =	2.50 mm
máximo	104,00	73,00	77,00	Eval Lenght	12.5mm
média	57,00	50,50	63,00	Profundidade de corte 1 mm f1=ferramenta de metal duro só polida f2=ferramenta de metal duro com cobertura de boreto de titânio (TiB2) m1=Pinus eliotti m2=Corymba Citriodora ap100= profundidade de corte de 1 mm vf= velocidade de avanço	
mínimo	24,00	20,00	38,00		
Desvio Padrão	33,00	20,13	15,50		
f1m2ap100	Rt1 - vf=40mm/min	Rt2 - vf=70mm/min	Rt3 - vf=100mm/min		
máximo	73,00	85,00	155,00		
média	55,17	54,00	87,83		
mínimo	32,00	31,00	56,00		
Desvio Padrão	16,80	20,77	34,74		
f2m1ap100	Rt1 - vf=40mm/min	Rt2 - vf=70mm/min	Rt3 - vf=100mm/min		
máximo	100,00	77,00	67,00		
média	61,33	54,17	45,50		
mínimo	15,00	41,00	22,00		
Desvio Padrão	35,39	15,28	17,65		
f2m2ap100	Rt1 - vf=40mm/min	Rt2 - vf=70mm/min	Rt3 - vf=100mm/min		
máximo	79,00	116,00	112,00		
média	45,50	65,67	66,33		
mínimo	23,00	24,00	25,00		
Desvio Padrão	24,35	35,62	33,82		

Elementos		Rt1 - vf=40mm/min	Rt2 - vf=70mm/min	Rt3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =	2.50 mm
f1m1ap100	Média	57,00	50,50	63,00	Eval Lenght	12.5mm
	Desvio Padrão	33,00	20,13	15,50	Profundidade de corte 1 mm	
	Média	55,17	54,00	87,83		
f1m2ap100	Desvio Padrão	16,80	20,77	34,74	f1=ferramenta de metal duro só polida	
	Média	61,33	54,17	45,50	f2=ferramenta de metal duro com cobertura de boreto de titânio (TiB2)	
	Desvio Padrão	35,39	15,28	17,65	m1=Pinus eliotti	
f2m1ap100	Média	45,50	65,67	66,33	m2=Corymbia Citriodora	
	Desvio Padrão	24,35	35,62	33,82	ap100= profundidade de corte de 1 mm	
	Ensaio em Função da Rugosidade Total (Rt - µm)					
vf= velocidade de avanço						



Elementos		Rt1 - vf=40mm/min	Rt2 - vf=70mm/min	Rt3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =
f1m1ap100	Média	57,00	50,50	63,00	2.50 mm
f1m2ap100	Média	55,17	54,00	87,83	12.5mm
f2m1ap100	Média	61,33	54,17	45,50	Profundidade de corte 1 mm
f2m2ap100	Média	45,50	65,67	66,33	f1=ferramenta de metal duro só polida
Ensaio em Função da Rugosidade Total (Rt - µm)					f2=ferramenta de metal duro com cobertura de boreto de titânio (TiB2)

m1=Pinus eliotti
m2=Corymbya Citriodora
ap100= profundidade de corte de 1 mm
vf= velocidade de avanço



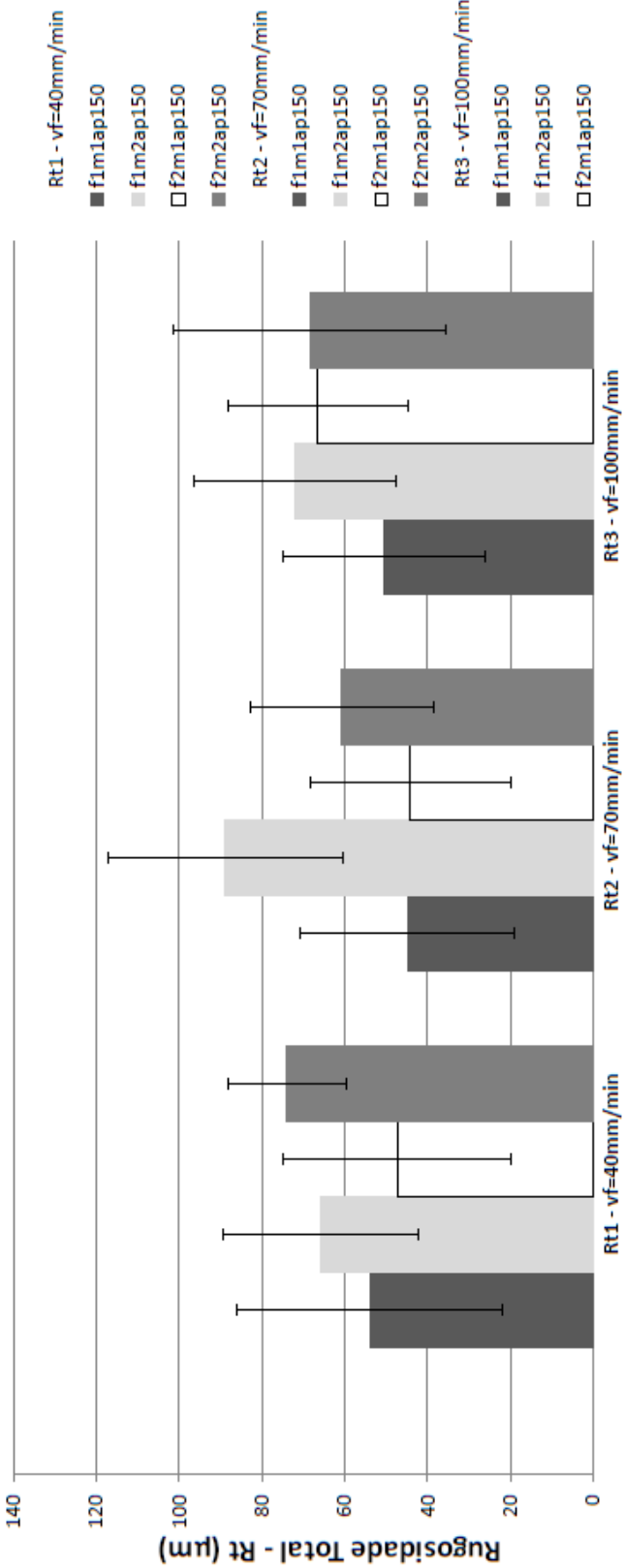
APÊNDICE F – Rugosidade Total Profundidade de 1,5 mm

Ensaio em Função da Rugosidade Total (Rt - µm)					
CP	Fer+Mad+Profu cor	Rt1 - vf=40mm/min	Rt2 - vf=70mm/min	Rt3 - vf=100mm/min	
1	f1m1ap150	16	54	38	Gauss Lc = 2.50 mm
2	f1m1ap150	75	21	30	Eval Lenght 12.5mm
3	f1m1ap150	18	17	59	Profundidade de corte 1,5 mm
4	f1m1ap150	80	84	32	f1=ferramenta de metal duro só polida
5	f1m1ap150	89	60	48	f2=ferramenta de metal duro com cobertura
6	f1m1ap150	45	33	95	de boreto de titânio (TiB2)
m1=Pinus eliotti					
1	f1m2ap150	53	50	62	m2=Corymbya Citriodora
2	f1m2ap150	94	111	115	ap150= profundidade de corte de 1,5 mm
3	f1m2ap150	84	98	80	vf= velocidade de avanço
4	f1m2ap150	43	96	70	
5	f1m2ap150	39	58	43	
6	f1m2ap150	82	120	61	
1	f2m1ap150	24	30	60	
2	f2m1ap150	74	86	40	
3	f2m1ap150	71	17	60	
4	f2m1ap150	71	53	100	
5	f2m1ap150	15	47	84	
6	f2m1ap150	28	32	55	
1	f2m2ap150	64	69	94	
2	f2m2ap150	72	42	103	
3	f2m2ap150	86	71	82	
4	f2m2ap150	94	96	72	
5	f2m2ap150	73	39	16	
6	f2m2ap150	55	47	44	

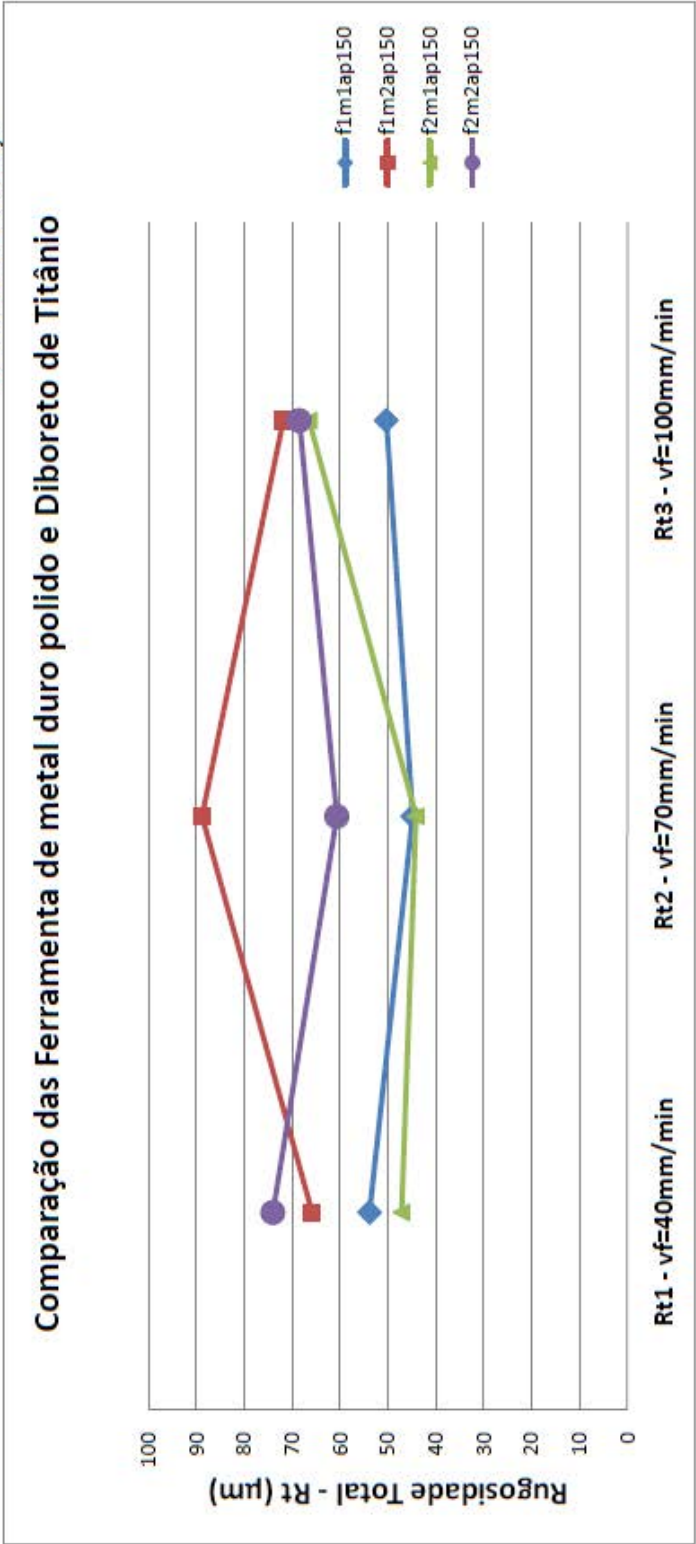
Ensaio em Função da Rugosidade Total (Rt - µm)				
f1m1ap150	Rt1 - vf=40mm/min	Rt2 - vf=70mm/min	Rt3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =
máximo	89,00	84,00	95,00	2.50 mm
média	53,83	44,83	50,33	Eval Lenght
mínimo	16,00	17,00	30,00	Profundidade de corte 1,5 mm
Desvio Padrão	32,13	25,81	24,40	f1=ferramenta de metal duro só polida
				f2=ferramenta de metal duro com cobertura
				de boreto de titânio (TiB2)
f1m2ap150	Rt1 - vf=40mm/min	Rt2 - vf=70mm/min	Rt3 - vf=100mm/min	m1=Pinus eliotti
máximo	94,00	120,00	115,00	m2=Corymba Citriodora
média	65,83	88,83	71,83	ap150= profundidade de corte de 1,5 mm
mínimo	39,00	50,00	43,00	vf= velocidade de avanço
Desvio Padrão	23,63	28,48	24,41	
f2m1ap150	Rt1 - vf=40mm/min	Rt2 - vf=70mm/min	Rt3 - vf=100mm/min	
máximo	74,00	86,00	100,00	
média	47,17	44,17	66,50	
mínimo	15,00	17,00	40,00	
Desvio Padrão	27,55	24,18	21,67	
f2m2ap150	Rt1 - vf=40mm/min	Rt2 - vf=70mm/min	Rt3 - vf=100mm/min	
máximo	94,00	96,00	103,00	
média	74,00	60,67	68,50	
mínimo	55,00	39,00	16,00	
Desvio Padrão	14,21	22,04	32,84	

Elementos		Rt1 - vf=40mm/min	Rt2 - vf=70mm/min	Rt3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =	2.50 mm
f1m1ap150	Média	53,83	44,83	50,33	Eval Lenght	12.5mm
	Desvio Padrão	32,13	25,81	24,40	Profundidade de corte 1,5 mm	
f1m2ap150	Média	65,83	88,83	71,83	f1=ferramenta de metal duro só polida	
	Desvio Padrão	23,63	28,48	24,41	f2=ferramenta de metal duro com cobertura	
f2m1ap150	Média	47,17	44,17	66,50	de boreto de titânio (TiB2)	
	Desvio Padrão	27,55	24,18	21,67	m1=Pinus eliotti	
f2m2ap150	Média	74,00	60,67	68,50	m2=Corymbya Citriodora	
	Desvio Padrão	14,21	22,04	32,84	ap150= profundidade de corte de 1,5 mm	
Ensaios em Função da Rugosidade Total (Rt - µm)						
vf= velocidade de avanço						

Comparação das Ferramenta de metal duro polido e Diboreto de Titânio



Elementos		RT1 - vf=40mm/min	RT2 - vf=70mm/min	RT3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =
f1m1ap150	Média	53,83	44,83	50,33	Eval Lenght
f1m2ap150	Média	65,83	88,83	71,83	Profundidade de corte 1,5 mm f1=ferramenta de metal duro só polida f2=ferramenta de metal duro com cobertura de boreto de titânio (TiB2) m1=Pinus eliotti m2=Corymbya Citriodora ap150= profundidade de corte de 1,5 mm vf= velocidade de avanço
f2m1ap150	Média	47,17	44,17	66,50	
f2m2ap150	Média	74,00	60,67	68,50	
Ensaio em Função da Rugosidade Total (Rt - µm)					

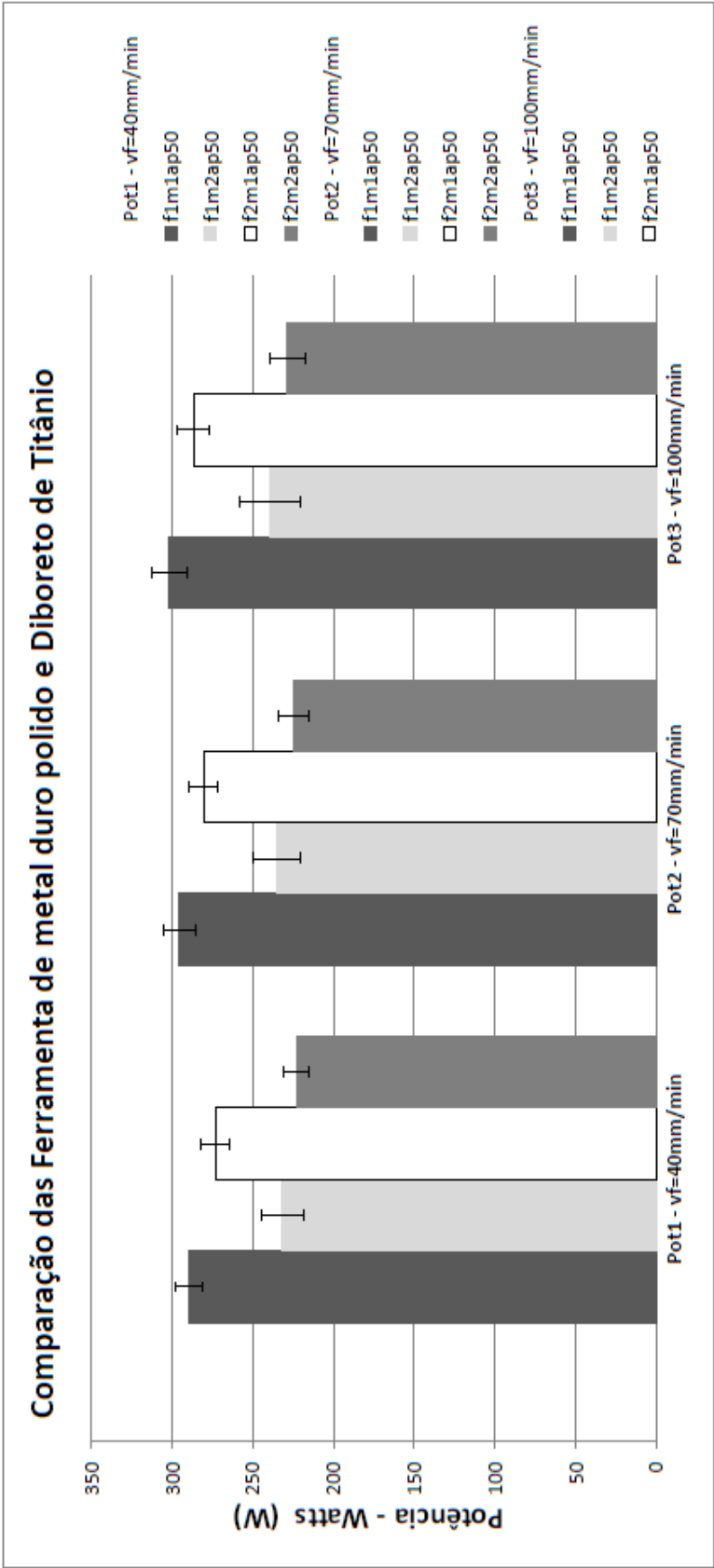


APÊNDICE G – Potência para Profundidade de 0,5 mm

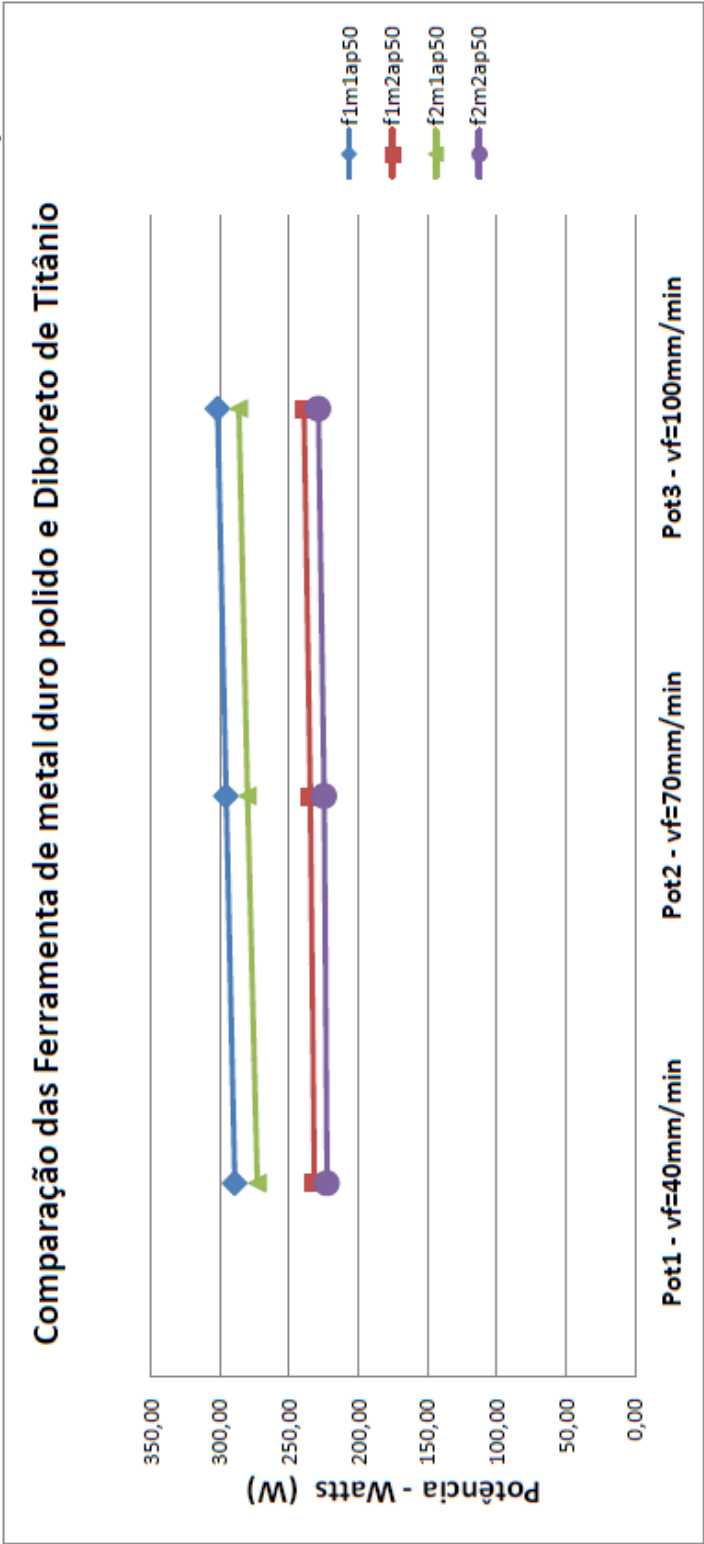
Ensaio em Função da Potência - Watts (W)					
CP	Fer+Mad+Profu cor	Pot1 - vf=40mm/min	Pot2 - vf=70mm/min	Pot3 - vf=100mm/min	
1	f1m1ap50	291,61	297,32	302,28	Gauss Lc = 2.50 mm
2	f1m1ap50	292,93	300,01	305,98	Eval Lenght 12.5mm
3	f1m1ap50	296,52	302,23	309,78	Profundidade de corte 0,5 mm
4	f1m1ap50	282,59	288,5	295,73	f1=ferramenta de metal duro só polida
5	f1m1ap50	275,56	279,21	283,32	f2=ferramenta de metal duro com cobertura
6	f1m1ap50	295,63	305,45	313,68	de boreto de titânio (TiB2)
m1=Pinus eliotti					
1	f1m2ap50	244,31	251,38	262,52	m2=Corymba Citriodora
2	f1m2ap50	227,57	231,16	235,17	ap50= profundidade de corte de 0,5 mm
3	f1m2ap50	226,3	225,98	230,26	vf= velocidade de avanço
4	f1m2ap50	251,64	254,97	263,47	
5	f1m2ap50	222,29	225,3	222,24	
6	f1m2ap50	217,32	219,23	221,39	
1	f2m1ap50	279,42	283,32	292,93	
2	f2m1ap50	257,19	264,84	268,54	
3	f2m1ap50	271,97	277,52	281,42	
4	f2m1ap50	278,36	285,81	291,24	
5	f2m1ap50	280,74	290,61	296,95	
6	f2m1ap50	270,71	279,42	287,97	
1	f2m2ap50	215,05	215,74	218,06	
2	f2m2ap50	234,64	239,24	246,31	
3	f2m2ap50	217,11	218,43	223,77	
4	f2m2ap50	219,01	221,76	225,72	
5	f2m2ap50	230,52	234,54	237,55	
6	f2m2ap50	219,70	218,80	220,60	

Ensaio em Função da Potência - Watts (W)				
f1m1ap50	Pot1 - vf=40mm/min	Pot2 - vf=70mm/min	Pot3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =
máximo	296,52	305,45	313,68	Eval Lenght
média	289,14	295,45	301,80	Profundidade de corte 0,5 mm
mínimo	275,56	279,21	283,32	f1=ferramenta de metal duro só polida
Desvio Padrão	8,30	9,82	10,96	f2=ferramenta de metal duro com cobertura de boreto de titânio (TiB2)
f1m2ap50	Pot1 - vf=40mm/min	Pot2 - vf=70mm/min	Pot3 - vf=100mm/min	m1=Pinus eliotti
máximo	251,64	254,97	263,47	m2=Corymbya Citriodora
média	231,57	234,67	239,18	ap50= profundidade de corte de 0,5 mm
mínimo	217,32	219,23	221,39	vf= velocidade de avanço
Desvio Padrão	13,40	14,87	19,15	
f2m1ap50	Pot1 - vf=40mm/min	Pot2 - vf=70mm/min	Pot3 - vf=100mm/min	
máximo	280,74	290,61	296,95	
média	273,06	280,25	286,51	
mínimo	257,19	264,84	268,54	
Desvio Padrão	8,79	8,87	10,23	
f2m2ap50	Pot1 - vf=40mm/min	Pot2 - vf=70mm/min	Pot3 - vf=100mm/min	
máximo	234,64	239,24	246,31	
média	222,68	224,75	228,67	
mínimo	215,05	215,74	218,06	
Desvio Padrão	7,95	9,71	10,96	

Elementos		Pot1 - vf=40mm/min	Pot2 - vf=70mm/min	Pot3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =
f1m1ap50	Média	289,14	295,45	301,80	Eval Length
	Desvio Padrão	8,30	9,82	10,96	12.5mm
f1m2ap50	Média	231,57	234,67	239,18	Profundidade de corte 0,5 mm f1=ferramenta de metal duro só polida f2=ferramenta de metal duro com cobertura de boreto de titânio (TiB2) m1=Pinus eliotti m2=Corymbya Citriodora ap50= profundidade de corte de 0,5 mm vf= velocidade de avanço
	Desvio Padrão	13,40	14,87	19,15	
f2m1ap50	Média	273,06	280,25	286,51	
	Desvio Padrão	8,79	8,87	10,23	
f2m2ap50	Média	222,68	224,75	228,67	
	Desvio Padrão	7,95	9,71	10,96	
Ensaio em Função da Potência - Watts (W)					



Elementos		Pot1 - vf=40mm/min	Pot2 - vf=70mm/min	Pot3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =	2.50 mm
f1m1ap50	Média	289,14	295,45	301,80	Eval Lenght	12.5mm
f1m2ap50	Média	231,57	234,67	239,18	Profundidade de corte 0,5 mm f1=ferramenta de metal duro só polida f2=ferramenta de metal duro com cobertura de boreto de titânio (TiB2) m1=Pinus eliotti m2=Corymba Citriodora ap50= profundidade de corte de 0,5 mm vf= velocidade de avanço	
f2m1ap50	Média	273,06	280,25	286,51		
f2m2ap50	Média	222,68	224,75	228,67		
Ensaio em Função da Potência - Watts (W)						

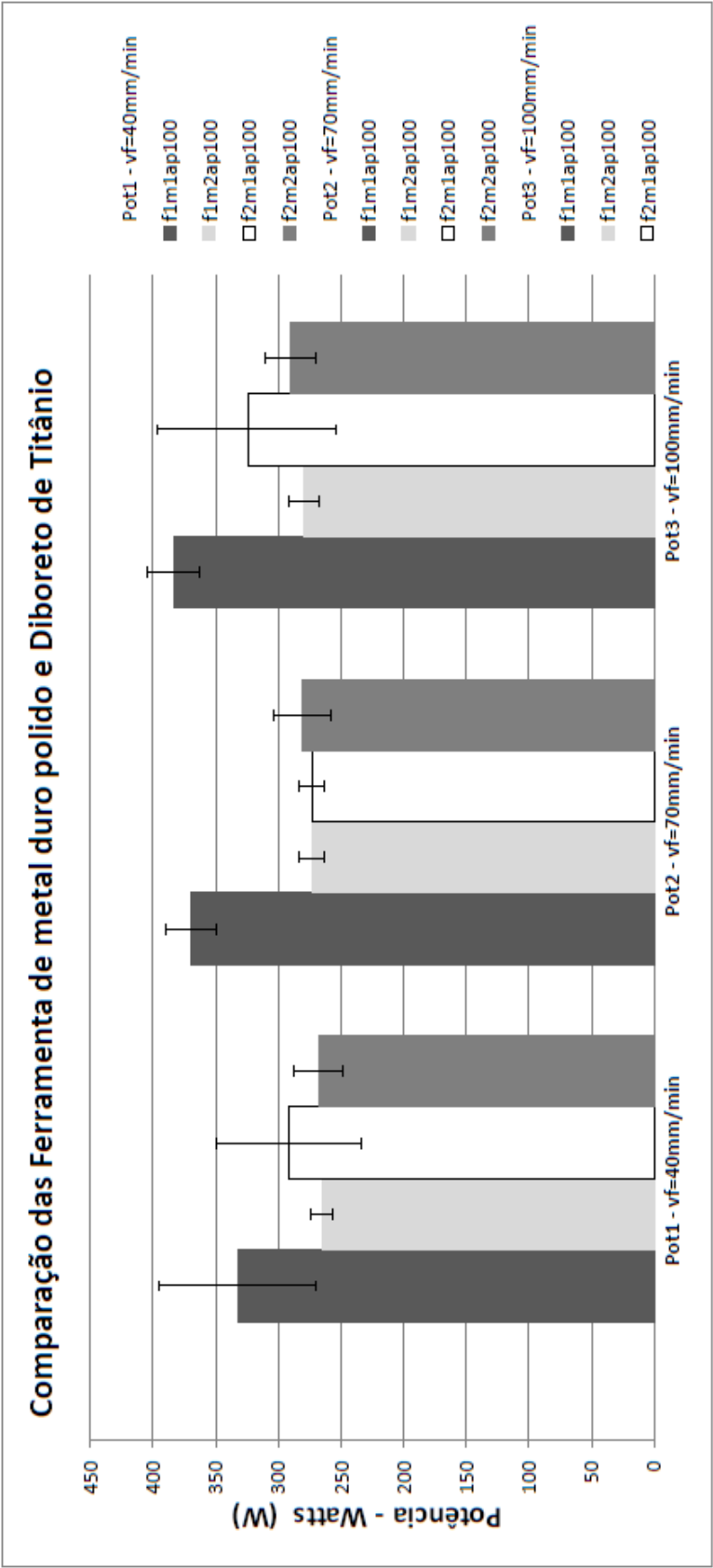


APÊNDICE H – Potência para Profundidade de 1,0 mm

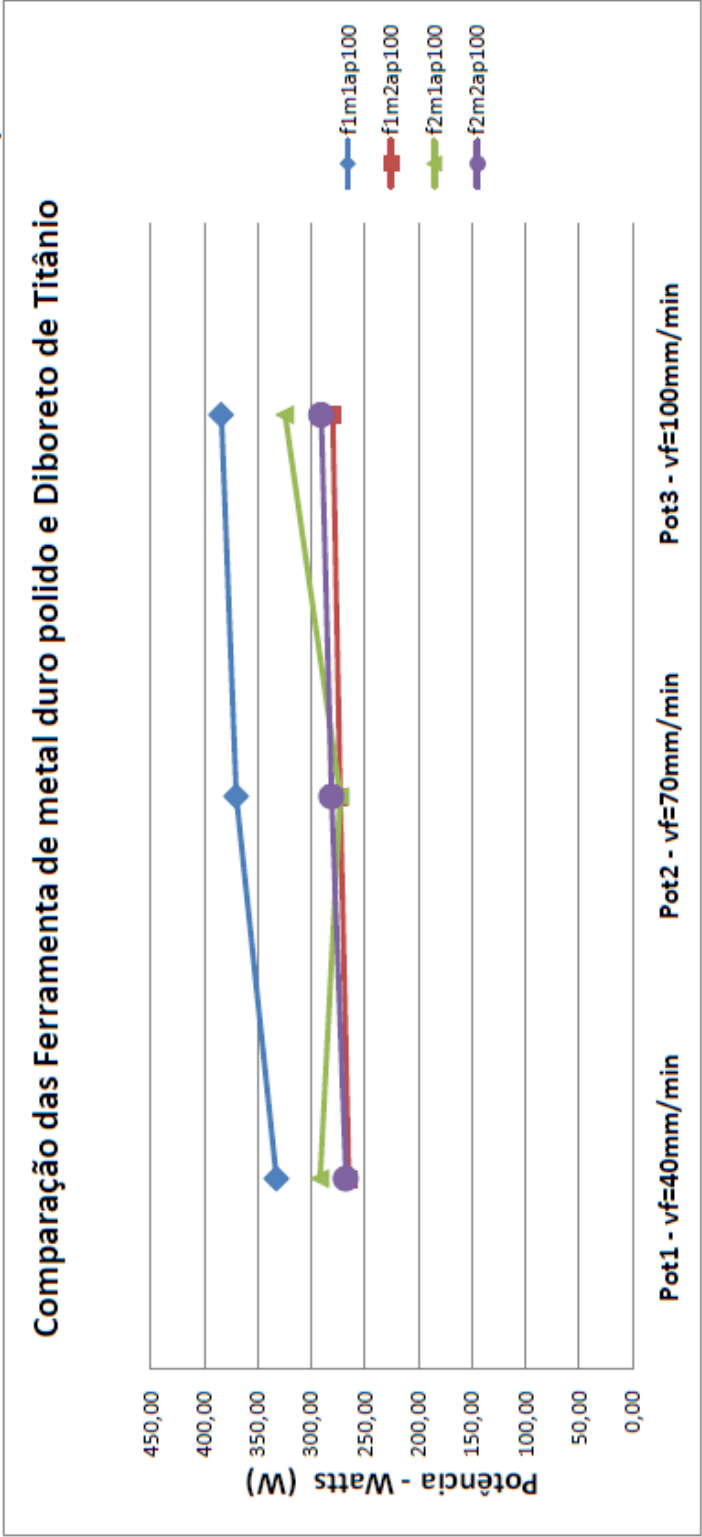
Ensaio em Função da Potência - Watts (W)					
CP	Fer+Mad+Profu cor	Pot1 - vf=40mm/min	Pot2 - vf=70mm/min	Pot3 - vf=100mm/min	
1	f1m1ap100	358,67	378,42	369,34	Gauss Lc = 2.50 mm
2	f1m1ap100	207,35	338,45	356,29	Eval Lenght 12.5mm
3	f1m1ap100	347,79	364,58	385,49	Profundidade de corte 1 mm
4	f1m1ap100	349,54	365,32	385,07	f1=ferramenta de metal duro só polida
5	f1m1ap100	350,86	371,5	386,92	f2=ferramenta de metal duro com cobertura
6	f1m1ap100	379,63	398,69	417,81	de boreto de titânio (TiB2)
m1=Pinus eliotti					
1	f1m2ap100	273,5	278,73	282,8	m2=Corymbya Citriodora
2	f1m2ap100	277,2	290,24	301,07	ap100= profundidade de corte de 1 mm
3	f1m2ap100	259,2	266,59	266,59	vf= velocidade de avanço
4	f1m2ap100	260,73	269,12	276,78	
5	f1m2ap100	254,81	260,57	268,91	
6	f1m2ap100	264,32	272,4	281,21	
m1=Pinus eliotti					
1	f2m1ap100	277,99	278,73	286,28	
2	f2m1ap100	311,94	290,24	312,47	
3	f2m1ap100	194,04	266,59	205,76	
4	f2m1ap100	274,82	269,12	378,36	
5	f2m1ap100	335,49	260,57	370,97	
6	f2m1ap100	356,45	272,40	392,83	
m1=Pinus eliotti					
1	f2m2ap100	293,20	311,68	313,63	
2	f2m2ap100	257,24	273,19	290,08	
3	f2m2ap100	274,40	295,05	306,77	
4	f2m2ap100	277,68	284,59	291,83	
5	f2m2ap100	236,33	245,15	255,29	
6	f2m2ap100	267,01	276,14	284,70	

Ensaio em Função da Potência - Watts (W)				
f1m1ap100	Pot1 - vf=40mm/min	Pot2 - vf=70mm/min	Pot3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =
máximo	379,63	398,69	417,81	Eval Lenght
média	332,31	369,49	383,49	Profundidade de corte 1 mm
mínimo	207,35	338,45	356,29	f1=ferramenta de metal duro só polida
Desvio Padrão	62,34	19,70	20,67	f2=ferramenta de metal duro com cobertura de boreto de titânio (TiB2)
m1=Pinus eliotti				
f1m2ap100	Pot1 - vf=40mm/min	Pot2 - vf=70mm/min	Pot3 - vf=100mm/min	m2=Corymbya Citriodora
máximo	277,20	290,24	301,07	ap100= profundidade de corte de 1 mm
média	264,96	272,94	279,56	vf= velocidade de avanço
mínimo	254,81	260,57	266,59	
Desvio Padrão	8,69	10,40	12,37	
m1=Pinus eliotti				
f2m1ap100	Pot1 - vf=40mm/min	Pot2 - vf=70mm/min	Pot3 - vf=100mm/min	
máximo	356,45	290,24	392,83	
média	291,79	272,94	324,45	
mínimo	194,04	260,57	205,76	
Desvio Padrão	57,50	10,40	71,32	
m2=Corymbya Citriodora				
f2m2ap100	Pot1 - vf=40mm/min	Pot2 - vf=70mm/min	Pot3 - vf=100mm/min	
máximo	293,20	311,68	313,63	
média	267,64	280,97	290,38	
mínimo	236,33	245,15	255,29	
Desvio Padrão	19,43	22,46	20,37	

Elementos		Pot1 - vf=40mm/min	Pot2 - vf=70mm/min	Pot3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =	2.50 mm
f1m1ap100	Média	332,31	369,49	383,49	Eval Lenght	12.5mm
	Desvio Padrão	62,34	19,70	20,67	Profundidade de corte 1 mm	
f1m2ap100	Média	264,96	272,94	279,56	f1=ferramenta de metal duro só polida	
	Desvio Padrão	8,69	10,40	12,37	f2=ferramenta de metal duro com cobertura	
f2m1ap100	Média	291,79	272,94	324,45	de boreto de titânio (TiB2)	
	Desvio Padrão	57,50	10,40	71,32	m1=Pinus eliotti	
f2m2ap100	Média	267,64	280,97	290,38	m2=Corymbya Citriodora	
	Desvio Padrão	19,43	22,46	20,37	ap100= profundidade de corte de 1 mm	
Ensaio em Função da Potência - Watts (W)						
vf= velocidade de avanço						



Elementos		Pot1 - vf=40mm/min	Pot2 - vf=70mm/min	Pot3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =
f1m1ap100	Média	332,31	369,49	383,49	Eval Lenght
f1m2ap100	Média	264,96	272,94	279,56	Profundidade de corte 1 mm f1=ferramenta de metal duro só polida f2=ferramenta de metal duro com cobertura de boreto de titânio (TiB2) m1=Pinus eliotti m2=Corymbya Citriodora ap100= profundidade de corte de 1 mm vf= velocidade de avanço
f2m1ap100	Média	291,79	272,94	324,45	
f2m2ap100	Média	267,64	280,97	290,38	
Ensaio em Função da Potência - Watts (W)					

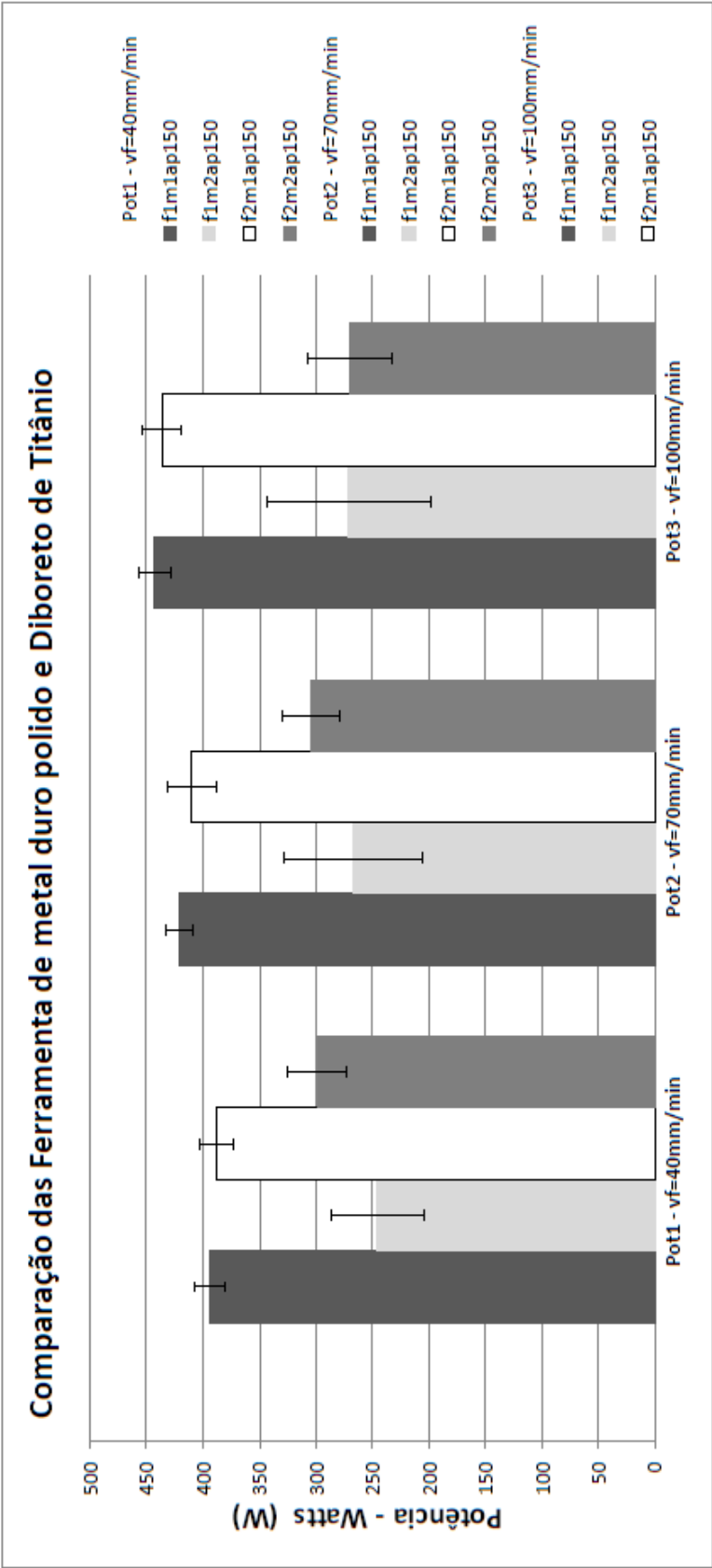


APÊNDICE I – Potência para Profundidade de 1,5 mm

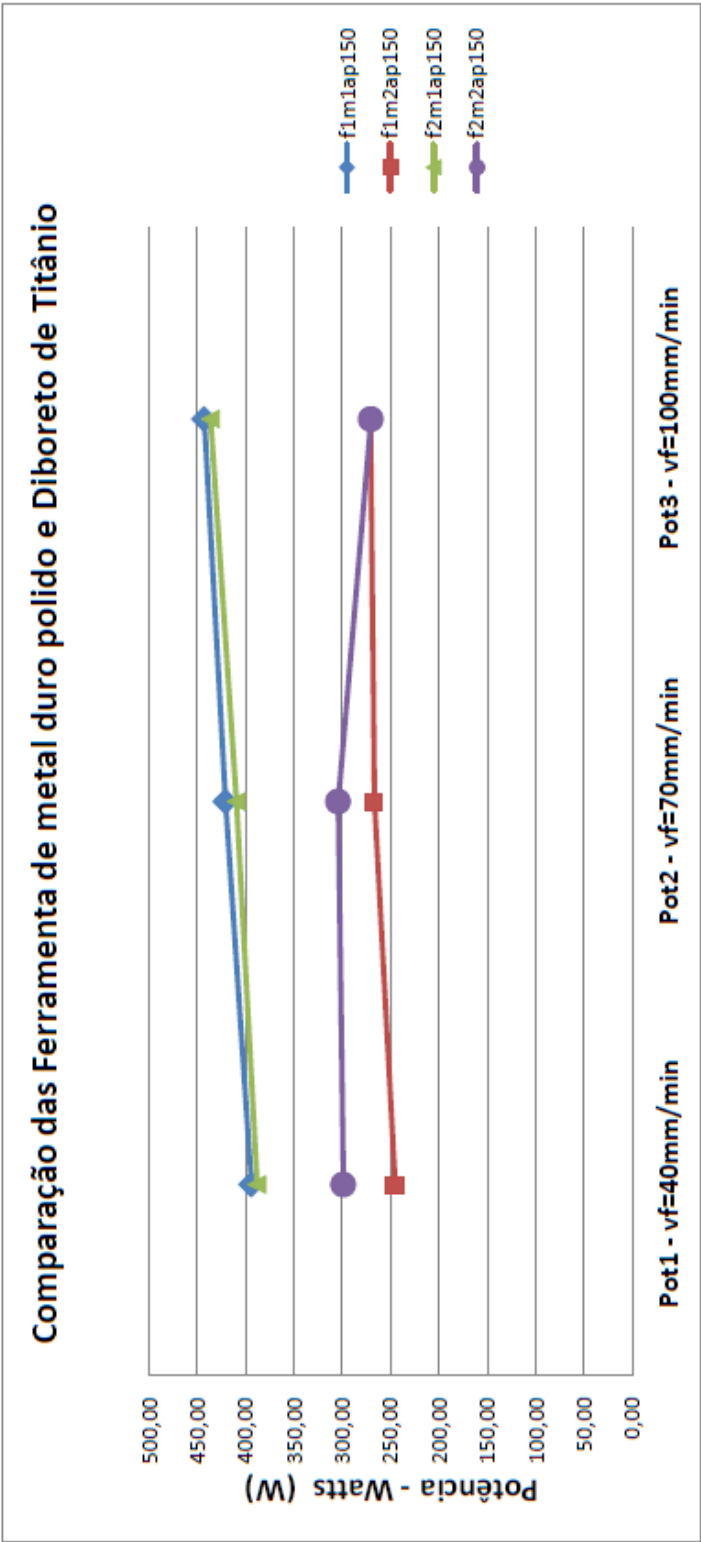
Ensaio em Função da Potência - Watts (W)					
CP	Fer+Mad+Profu cor	Pot1 - vf=40mm/min	Pot2 - vf=70mm/min	Pot3 - vf=100mm/min	
1	f1m1ap150	382,38	411,68	438,03	Gauss Lc = 2.50 mm
2	f1m1ap150	389,24	415,17	435,49	Eval Length 12.5mm
3	f1m1ap150	399,17	422,72	434,17	Profundidade de corte 1,5 mm f1=ferramenta de metal duro só polida f2=ferramenta de metal duro com cobertura de boreto de titânio (TiB2) m1=Pinus eliotti m2=Corymbya Citriodora ap150= profundidade de corte de 1,5 mm vf= velocidade de avanço
4	f1m1ap150	383,28	411,1	434,76	
5	f1m1ap150	416,64	444,63	471,66	
6	f1m1ap150	394,15	419,02	443,1	
1	f1m2ap150	191,03	193,04	186,75	
2	f1m2ap150	196,26	196,52	181,1	
3	f1m2ap150	283,96	294,78	294,36	
4	f1m2ap150	255,66	345,79	362,47	
5	f1m2ap150	280,79	296,42	311,36	
6	f1m2ap150	264,79	275,88	290,14	
1	f2m1ap150	382,75	382,32	426,52	
2	f2m1ap150	373,03	395,26	415,17	
3	f2m1ap150	391,62	413,00	440,62	
4	f2m1ap150	387,08	409,99	432,22	
5	f2m1ap150	413,95	444,58	467,81	
6	f2m1ap150	379,53	414,27	435,81	
1	f2m2ap150	283,48	291,93	297,37	
2	f2m2ap150	278,41	280,84	272,98	
3	f2m2ap150	299,85	307,14	212,78	
4	f2m2ap150	315,27	318,07	311,63	
5	f2m2ap150	341,67	346,84	237,55	
6	f2m2ap150	273,77	281,69	289,61	

Ensaio em Função da Potência - Watts (W)				
f1m1ap150	Pot1 - vf=40mm/min	Pot2 - vf=70mm/min	Pot3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =
máximo	416,64	444,63	471,66	Eval Lenght
média	394,14	420,72	442,87	Profundidade de corte 1,5 mm
mínimo	382,38	411,10	434,17	f1=ferramenta de metal duro só polida
Desvio Padrão	12,74	12,52	14,48	f2=ferramenta de metal duro com cobertura de boreto de titânio (TiB2)
f1m2ap150	Pot1 - vf=40mm/min	Pot2 - vf=70mm/min	Pot3 - vf=100mm/min	m1=Pinus eliotti
máximo	283,96	345,79	362,47	m2=Corymbya Citriodora
média	245,42	267,07	271,03	ap150= profundidade de corte de 1,5 mm
mínimo	191,03	193,04	181,10	vf= velocidade de avanço
Desvio Padrão	41,45	60,60	72,23	
f2m1ap150	Pot1 - vf=40mm/min	Pot2 - vf=70mm/min	Pot3 - vf=100mm/min	
máximo	413,95	444,58	467,81	
média	387,99	409,90	436,36	
mínimo	373,03	382,32	415,17	
Desvio Padrão	14,22	21,00	17,72	
f2m2ap150	Pot1 - vf=40mm/min	Pot2 - vf=70mm/min	Pot3 - vf=100mm/min	
máximo	341,67	346,84	311,63	
média	298,74	304,42	270,32	
mínimo	273,77	280,84	212,78	
Desvio Padrão	26,03	25,38	37,95	

Elementos		Pot1 - vf=40mm/min	Pot2 - vf=70mm/min	Pot3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =	2.50 mm
f1m1ap150	Média	394,14	420,72	442,87	Eval Lenght	12.5mm
	Desvio Padrão	12,74	12,52	14,48	Profundidade de corte 1,5 mm	
f1m2ap150	Média	245,42	267,07	271,03	f1=ferramenta de metal duro só polida	
	Desvio Padrão	41,45	60,60	72,23	f2=ferramenta de metal duro com cobertura	
f2m1ap150	Média	387,99	409,90	436,36	de boreto de titânio (TiB2)	
	Desvio Padrão	14,22	21,00	17,72	m1=Pinus eliotti	
f2m2ap150	Média	298,74	304,42	270,32	m2=Corymbya Citriodora	
	Desvio Padrão	26,03	25,38	37,95	ap150= profundidade de corte de 1,5 mm	
Ensaios em Função da Potência - Watts (W)						
vf= velocidade de avanço						



Elementos		Pot1 - vf=40mm/min	Pot2 - vf=70mm/min	Pot3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =
f1m1ap150	Média	394,14	420,72	442,87	Eval Lenght
f1m2ap150	Média	245,42	267,07	271,03	12,5mm
f2m1ap150	Média	387,99	409,90	436,36	Profundidade de corte 1,5 mm
f2m2ap150	Média	298,74	304,42	270,32	f1=ferramenta de metal duro só polida
Ensaio em Função da Potência - Watts (W)					
de boreto de titânio (TiB2)					
m1=Pinus eliotti					
m2=Corymbya Citriodora					
ap150= profundidade de corte de 1,5 mm					
vf= velocidade de avanço					

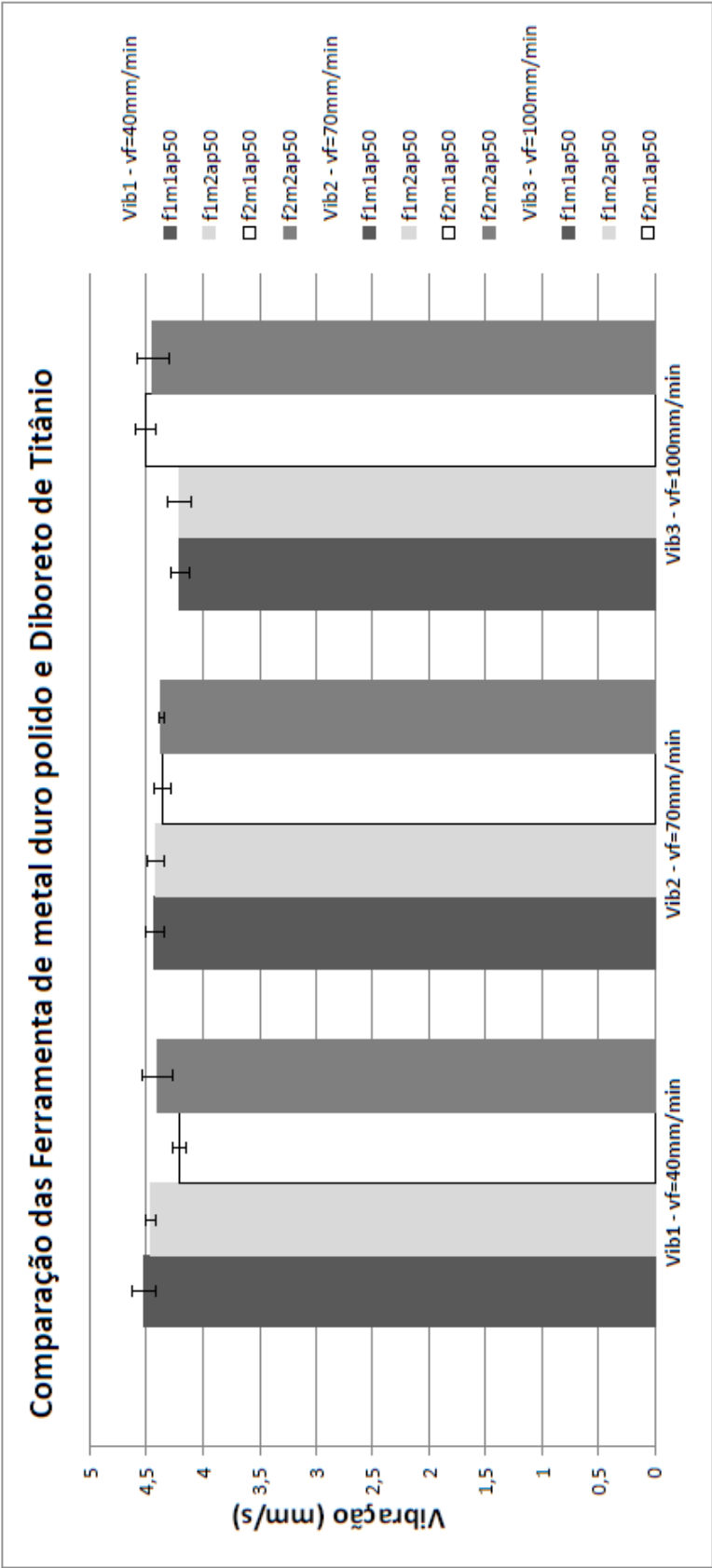


APÊNDICE J – Vibração para Profundidade de 0,5 mm

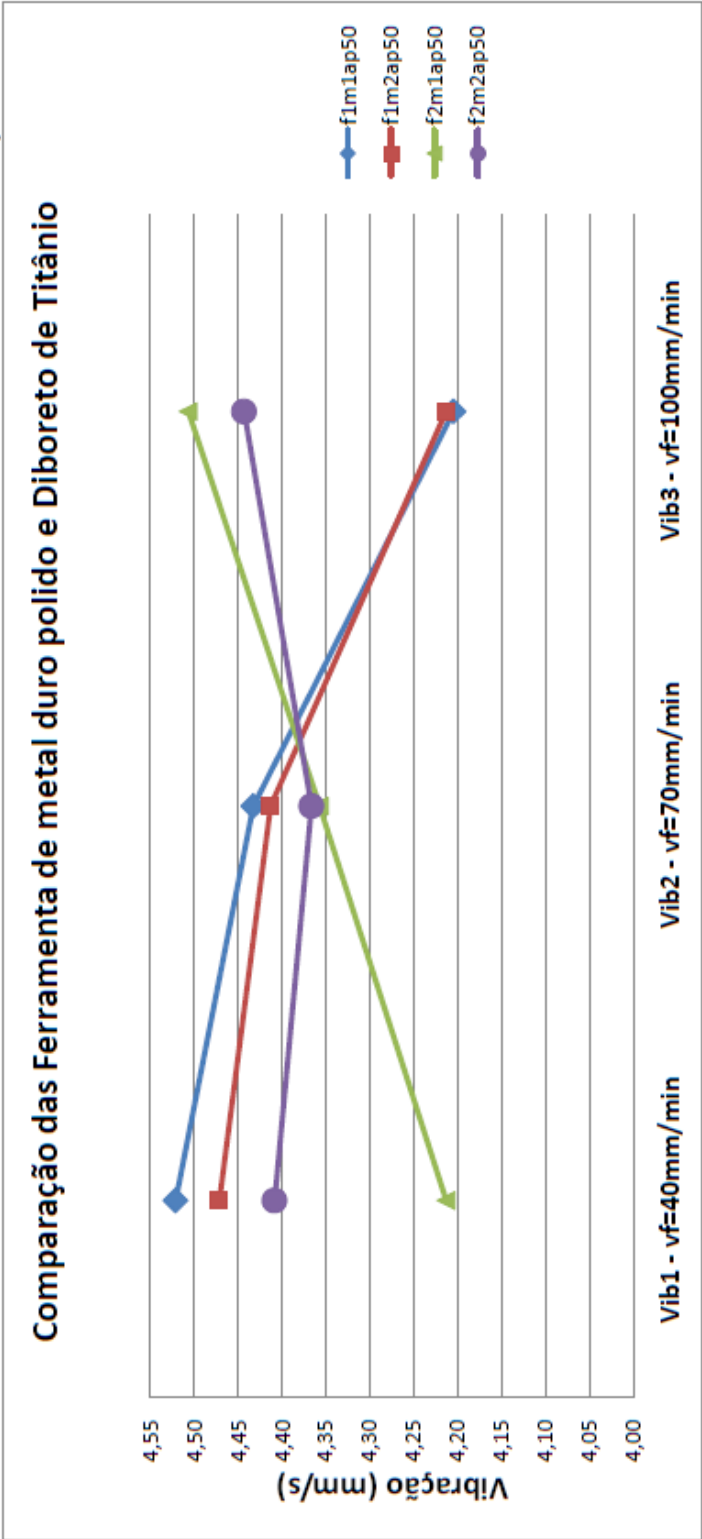
Ensaio em Função da Vibração - Metros por segundo (mm/s)					
CP	Fer+Mad+Profu cor	Vib1 - vf=40mm/min	Vib2 - vf=70mm/min	Vib3 - vf=100mm/min	
1	f1m1ap50	4,67	4,56	4,20	Gauss Lc = 2.50 mm
2	f1m1ap50	4,56	4,46	4,33	Eval Lenght 12.5mm
3	f1m1ap50	4,52	4,46	4,21	Profundidade de corte 0,5 mm
4	f1m1ap50	4,52	4,42	4,21	f1=ferramenta de metal duro só polida
5	f1m1ap50	4,50	4,39	4,20	f2=ferramenta de metal duro com cobertura
6	f1m1ap50	4,35	4,31	4,07	de boreto de titânio (TiB2)
m1=Pinus eliotti					
1	f1m2ap50	4,44	4,53	4,28	m2=Corymbya Citriodora
2	f1m2ap50	4,45	4,46	4,33	ap50= profundidade de corte de 0,5 mm
3	f1m2ap50	4,50	4,41	4,19	vf= velocidade de avanço
4	f1m2ap50	4,50	4,39	4,27	
5	f1m2ap50	4,53	4,37	4,03	
6	f1m2ap50	4,41	4,32	4,18	
1	f2m1ap50	4,30	4,33	4,56	
2	f2m1ap50	4,14	4,25	4,34	
3	f2m1ap50	4,20	4,42	4,53	
4	f2m1ap50	4,17	4,39	4,58	
5	f2m1ap50	4,28	4,43	4,48	
6	f2m1ap50	4,19	4,33	4,56	
1	f2m2ap50	4,27	4,33	4,56	
2	f2m2ap50	4,23	4,36	4,17	
3	f2m2ap50	4,40	4,36	4,51	
4	f2m2ap50	4,50	4,40	4,58	
5	f2m2ap50	4,59	4,39	4,42	
6	f2m2ap50	4,46	4,36	4,42	

Ensaio em Função da Vibração - Metros por segundo (mm/s)				
f1m1ap50	Vib1 - vf=40mm/min	Vib2 - vf=70mm/min	Vib3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =
máximo	4,67	4,56	4,33	Eval Length
média	4,52	4,43	4,20	Profundidade de corte 0,5 mm
mínimo	4,35	4,31	4,07	f1=ferramenta de metal duro só polida
Desvio Padrão	0,10	0,08	0,08	f2=ferramenta de metal duro com cobertura de boreto de titânio (TiB2)
f1m2ap50	Vib1 - vf=40mm/min	Vib2 - vf=70mm/min	Vib3 - vf=100mm/min	m1=Pinus eliotti
máximo	4,53	4,53	4,33	m2=Corymbia Citriodora
média	4,47	4,41	4,21	ap50= profundidade de corte de 0,5 mm
mínimo	4,41	4,32	4,03	vf= velocidade de avanço
Desvio Padrão	0,05	0,07	0,10	
f2m1ap50	Vib1 - vf=40mm/min	Vib2 - vf=70mm/min	Vib3 - vf=100mm/min	
máximo	4,30	4,43	4,58	
média	4,21	4,36	4,51	
mínimo	4,14	4,25	4,34	
Desvio Padrão	0,06	0,07	0,09	
f2m2ap50	Vib1 - vf=40mm/min	Vib2 - vf=70mm/min	Vib3 - vf=100mm/min	
máximo	4,59	4,40	4,58	
média	4,41	4,37	4,44	
mínimo	4,23	4,33	4,17	
Desvio Padrão	0,14	0,02	0,15	

Elementos		Vib1 - vf=40mm/min	Vib2 - vf=70mm/min	Vib3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =
f1m1ap50	Média	4,52	4,43	4,20	2.50 mm
	Desvio Padrão	0,10	0,08	0,08	12.5mm
f1m2ap50	Média	4,47	4,41	4,21	Profundidade de corte 0,5 mm
	Desvio Padrão	0,05	0,07	0,10	f1=ferramenta de metal duro só polida
f2m1ap50	Média	4,21	4,36	4,51	f2=ferramenta de metal duro com cobertura
	Desvio Padrão	0,06	0,07	0,09	de boreto de titânio (TiB2)
f2m2ap50	Média	4,41	4,37	4,44	m1=Pinus eliotti
	Desvio Padrão	0,14	0,02	0,15	m2=Corymbya Citriodora
Ensaio em Função da Vibração - Metros por segundo (mm/s)					ap50= profundidade de corte de 0,5 mm
					vf= velocidade de avanço



Elementos		Vib1 - vf=40mm/min	Vib2 - vf=70mm/min	Vib3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =
f1m1ap50	Média	4,52	4,43	4,20	Eval Lenght
f1m2ap50	Média	4,47	4,41	4,21	Profundidade de corte 0,5 mm f1=ferramenta de metal duro só polida f2=ferramenta de metal duro com cobertura de boreto de titânio (TiB2)
f2m1ap50	Média	4,21	4,36	4,51	
f2m2ap50	Média	4,41	4,37	4,44	
Ensaio em Função da Vibração - Metros por segundo (mm/s)					
m1=Pinus eliotti					
m2=Corymbya Citriodora					
ap50= profundidade de corte de 0,5 mm					
vf= velocidade de avanço					

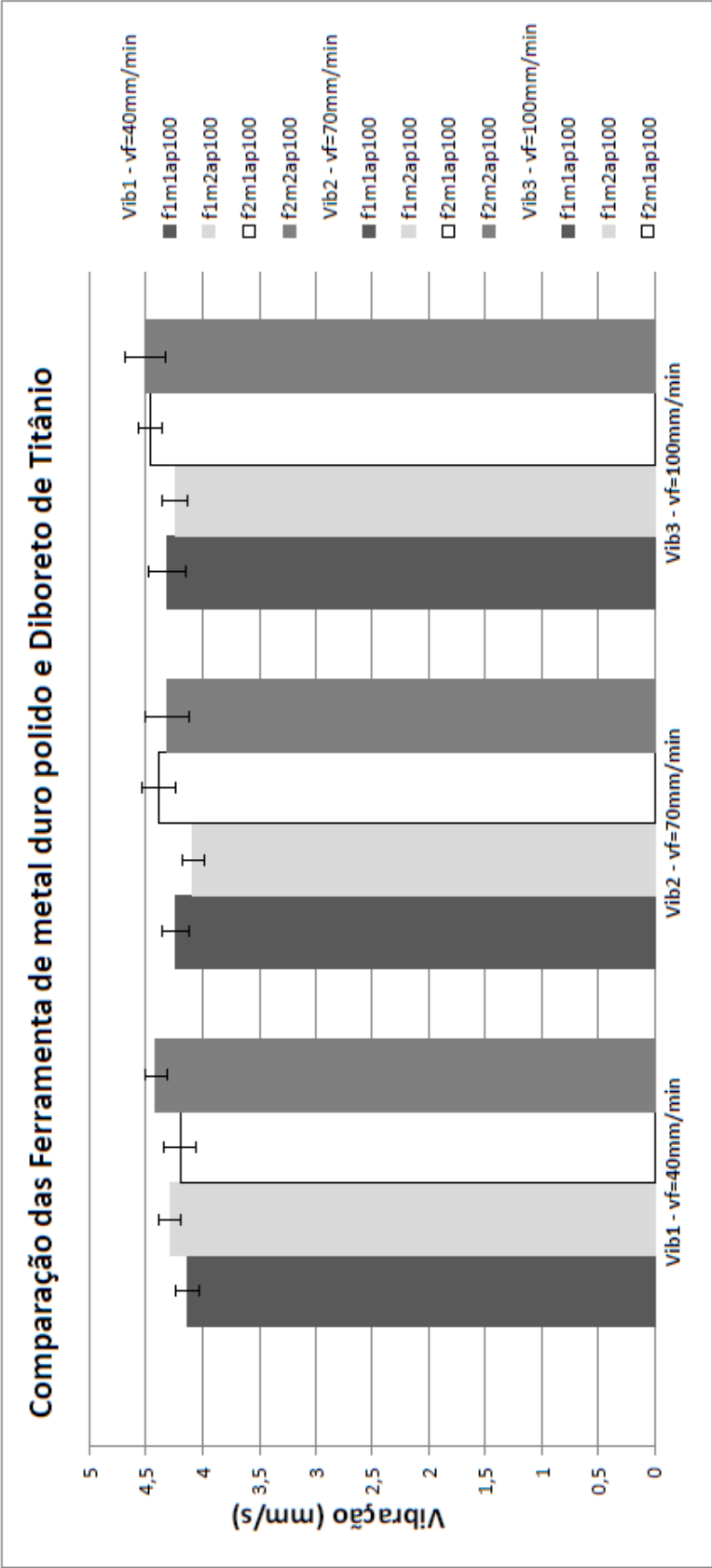


APÊNDICE K – Vibração para Profundidade de 1,0 mm

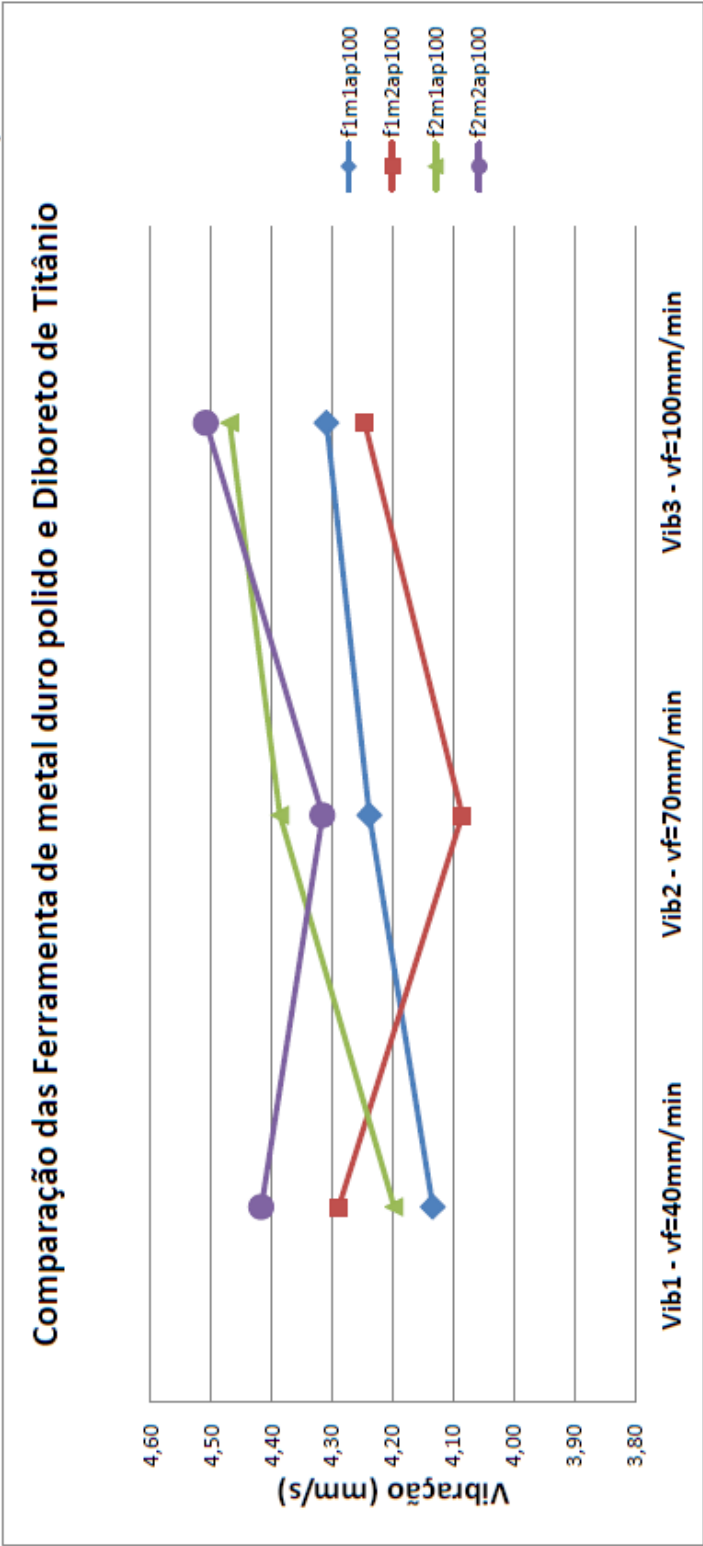
Ensaio em Função da Vibração - Metros por segundo (mm/s)					
CP	Fer+Mad+Profu cor	Vib1 - vf=40mm/min	Vib2 - vf=70mm/min	Vib3 - vf=100mm/min	
1	f1m1ap100	4,24	4,44	4,37	Gauss Lc =
2	f1m1ap100	4,10	4,26	4,28	Eval Length
3	f1m1ap100	4,16	4,24	4,53	Profundidade de corte 1 mm
4	f1m1ap100	4,20	4,19	4,04	f1=ferramenta de metal duro só polida
5	f1m1ap100	4,15	4,08	4,25	f2=ferramenta de metal duro com cobertura
6	f1m1ap100	3,95	4,23	4,39	de boreto de titânio (TiB2)
m1=Pinus eliotti					
1	f1m2ap100	4,20	4,18	4,24	m2=Corymbya Citriodora
2	f1m2ap100	4,17	4,14	4,30	ap100= profundidade de corte de 1 mm
3	f1m2ap100	4,38	4,00	4,42	vf= velocidade de avanço
4	f1m2ap100	4,23	3,96	4,18	
5	f1m2ap100	4,35	4,05	4,10	
6	f1m2ap100	4,41	4,17	4,24	
1	f2m1ap100	4,27	4,39	4,42	
2	f2m1ap100	4,23	4,24	4,34	
3	f2m1ap100	4,08	4,28	4,63	
4	f2m1ap100	4,18	4,28	4,47	
5	f2m1ap100	4,41	4,62	4,41	
6	f2m1ap100	4,02	4,50	4,54	
1	f2m2ap100	4,55	4,27	4,45	
2	f2m2ap100	4,30	4,09	4,27	
3	f2m2ap100	4,43	4,39	4,83	
4	f2m2ap100	4,48	4,11	4,50	
5	f2m2ap100	4,30	4,55	4,44	
6	f2m2ap100	4,44	4,49	4,55	

Ensaio em Função da Vibração - Metros por segundo (mm/s)				
f1m1ap100	Vib1 - vf=40mm/min	Vib2 - vf=70mm/min	Vib3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =
	máximo	4,24	4,44	4,53
	média	4,13	4,24	4,31
	mínimo	3,95	4,08	4,04
Desvio Padrão	0,10	0,12	0,17	
Profundidade de corte 1 mm f1=ferramenta de metal duro só polida f2=ferramenta de metal duro com cobertura de boreto de titânio (TiB2)				
f1m2ap100	Vib1 - vf=40mm/min	Vib2 - vf=70mm/min	Vib3 - vf=100mm/min	m1=Pinus eliotti
	máximo	4,41	4,18	4,42
	média	4,29	4,08	4,25
	mínimo	4,17	3,96	4,10
Desvio Padrão	0,10	0,09	0,11	
m2=Corymbya Citriodora ap100= profundidade de corte de 1 mm vf= velocidade de avanço				
f2m1ap100	Vib1 - vf=40mm/min	Vib2 - vf=70mm/min	Vib3 - vf=100mm/min	
	máximo	4,41	4,62	4,63
	média	4,20	4,39	4,47
	mínimo	4,02	4,24	4,34
Desvio Padrão	0,14	0,15	0,10	
f2m2ap100	Vib1 - vf=40mm/min	Vib2 - vf=70mm/min	Vib3 - vf=100mm/min	
	máximo	4,55	4,55	4,83
	média	4,42	4,32	4,51
	mínimo	4,30	4,09	4,27
Desvio Padrão	0,10	0,19	0,18	

Elementos		Vib1 - vf=40mm/min	Vib2 - vf=70mm/min	Vib3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =
f1m1ap100	Média	4,13	4,24	4,31	Eval Lenght
	Desvio Padrão	0,10	0,12	0,17	12.5mm
f1m2ap100	Média	4,29	4,08	4,25	Profundidade de corte 1 mm
	Desvio Padrão	0,10	0,09	0,11	f1=ferramenta de metal duro só polida
f2m1ap100	Média	4,20	4,39	4,47	f2=ferramenta de metal duro com cobertura
	Desvio Padrão	0,14	0,15	0,10	de boreto de titânio (TiB2)
f2m2ap100	Média	4,42	4,32	4,51	m1=Pinus eliotti
	Desvio Padrão	0,10	0,19	0,18	m2=Corymbya Citriodora
Ensaios em Função da Vibração - Metros por segundo (mm/s)					
ap100= profundidade de corte de 1 mm					
vf= velocidade de avanço					



Elementos		Vib1 - vf=40mm/min	Vib2 - vf=70mm/min	Vib3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =	
f1m1ap100	Média	4,13	4,24	4,31	Eval Lenght	2.50 mm
f1m2ap100	Média	4,29	4,08	4,25	Profundidade de corte 1 mm	
f2m1ap100	Média	4,20	4,39	4,47	f1=ferramenta de metal duro só polida	
f2m2ap100	Média	4,42	4,32	4,51	f2=ferramenta de metal duro com cobertura de boreto de titânio (TiB2)	
Ensaíos em Função da Vibração - Metros por segundo (mm/s)						
m1=Pinus eliotti						
m2=Corymbya Citriodora						
ap100= profundidade de corte de 1 mm						
vf= velocidade de avanço						



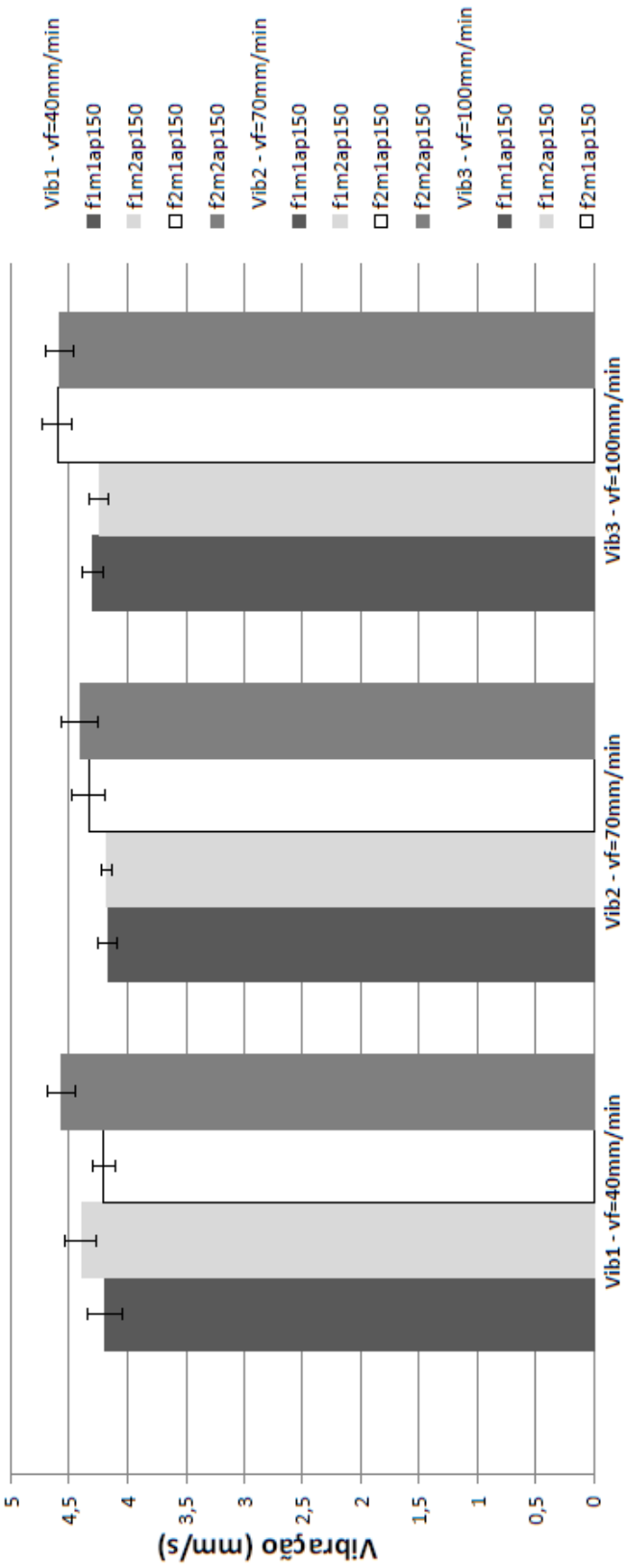
APÊNDICE L – Vibração para Profundidade de 1,5 mm

Ensaio em Função da Vibração - Metros por segundo (mm/s)					
CP	Fer+Mad+Profu cor	Vib1 - vf=40mm/min	Vib2 - vf=70mm/min	Vib3 - vf=100mm/min	
1	f1m1ap150	4,27	4,27	4,22	Gauss Lc = 2.50 mm
2	f1m1ap150	4,13	4,11	4,46	Eval Lenght 12.5mm
3	f1m1ap150	4,40	4,15	4,24	Profundidade de corte 1,5 mm
4	f1m1ap150	3,97	4,05	4,29	f1=ferramenta de metal duro só polida
5	f1m1ap150	4,16	4,18	4,29	f2=ferramenta de metal duro com cobertura
6	f1m1ap150	4,23	4,25	4,30	de boreto de titânio (TiB2)
m1=Pinus eliotti					
1	f1m2ap150	4,32	4,23	4,39	m2=Corymba Citriodora
2	f1m2ap150	4,28	4,25	4,13	ap150= profundidade de corte de 1,5 mm
3	f1m2ap150	4,62	4,17	4,24	vf= velocidade de avanço
4	f1m2ap150	4,46	4,12	4,24	
5	f1m2ap150	4,26	4,16	4,29	
6	f1m2ap150	4,45	4,16	4,19	
1	f2m1ap150	4,23	4,15	4,48	
2	f2m1ap150	4,16	4,37	4,63	
3	f2m1ap150	4,06	4,49	4,47	
4	f2m1ap150	4,19	4,20	4,62	
5	f2m1ap150	4,30	4,31	4,81	
6	f2m1ap150	4,30	4,48	4,60	
1	f2m2ap150	4,62	4,22	4,47	
2	f2m2ap150	4,57	4,34	4,60	
3	f2m2ap150	4,34	4,58	4,41	
4	f2m2ap150	4,66	4,30	4,73	
5	f2m2ap150	4,57	4,38	4,65	
6	f2m2ap150	4,65	4,62	4,64	

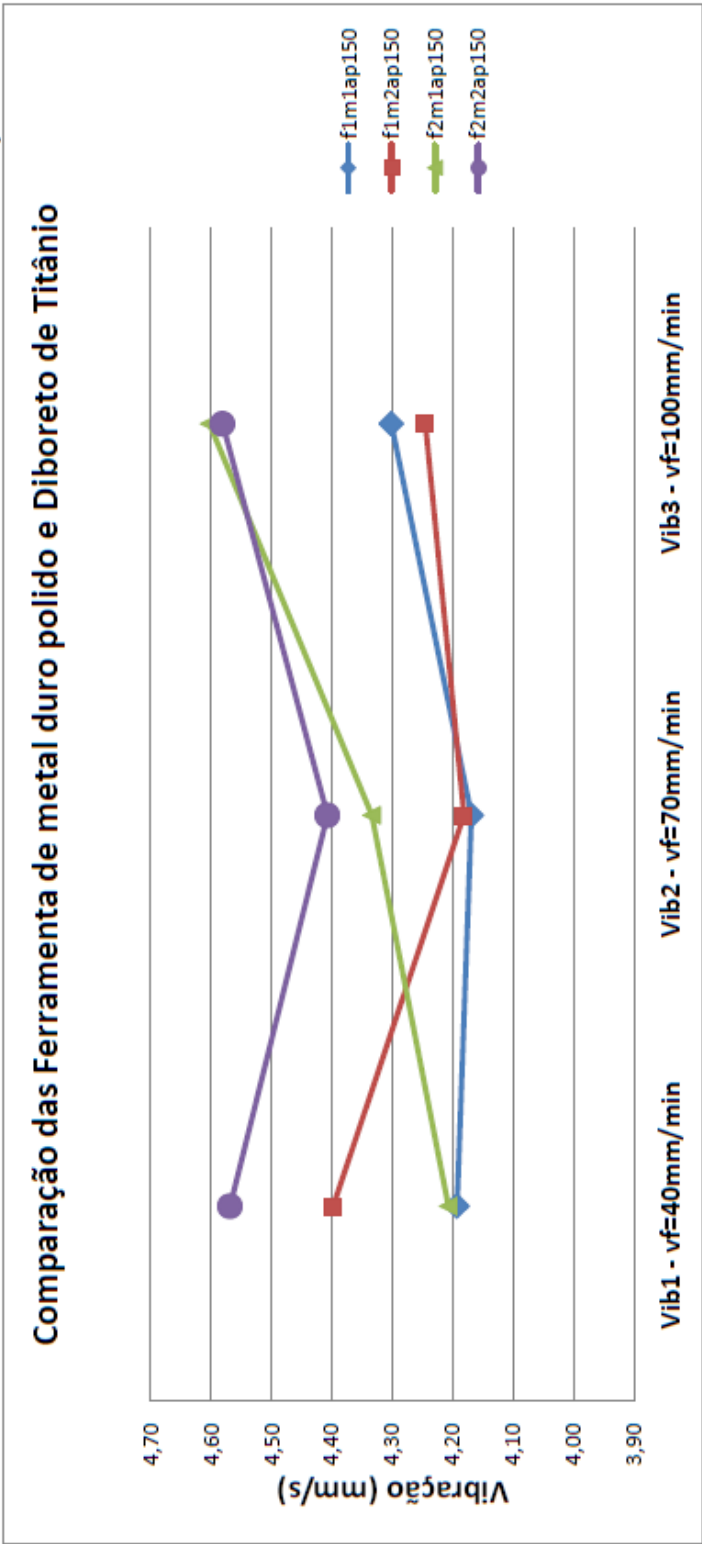
Ensaio em Função da Vibração - Metros por segundo (mm/s)				
f1m1ap150	Vib1 - vf=40mm/min	Vib2 - vf=70mm/min	Vib3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =
	máximo	4,40	4,27	4,46
	média	4,19	4,17	4,30
	mínimo	3,97	4,05	4,22
Desvio Padrão	0,14	0,08	0,08	0,08
f1=ferramenta de metal duro só polida f2=ferramenta de metal duro com cobertura de boreto de titânio (TiB2)				
f1m2ap150	Vib1 - vf=40mm/min	Vib2 - vf=70mm/min	Vib3 - vf=100mm/min	m1=Pinus eliotti
	máximo	4,62	4,25	4,39
	média	4,40	4,18	4,25
	mínimo	4,26	4,12	4,13
Desvio Padrão	0,14	0,05	0,05	0,09
m2=Corymba Citriodora ap150= profundidade de corte de 1,5 mm vf= velocidade de avanço				
f2m1ap150	Vib1 - vf=40mm/min	Vib2 - vf=70mm/min	Vib3 - vf=100mm/min	
	máximo	4,30	4,49	4,81
	média	4,21	4,33	4,60
	mínimo	4,06	4,15	4,47
Desvio Padrão	0,09	0,14	0,12	0,12
f2m2ap150	Vib1 - vf=40mm/min	Vib2 - vf=70mm/min	Vib3 - vf=100mm/min	
	máximo	4,66	4,62	4,73
	média	4,57	4,41	4,58
	mínimo	4,34	4,22	4,41
Desvio Padrão	0,12	0,16	0,12	0,12

Elementos		Vib1 - vf=40mm/min	Vib2 - vf=70mm/min	Vib3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =	2.50 mm
f1m1ap150	Média	4,19	4,17	4,30	Eval Lenght	12.5mm
	Desvio Padrão	0,14	0,08	0,08	Profundidade de corte 1,5 mm	
f1m2ap150	Média	4,40	4,18	4,25	f1=ferramenta de metal duro só polida	
	Desvio Padrão	0,14	0,05	0,09	f2=ferramenta de metal duro com cobertura	
f2m1ap150	Média	4,21	4,33	4,60	de boreto de titânio (TiB2)	
	Desvio Padrão	0,09	0,14	0,12	m1=Pinus eliotti	
f2m2ap150	Média	4,57	4,41	4,58	m2=Corymbya Citriodora	
	Desvio Padrão	0,12	0,16	0,12	ap150= profundidade de corte de 1,5 mm	
Ensaios em Função da Vibração - Metros por segundo (mm/s)						
vf= velocidade de avanço						

Comparação das Ferramenta de metal duro polido e Diboreto de Titânio



Elementos		Vib1 - vf=40mm/min	Vib2 - vf=70mm/min	Vib3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =
f1m1ap150	Média	4,19	4,17	4,30	Eval Lenght
f1m2ap150	Média	4,40	4,18	4,25	12,5mm
f2m1ap150	Média	4,21	4,33	4,60	Profundidade de corte 1,5 mm
f2m2ap150	Média	4,57	4,41	4,58	f1=ferramenta de metal duro só polida
Ensaio em Função da Vibração - Metros por segundo (mm/s)					f2=ferramenta de metal duro com cobertura de boreto de titânio (TiB2)
					m1=Pinus eliotti
					m2=Corymbya Citriodora
					ap150= profundidade de corte de 1,5 mm
					vf= velocidade de avanço

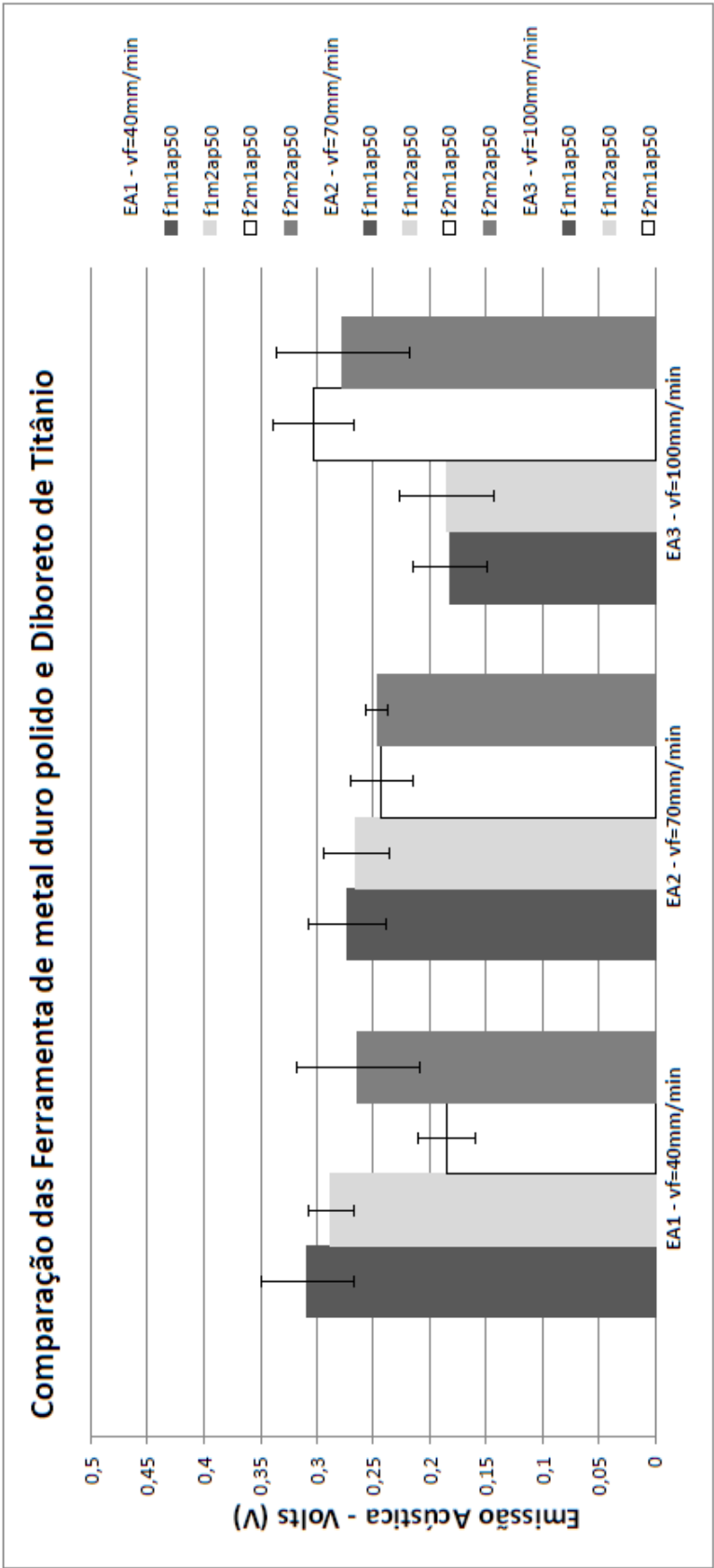


APÊNDICE M – Emissão Acústica para Profundidade de 0,5 mm

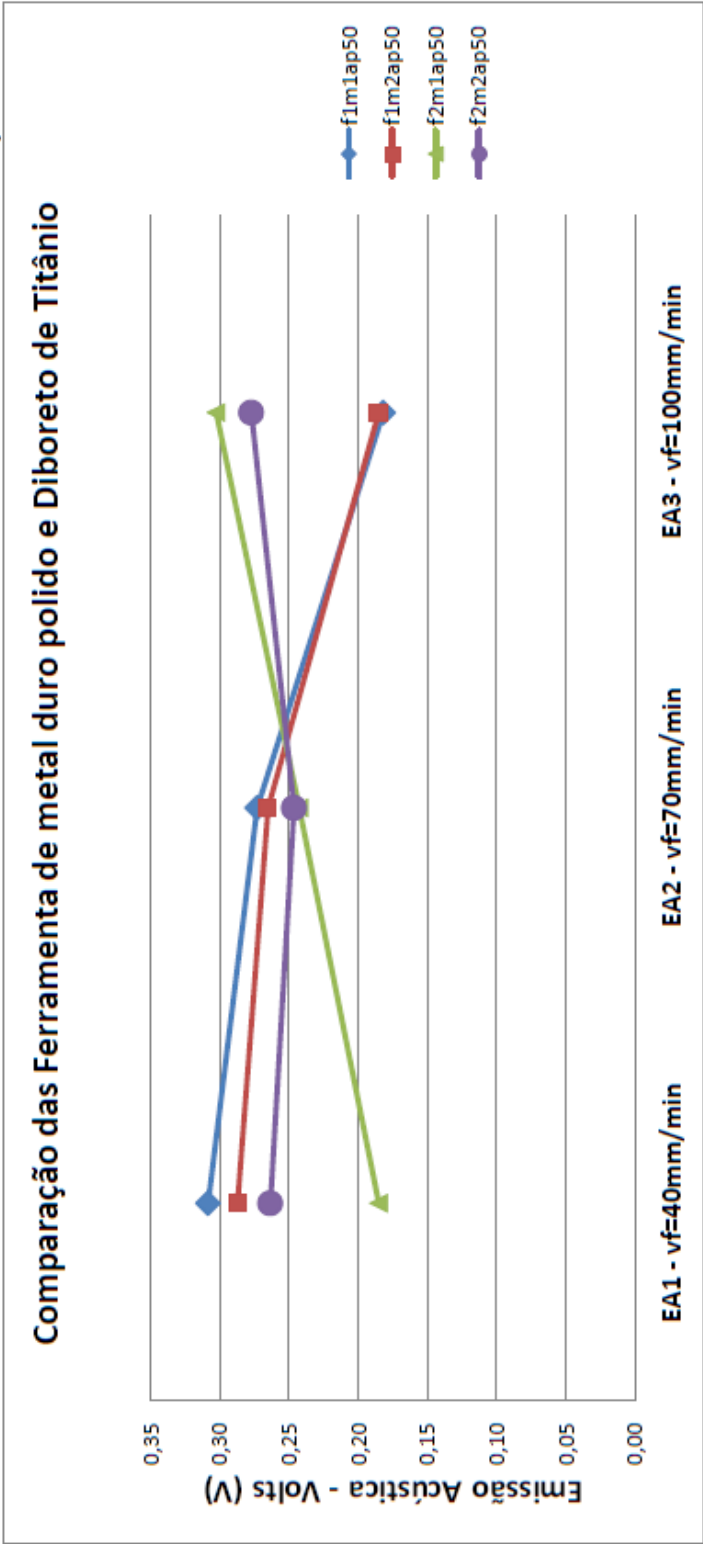
Ensaio em Função da Emissão Acústica - Volts (V)					
CP	Fer+Mad+Profu cor	EA1 - vf=40mm/min	EA2 - vf=70mm/min	EA3 - vf=100mm/min	
1	f1m1ap50	0,37	0,32	0,18	Gauss Lc = 2.50 mm
2	f1m1ap50	0,32	0,29	0,23	Eval Length 12.5mm
3	f1m1ap50	0,31	0,28	0,18	Profundidade de corte 0,5 mm
4	f1m1ap50	0,31	0,27	0,19	f1=ferramenta de metal duro só polida
5	f1m1ap50	0,30	0,26	0,18	f2=ferramenta de metal duro com cobertura
6	f1m1ap50	0,24	0,22	0,13	de boreto de titânio (TiB2)
m1=Pinus eliotti					
1	f1m2ap50	0,27	0,31	0,21	m2=Corymbya Citriodora
2	f1m2ap50	0,28	0,29	0,23	ap50= profundidade de corte de 0,5 mm
3	f1m2ap50	0,30	0,26	0,18	vf= velocidade de avanço
4	f1m2ap50	0,30	0,25	0,21	
5	f1m2ap50	0,31	0,25	0,11	
6	f1m2ap50	0,26	0,23	0,17	
1	f2m1ap50	0,22	0,23	0,32	
2	f2m1ap50	0,16	0,20	0,24	
3	f2m1ap50	0,18	0,27	0,31	
4	f2m1ap50	0,17	0,25	0,33	
5	f2m1ap50	0,21	0,27	0,29	
6	f2m1ap50	0,18	0,23	0,32	
1	f2m2ap50	0,21	0,23	0,32	
2	f2m2ap50	0,19	0,25	0,17	
3	f2m2ap50	0,26	0,24	0,30	
4	f2m2ap50	0,30	0,26	0,33	
5	f2m2ap50	0,34	0,25	0,27	
6	f2m2ap50	0,28	0,24	0,27	

Ensaio em Função da Emissão Acústica - Volts (V)				
f1m1ap50	EA1 - vf=40mm/min	EA2 - vf=70mm/min	EA3 - vf=100mm/min	Gauss Lc = 2.50 mm
máximo	0,37	0,32	0,23	Eval Lenght 12.5mm
média	0,31	0,27	0,18	Profundidade de corte 0,5 mm
mínimo	0,24	0,22	0,13	f1=ferramenta de metal duro só polida
Desvio Padrão	0,04	0,03	0,03	f2=ferramenta de metal duro com cobertura de boreto de titânio (TiB2)
f1m2ap50	EA1 - vf=40mm/min	EA2 - vf=70mm/min	EA3 - vf=100mm/min	m1=Pinus eliotti
máximo	0,31	0,31	0,23	m2=Corymba Citriodora
média	0,29	0,27	0,19	ap50= profundidade de corte de 0,5 mm
mínimo	0,26	0,23	0,11	vf= velocidade de avanço
Desvio Padrão	0,02	0,03	0,04	
f2m1ap50	EA1 - vf=40mm/min	EA2 - vf=70mm/min	EA3 - vf=100mm/min	
máximo	0,22	0,27	0,33	
média	0,19	0,24	0,30	
mínimo	0,16	0,20	0,24	
Desvio Padrão	0,03	0,03	0,04	
f2m2ap50	EA1 - vf=40mm/min	EA2 - vf=70mm/min	EA3 - vf=100mm/min	
máximo	0,34	0,26	0,33	
média	0,26	0,25	0,28	
mínimo	0,19	0,23	0,17	
Desvio Padrão	0,05	0,01	0,06	

Elementos		EA1 - vf=40mm/min	EA2 - vf=70mm/min	EA3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =	2.50 mm
f1m1ap50	Média	0,31	0,27	0,18	Eval Lenght	12.5mm
	Desvio Padrão	0,04	0,03	0,03	Profundidade de corte 0,5 mm	
f1m2ap50	Média	0,29	0,27	0,19	f1=ferramenta de metal duro só polida	
	Desvio Padrão	0,02	0,03	0,04	f2=ferramenta de metal duro com cobertura	
f2m1ap50	Média	0,19	0,24	0,30	de boreto de titânio (TiB2)	
	Desvio Padrão	0,03	0,03	0,04	m1=Pinus eliotti	
f2m2ap50	Média	0,26	0,25	0,28	m2=Corymba Citriodora	
	Desvio Padrão	0,05	0,01	0,06	ap50= profundidade de corte de 0,5 mm	
vf= velocidade de avanço						
Ensaio em Função da Emissão Acústica - Volts (V)						



Elementos		EA1 - vf=40mm/min	EA2 - vf=70mm/min	EA3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =
f1m1ap50	Média	0,31	0,27	0,18	Eval Lenght
f1m2ap50	Média	0,29	0,27	0,19	Profundidade de corte 0,5 mm f1=ferramenta de metal duro só polida f2=ferramenta de metal duro com cobertura de boreto de titânio (TiB2)
f2m1ap50	Média	0,19	0,24	0,30	
f2m2ap50	Média	0,26	0,25	0,28	
Ensaio em Função da Emissão Acústica - Volts (V)					
m1=Pinus eliotti					
m2=Corymba Citriodora					
ap50= profundidade de corte de 0,5 mm					
vf= velocidade de avanço					



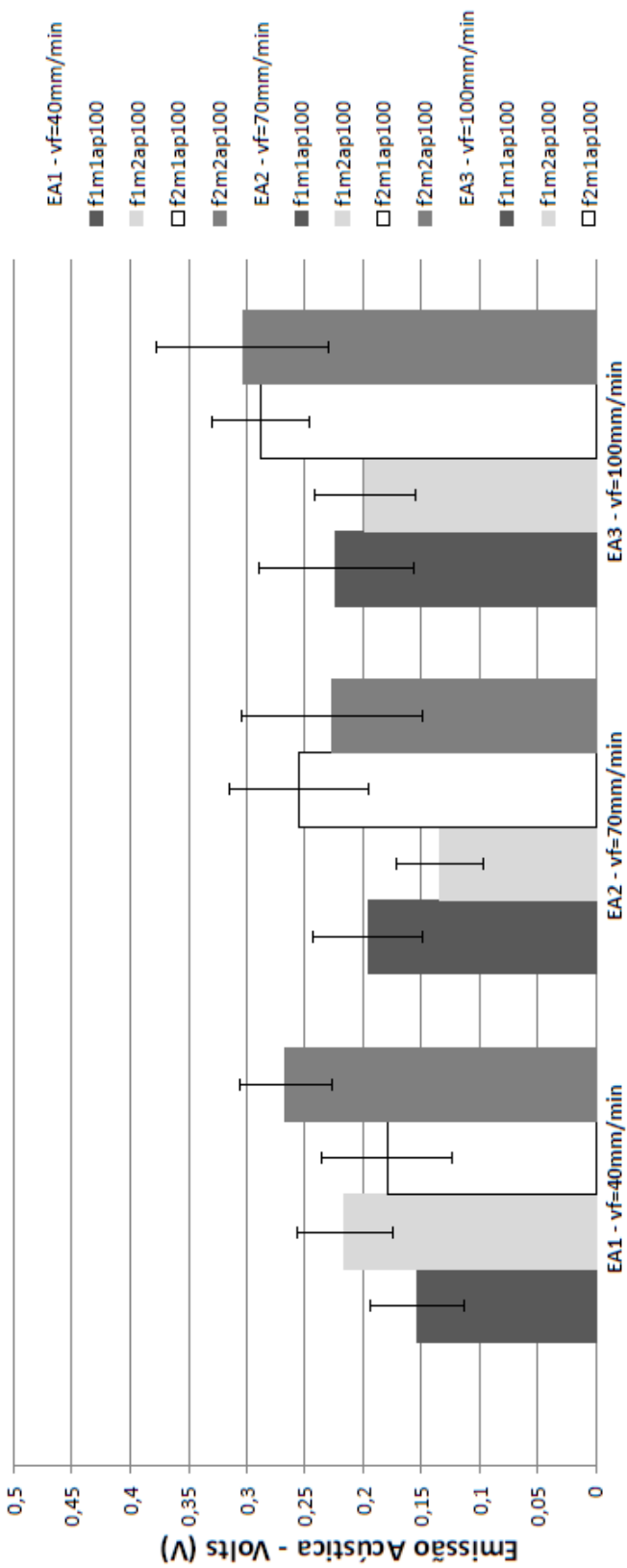
APÊNDICE N – Emissão Acústica para Profundidade de 1,0 mm

Ensaio em Função da Emissão Acústica - Volts (V)					
CP	Fer+Mad+Profu cor	EA1 - vf=40mm/min	EA2 - vf=70mm/min	EA3 - vf=100mm/min	
1	f1m1ap100	0,20	0,28	0,25	Gauss Lc = 2.50 mm
2	f1m1ap100	0,14	0,20	0,21	Eval Lenght 12.5mm
3	f1m1ap100	0,17	0,19	0,31	Profundidade de corte 1 mm
4	f1m1ap100	0,18	0,18	0,11	f1=ferramenta de metal duro só polida
5	f1m1ap100	0,16	0,13	0,20	f2=ferramenta de metal duro com cobertura
6	f1m1ap100	0,08	0,19	0,25	de boreto de titânio (TiB2)
m1=Pinus eliotti					
1	f1m2ap100	0,18	0,17	0,20	m2=Corymbya Citriodora
2	f1m2ap100	0,17	0,16	0,22	ap100= profundidade de corte de 1 mm
3	f1m2ap100	0,25	0,10	0,27	vf= velocidade de avanço
4	f1m2ap100	0,19	0,08	0,17	
5	f1m2ap100	0,24	0,12	0,14	
6	f1m2ap100	0,26	0,17	0,19	
1	f2m1ap100	0,21	0,26	0,27	
2	f2m1ap100	0,19	0,20	0,24	
3	f2m1ap100	0,13	0,21	0,35	
4	f2m1ap100	0,17	0,21	0,29	
5	f2m1ap100	0,26	0,35	0,27	
6	f2m1ap100	0,11	0,30	0,31	
1	f2m2ap100	0,32	0,21	0,28	
2	f2m2ap100	0,22	0,14	0,21	
3	f2m2ap100	0,27	0,25	0,43	
4	f2m2ap100	0,29	0,14	0,30	
5	f2m2ap100	0,22	0,32	0,28	
6	f2m2ap100	0,28	0,30	0,32	

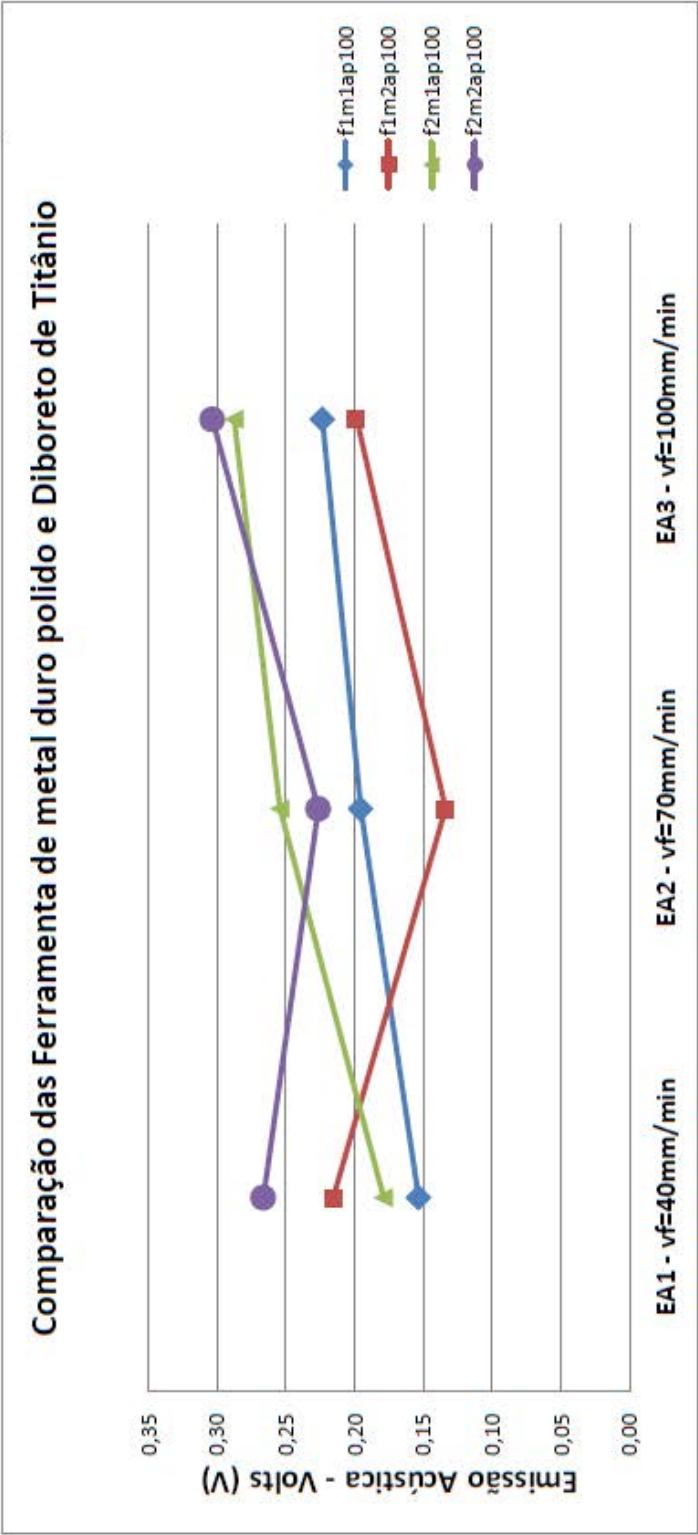
Ensaio em Função da Emissão Acústica - Volts (V)				
f1m1ap100	EA1 - vf=40mm/min	EA2 - vf=70mm/min	EA3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =
máximo	0,20	0,28	0,31	Eval Length
média	0,15	0,20	0,22	Profundidade de corte 1 mm
mínimo	0,08	0,13	0,11	f1=ferramenta de metal duro só polida
Desvio Padrão	0,04	0,05	0,07	f2=ferramenta de metal duro com cobertura de boreto de titânio (TiB2)
f1m2ap100	EA1 - vf=40mm/min	EA2 - vf=70mm/min	EA3 - vf=100mm/min	m1=Pinus eliotti
máximo	0,26	0,17	0,27	m2=Corymbya Citriodora
média	0,22	0,13	0,20	ap100= profundidade de corte de 1 mm
mínimo	0,17	0,08	0,14	vf= velocidade de avanço
Desvio Padrão	0,04	0,04	0,04	
f2m1ap100	EA1 - vf=40mm/min	EA2 - vf=70mm/min	EA3 - vf=100mm/min	
máximo	0,26	0,35	0,35	
média	0,18	0,25	0,29	
mínimo	0,11	0,20	0,24	
Desvio Padrão	0,06	0,06	0,04	
f2m2ap100	EA1 - vf=40mm/min	EA2 - vf=70mm/min	EA3 - vf=100mm/min	
máximo	0,32	0,32	0,43	
média	0,27	0,23	0,30	
mínimo	0,22	0,14	0,21	
Desvio Padrão	0,04	0,08	0,07	

Elementos		EA1 - vf=40mm/min	EA2 - vf=70mm/min	EA3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =	2.50 mm
f1m1ap100	Média	0,15	0,20	0,22	Eval Lenght	12.5mm
	Desvio Padrão	0,04	0,05	0,07	Profundidade de corte 1 mm	
	Média	0,22	0,13	0,20	f1=ferramenta de metal duro só polida	
f1m2ap100	Desvio Padrão	0,04	0,04	0,04	f2=ferramenta de metal duro com cobertura de boreto de titânio (TiB2)	
f2m1ap100	Média	0,18	0,25	0,29	m1=Pinus eliotti	
	Desvio Padrão	0,06	0,06	0,04	m2=Corymbya Citriodora	
	Média	0,27	0,23	0,30	ap100= profundidade de corte de 1 mm	
f2m2ap100	Desvio Padrão	0,04	0,08	0,07	vf= velocidade de avanço	
Ensaio em Função da Emissão Acústica - Volts (V)						

Comparação das Ferramenta de metal duro polido e Diboreto de Titânio



Elementos		EA1 - vf=40mm/min	EA2 - vf=70mm/min	EA3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =
f1m1ap100	Média	0,15	0,20	0,22	Eval Lenght
f1m2ap100	Média	0,22	0,13	0,20	Profundidade de corte 1 mm
f2m1ap100	Média	0,18	0,25	0,29	f1=ferramenta de metal duro só polida
f2m2ap100	Média	0,27	0,23	0,30	f2=ferramenta de metal duro com cobertura de boreto de titânio (TiB2)
Ensaio em Função da Emissão Acústica - Volts (V)					
m1=Pinus eliotti					
m2=Corymbia Citriodora					
ap100= profundidade de corte de 1 mm					
vf= velocidade de avanço					

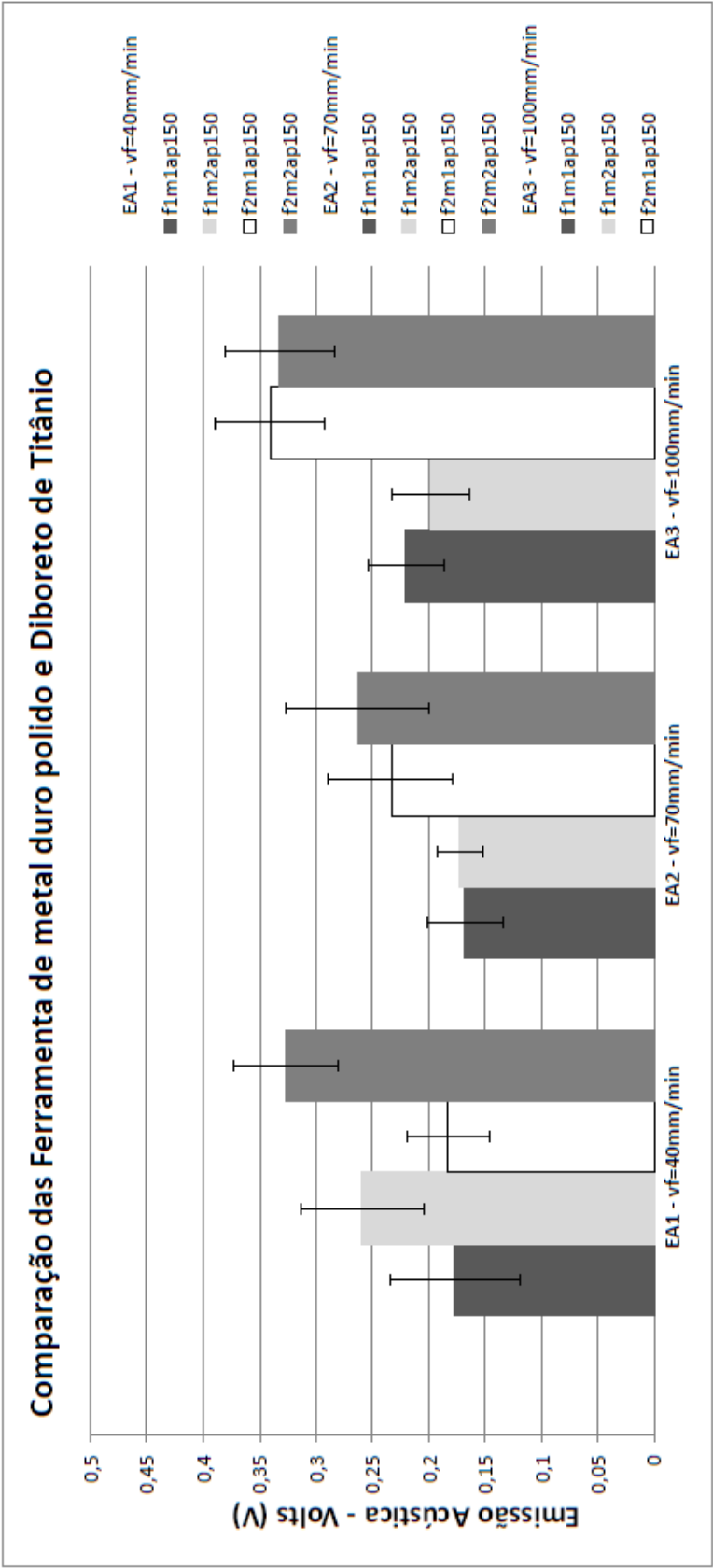


APÊNDICE O – Emissão Acústica para Profundidade de 1,5 mm

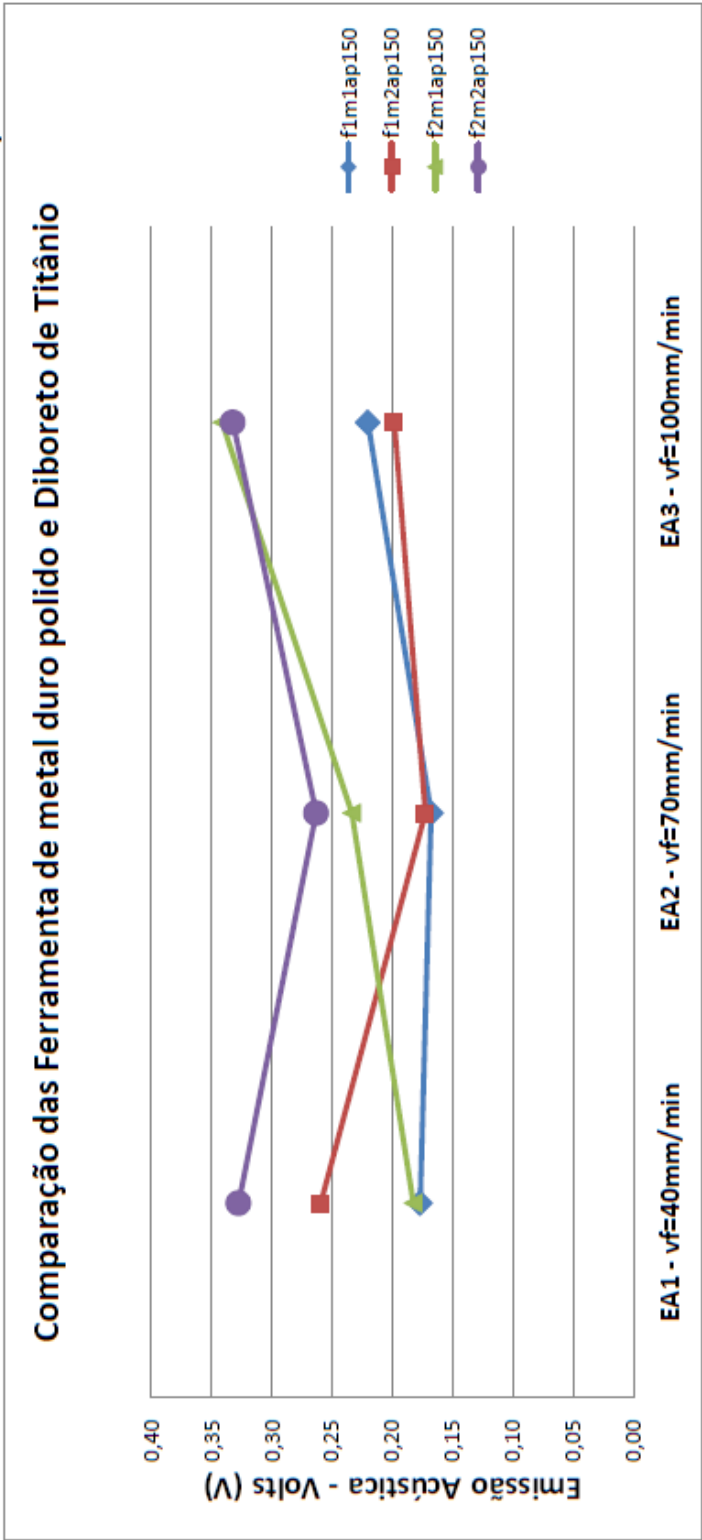
Ensaio em Função da Emissão Acústica - Volts (V)					
CP	Fer+Mad+Profu cor	EA1 - vf=40mm/min	EA2 - vf=70mm/min	EA3 - vf=100mm/min	
1	f1m1ap150	0,21	0,21	0,19	Gauss Lc = 2.50 mm
2	f1m1ap150	0,15	0,15	0,29	Eval Lenght 12.5mm
3	f1m1ap150	0,26	0,16	0,20	Profundidade de corte 1,5 mm
4	f1m1ap150	0,09	0,12	0,22	f1=ferramenta de metal duro só polida
5	f1m1ap150	0,16	0,17	0,21	f2=ferramenta de metal duro com cobertura
6	f1m1ap150	0,19	0,20	0,22	de boreto de titânio (TiB2)
m1=Pinus eliotti					
1	f1m2ap150	0,23	0,19	0,26	m2=Corymbya Citriodora
2	f1m2ap150	0,21	0,20	0,15	ap150= profundidade de corte de 1,5 mm
3	f1m2ap150	0,35	0,17	0,20	vf= velocidade de avanço
4	f1m2ap150	0,28	0,15	0,19	
5	f1m2ap150	0,20	0,16	0,21	
6	f1m2ap150	0,28	0,16	0,18	
1	f2m1ap150	0,19	0,16	0,29	
2	f2m1ap150	0,16	0,25	0,35	
3	f2m1ap150	0,12	0,29	0,29	
4	f2m1ap150	0,17	0,18	0,35	
5	f2m1ap150	0,22	0,23	0,42	
6	f2m1ap150	0,22	0,29	0,34	
1	f2m2ap150	0,35	0,19	0,29	
2	f2m2ap150	0,33	0,24	0,34	
3	f2m2ap150	0,24	0,33	0,26	
4	f2m2ap150	0,36	0,22	0,39	
5	f2m2ap150	0,33	0,25	0,36	
6	f2m2ap150	0,36	0,35	0,36	

Ensaio em Função da Emissão Acústica - Volts (V)				
f1m1ap150	EA1 - vf=40mm/min	EA2 - vf=70mm/min	EA3 - vf=100mm/min	Gauss Lc = 2.50 mm
máximo	0,26	0,21	0,29	Eval Lenght 12.5mm
média	0,18	0,17	0,22	Profundidade de corte 1,5 mm
mínimo	0,09	0,12	0,19	f1=ferramenta de metal duro só polida
Desvio Padrão	0,06	0,03	0,03	f2=ferramenta de metal duro com cobertura de boreto de titânio (TiB2)
f1m2ap150	EA1 - vf=40mm/min	EA2 - vf=70mm/min	EA3 - vf=100mm/min	m1=Pinus eliotti
máximo	0,35	0,20	0,26	m2=Corymba Citriodora
média	0,26	0,17	0,20	ap150= profundidade de corte de 1,5 mm
mínimo	0,20	0,15	0,15	vf= velocidade de avanço
Desvio Padrão	0,05	0,02	0,03	
f2m1ap150	EA1 - vf=40mm/min	EA2 - vf=70mm/min	EA3 - vf=100mm/min	
máximo	0,22	0,29	0,42	
média	0,18	0,23	0,34	
mínimo	0,12	0,16	0,29	
Desvio Padrão	0,04	0,06	0,05	
f2m2ap150	EA1 - vf=40mm/min	EA2 - vf=70mm/min	EA3 - vf=100mm/min	
máximo	0,36	0,35	0,39	
média	0,33	0,26	0,33	
mínimo	0,24	0,19	0,26	
Desvio Padrão	0,05	0,06	0,05	

Elementos		EA1 - vf=40mm/min	EA2 - vf=70mm/min	EA3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =	2.50 mm
f1m1ap150	Média	0,18	0,17	0,22	Eval Lenght	12.5mm
	Desvio Padrão	0,06	0,03	0,03	Profundidade de corte 1,5 mm	
f1m2ap150	Média	0,26	0,17	0,20	f1=ferramenta de metal duro só polida	
	Desvio Padrão	0,05	0,02	0,03	f2=ferramenta de metal duro com cobertura de boreto de titânio (TiB2)	
f2m1ap150	Média	0,18	0,23	0,34	m1=Pinus eliotti	
	Desvio Padrão	0,04	0,06	0,05	m2=Corymbya Citriodora	
f2m2ap150	Média	0,33	0,26	0,33	ap150= profundidade de corte de 1,5 mm	
	Desvio Padrão	0,05	0,06	0,05	vf= velocidade de avanço	
Ensaio em Função da Emissão Acústica - Volts (V)						



Elementos		EA1 - vf=40mm/min	EA2 - vf=70mm/min	EA3 - vf=100mm/min	Gauss Lc =
f1m1ap150	Média	0,18	0,17	0,22	Eval Length
f1m2ap150	Média	0,26	0,17	0,20	Profundidade de corte 1,5 mm
f2m1ap150	Média	0,18	0,23	0,34	f1=ferramenta de metal duro só polida
f2m2ap150	Média	0,33	0,26	0,33	f2=ferramenta de metal duro com cobertura de boreto de titânio (TiB2)
Ensaio em Função da Emissão Acústica - Volts (V)					
m1=Pinus eliotti					
m2=Corymbia Citriodora					
ap150= profundidade de corte de 1,5 mm					
vf= velocidade de avanço					



APÊNDICE P – Análises de variância

Os resultados provenientes da rugosidade média (R_a) para o procedimento aplicado receberam uma análise da variância das interpolações individuais em primeira ordem, com o cruzamento dos dados para as quatro ordens de cálculo seguintes, cujas variações de velocidade de avanço, profundidade de corte, tipo de ferramenta e tipo madeira. A necessidade de entendimento dos valores “P” e “F” será descrito para facilitar o entendimento da importância dos dois fatores presentes na Tabela 11, e serão apresentadas adiante.

Valores de P*: Na estatística clássica, o valor- p , p -value ou *nível descritivo*, é a probabilidade de se obter uma estatística de teste igual ou mais extrema que aquela observada em uma amostra, possa ser nula ou verdadeira onde um **valor- p** pequeno significa que a probabilidade de obter um valor da estatística de teste é muito improvável, levando assim à rejeição da hipótese de nulidade da análise.

Valores de F:** O valor denominado F-statistics ou F-ratio capaz de comparar a quantidade de variância sistemática nos dados com a quantidade de variância não sistemática fazendo o valor de F é a razão entre o modelo e seu erro. Em termos matemáticos o valor de F é calculado pela divisão entre os quadrados médios para o modelo (mean squares for the model, MSm) e os quadrados médios residuais (Residual mean Squares, MSr). Teoricamente quanto maior for o valor F, mais significativo o valor de P para a ANOVA.

Análise de Variância para Rugosidade média - R_a			
Ordem	Cruzamento de Dados	Valor "P"	Valor "F"
1º	Velocidade de Avanço	0,121	2,130
	Profundidade de Corte	0,146	1,950
	Tipo de Ferramenta	0,972	0,000
	Tipo de Madeira	0,000	114,880
2º	Velocidade de avanço * Profundidade de Corte	0,856	0,330
	Velocidade de avanço * Tipo de Ferramenta	0,666	0,410
	Velocidade de avanço * Tipo de Madeira	0,137	2,010
	Profundidade de Corte * Tipo de Ferramenta	0,413	0,890
	Profundidade de Corte * Tipo de Madeira	0,023	3,870
	Tipo de Ferramenta * Tipo de Madeira	0,714	0,130
3º	Velocidade de Avanço * Profundidade de Corte * Tipo de Ferramenta	0,727	0,510
	Velocidade de Avanço * Profundidade de Corte * Tipo de Madeira	0,754	0,470
	Velocidade de Avanço * Tipo de Ferramenta * Tipo de Madeira	0,394	0,940
	Profundidade de Corte * Tipo de Ferramenta * Tipo de Madeira	0,035	3,400
4º	Velocidade de Avanço * Profundidade de Corte *	0,737	0,500
	Tipo de Ferramenta * Tipo de Madeira		

Análise de Variância para Rugosidade Total - Rt

Ordem	Cruzamento de Dados	Valor "P"	Valor "F"
1º	Velocidade de Avanço	0,216	1,540
	Profundidade de Corte	0,479	0,740
	Tipo de Ferramenta	0,687	0,160
	Tipo de Madeira	0,000	23,460
2º	Velocidade de avanço * Profundidade de Corte	0,966	0,140
	Velocidade de avanço * Tipo de Ferramenta	0,712	0,340
	Velocidade de avanço * Tipo de Madeira	0,348	1,060
	Profundidade de Corte * Tipo de Ferramenta	0,637	0,450
	Profundidade de Corte * Tipo de Madeira	0,143	1,970
	Tipo de Ferramenta * Tipo de Madeira	0,668	0,180
3º	Velocidade de Avanço * Profundidade de Corte * Tipo de Ferramenta	0,250	1,360
	Velocidade de Avanço * Profundidade de Corte * Tipo de Madeira	0,283	1,270
	Velocidade de Avanço * Tipo de Ferramenta * Tipo de Madeira	0,131	2,060
	Profundidade de Corte * Tipo de Ferramenta * Tipo de Madeira	0,117	2,180
4º	Velocidade de Avanço * Profundidade de Corte *	0,228	1,420
	Tipo de Ferramenta * Tipo de Madeira		

Análise de Variância para Potência

Ordem	Cruzamento de Dados	Valor "P"	Valor "F"
1º	Velocidade de Avanço	0,000	9,900
	Profundidade de Corte	0,000	151,620
	Tipo de Ferramenta	0,095	2,820
	Tipo de Madeira	0,000	450,580
2º	Velocidade de avanço * Profundidade de Corte	0,426	0,970
	Velocidade de avanço * Tipo de Ferramenta	0,504	0,690
	Velocidade de avanço * Tipo de Madeira	0,032	3,520
	Profundidade de Corte * Tipo de Ferramenta	0,007	5,040
	Profundidade de Corte * Tipo de Madeira	0,000	41,730
	Tipo de Ferramenta * Tipo de Madeira	0,000	15,360
3º	Velocidade de Avanço * Profundidade de Corte * Tipo de Ferramenta	0,829	0,370
	Velocidade de Avanço * Profundidade de Corte * Tipo de Madeira	0,248	1,370
	Velocidade de Avanço * Tipo de Ferramenta * Tipo de Madeira	0,089	0,120
	Profundidade de Corte * Tipo de Ferramenta * Tipo de Madeira	0,061	2,850
4º	Velocidade de Avanço * Profundidade de Corte *	526,000	0,800
	Tipo de Ferramenta * Tipo de Madeira		

Análise de Variância para Vibração

Ordem	Cruzamento de Dados	Valor "P"	Valor "F"
1ª	Velocidade de Avanço	0,000	8,640
	Profundidade de Corte	0,000	8,800
	Tipo de Ferramenta	0,000	63,430
	Tipo de Madeira	0,006	7,720
2ª	Velocidade de avanço * Profundidade de Corte	0,000	7,200
	Velocidade de avanço * Tipo de Ferramenta	0,000	24,030
	Velocidade de avanço * Tipo de Madeira	0,000	19,300
	Profundidade de Corte * Tipo de Ferramenta	0,000	14,650
	Profundidade de Corte * Tipo de Madeira	0,062	2,820
	Tipo de Ferramenta * Tipo de Madeira	0,014	6,210
3ª	Velocidade de Avanço * Profundidade de Corte * Tipo de Ferramenta	0,004	4,050
	Velocidade de Avanço * Profundidade de Corte * Tipo de Madeira	0,039	2,580
	Velocidade de Avanço * Tipo de Ferramenta * Tipo de Madeira	0,199	1,630
	Profundidade de Corte * Tipo de Ferramenta * Tipo de Madeira	0,971	0,030
4ª	Velocidade de Avanço * Profundidade de Corte *		
	Tipo de Ferramenta * Tipo de Madeira	0,444	0,940

Análise de Variância para Emissão Acústica

Ordem	Cruzamento de Dados	Valor "P"	Valor "F"
1ª	Velocidade de Avanço	0,147	1,940
	Profundidade de Corte	0,018	4,140
	Tipo de Ferramenta	0,018	5,670
	Tipo de Madeira	0,040	4,280
2ª	Velocidade de avanço * Profundidade de Corte	0,025	2,860
	Velocidade de avanço * Tipo de Ferramenta	0,000	7,980
	Velocidade de avanço * Tipo de Madeira	0,001	7,500
	Profundidade de Corte * Tipo de Ferramenta	0,002	6,230
	Profundidade de Corte * Tipo de Madeira	0,055	0,600
	Tipo de Ferramenta * Tipo de Madeira	0,910	0,010
3ª	Velocidade de Avanço * Profundidade de Corte * Tipo de Ferramenta	0,055	2,370
	Velocidade de Avanço * Profundidade de Corte * Tipo de Madeira	0,854	0,340
	Velocidade de Avanço * Tipo de Ferramenta * Tipo de Madeira	0,829	0,190
	Profundidade de Corte * Tipo de Ferramenta * Tipo de Madeira	0,377	0,980
4ª	Velocidade de Avanço * Profundidade de Corte *		
	Tipo de Ferramenta * Tipo de Madeira	0,815	0,390

APÊNDICE Q – Resultados Minitab

----- 19/08/2014 14:15:42 -----

Welcome to Minitab, press F1 for help.

Factor	Type	Levels	Values
Velocidade de avanço	fixed	3	1; 2; 3
Profundidade de corte	fixed	3	1; 2; 3
Tipo de ferramenta	fixed	2	1; 2
Tipo de madeira	fixed	2	1; 2

Analysis of Variance for Ra, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
Velocidade de avanço	2	30,51	30,51	15,255	2,13
Profundidade de corte	2	27,818	27,818	13,909	1,95
Tipo de ferramenta	1	0,009	0,009	0,009	0
Tipo de madeira	1	821,34	821,34	821,34	114,88
Velocidade de avanço*	4	9,514	9,514	2,379	0,33
Profundidade de corte					
Velocidade de avanço*	2	5,832	5,832	2,916	0,41
Tipo de ferramenta					
Velocidade de avanço*Tipo de madeira	2	28,714	28,714	14,357	2,01
Profundidade de corte*	2	12,716	12,716	6,358	0,89
Tipo de ferramenta					
Profundidade de corte*	2	55,308	55,308	27,654	3,87
Tipo de madeira					
Tipo de ferramenta*Tipo de madeira	1	0,96	0,96	0,96	0,13
Velocidade de avanço*					
Profundidade de corte*	4	14,635	14,635	3,659	0,51
Tipo de ferramenta					
Velocidade de avanço*					
Profundidade de corte*	4	13,574	13,574	3,394	0,47
Tipo de madeira					
Velocidade de avanço*					
Tipo de ferramenta*Tipo de madeira	2	13,387	13,387	6,693	0,94
Profundidade de corte*					
Tipo de ferramenta*Tipo de madeira	2	48,634	48,634	24,317	3,4
Velocidade de avanço*					
Profundidade de corte*	4	14,244	14,244	3,561	0,5
Tipo de ferramenta*Tipo de madeira					
Error	180	1286,93	1286,93	7,15	
Total	215	2384,126			

Source	P
Velocidade de avanço	0,121
Profundidade de corte	0,146
Tipo de ferramenta	0,972
Tipo de madeira	0
Velocidade de avanço*	0,856
Profundidade de corte	
Velocidade de avanço*	0,666
Tipo de ferramenta	
Velocidade de avanço*Tipo de madeira	0,137
Profundidade de corte*	0,413
Tipo de ferramenta	
Profundidade de corte*	0,023
Tipo de madeira	
Tipo de ferramenta*Tipo de madeira	0,714
Velocidade de avanço*	
Profundidade de corte*	0,727
Tipo de ferramenta	
Velocidade de avanço*	
Profundidade de corte*	0,754
Tipo de madeira	
Velocidade de avanço*	0,394
Tipo de ferramenta*Tipo de madeira	
Profundidade de corte*	0,035
Tipo de ferramenta*Tipo de madeira	
Velocidade de avanço*	
Profundidade de corte*	0,737
Tipo de ferramenta*Tipo de madeira	
Error	
Total	

Analysis of Variance for Rt, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
Velocidade de avanço	2	2008,3	2008,3	1004,2	1,54
Profundidade de corte	2	961,1	961,1	480,5	0,74
Tipo de ferramenta	1	105,6	105,6	105,6	0,16
Tipo de madeira	1	15251	15251	15251	23,46
Velocidade de avanço*	4	368,3	368,3	92,1	0,14
Profundidade de corte					
Velocidade de avanço*	2	442,8	442,8	221,4	0,34
Tipo de ferramenta					
Velocidade de avanço*Tipo de madeira	2	1381,3	1381,3	690,7	1,06
Profundidade de corte*	2	588,1	588,1	294,1	0,45
Tipo de ferramenta					
Profundidade de corte*	2	2556,4	2556,4	1278,2	1,97
Tipo de madeira					
Tipo de ferramenta*Tipo de madeira	1	120	120	120	0,18

Velocidade de avanço*					
Profundidade de corte*	4	3536,6	3536,6	884,2	1,36
Tipo de ferramenta					
Velocidade de avanço*					
Profundidade de corte*	4	3302,2	3302,2	825,6	1,27
Tipo de madeira					
Velocidade de avanço*					
Tipo de ferramenta*Tipo de madeira	2	2674,9	2674,9	1337,5	2,06
Profundidade de corte*					
Tipo de ferramenta*Tipo de madeira	2	2827,8	2827,8	1413,9	2,18
Velocidade de avanço*					
Profundidade de corte*	4	3696,9	3696,9	924,2	1,42
Tipo de ferramenta*Tipo de madeira					
Error	180	116994,5	116994,5	650	
Total	215	156816			

Source	P
Velocidade de avanço	0,216
Profundidade de corte	0,479
Tipo de ferramenta	0,687
Tipo de madeira	0
Velocidade de avanço*	0,966
Profundidade de corte	
Velocidade de avanço*	0,712
Tipo de ferramenta	
Velocidade de avanço*Tipo de madeira	0,348
Profundidade de corte*	0,637
Tipo de ferramenta	
Profundidade de corte*	0,143
Tipo de madeira	
Tipo de ferramenta*Tipo de madeira	0,668
Velocidade de avanço*	
Profundidade de corte*	0,25
Tipo de ferramenta	
Velocidade de avanço*	
Profundidade de corte*	0,283
Tipo de madeira	
Velocidade de avanço*	
Tipo de ferramenta*Tipo de madeira	0,131
Profundidade de corte*	
Tipo de ferramenta*Tipo de madeira	0,117
Velocidade de avanço*	
Profundidade de corte*	0,228
Tipo de ferramenta*Tipo de madeira	
Error	
Total	

Analysis of Variance for poten., using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	A	dj SS	Ad	j MS	F
Velocidade de avanço	2	17780		17780		8890	9,9
Profundidade de corte	2	272381		272381		136191	151,62
Tipo de ferramenta	1	2536		2536		2536	2,82
Tipo de madeira	1	404728		404728		404728	450,58
Velocidade de avanço*	4	3479		3479		870	0,97
Profundidade de corte							
Velocidade de avanço*	2	1236		1236		618	0,69
Tipo de ferramenta							
Velocidade de avanço*Tipo de madeira	2	6332		6332		3166	3,52
Profundidade de corte*	2	9046		9046		4523	5,04
Tipo de ferramenta							
Profundidade de corte*	2	74965		74965		37483	41,73
Tipo de madeira							
Tipo de ferramenta*Tipo de madeira	1	13796		13796		13796	15,36
Velocidade de avanço*	4	1336		1336		334	0,37
Profundidade de corte*							
Tipo de ferramenta							
Velocidade de avanço*	4	4908		4908		1227	1,37
Profundidade de corte*							
Tipo de madeira							
Velocidade de avanço*	2	218		218		109	0,12
Tipo de ferramenta*Tipo de madeira							
Profundidade de corte*	2	5116		5116		2558	2,85
Tipo de ferramenta*Tipo de madeira							
Velocidade de avanço*	4	2880		2880		720	0,8
Profundidade de corte*							
Tipo de ferramenta*Tipo de madeira							
Error	180	161684	1	61684		898	
Total	215	982422					

Source	P
Velocidade de avanço	0
Profundidade de corte	0
Tipo de ferramenta	0,095
Tipo de madeira	0
Velocidade de avanço*	0,426
Profundidade de corte	
Velocidade de avanço*	0,504
Tipo de ferramenta	
Velocidade de avanço*Tipo de madeira	0,032
Profundidade de corte*	0,007
Tipo de ferramenta	
Profundidade de corte*	0
Tipo de madeira	
Tipo de ferramenta*Tipo de madeira	0

Velocidade de avanço*	
Profundidade de corte*	0,829
Tipo de ferramenta	
Velocidade de avanço*	
Profundidade de corte*	0,248
Tipo de madeira	
Velocidade de avanço*	
Tipo de ferramenta*Tipo de madeira	0,886
Profundidade de corte*	
Tipo de ferramenta*Tipo de madeira	0,061
Velocidade de avanço*	
Profundidade de corte*	0,526
Tipo de ferramenta*Tipo de madeira	
Error	
Total	

Analysis of Variance for vibração, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
Velocidade de avanço	2	0,22871	0,22871	0,11435	8,64
Profundidade de corte	2	0,23289	0,23289	0,11644	8,8
Tipo de ferramenta	1	0,83938	0,83938	0,83938	63,43
Tipo de madeira	1	0,10216	0,10216	0,10216	7,72
Velocidade de avanço*					
Profundidade de corte	4	0,38111	0,38111	0,09528	7,2
Velocidade de avanço*					
Tipo de ferramenta	2	0,63603	0,63603	0,31802	24,03
Velocidade de avanço*Tipo de madeira	2	0,51082	0,51082	0,25541	19,3
Profundidade de corte*					
Tipo de ferramenta	2	0,38786	0,38786	0,19393	14,65
Profundidade de corte*					
Tipo de madeira	2	0,0746	0,0746	0,0373	2,82
Tipo de ferramenta*Tipo de madeira	1	0,08215	0,08215	0,08215	6,21
Velocidade de avanço*					
Profundidade de corte*	4	0,21461	0,21461	0,05365	4,05
Tipo de ferramenta					
Velocidade de avanço*					
Profundidade de corte*	4	0,13663	0,13663	0,03416	2,58
Tipo de madeira					
Velocidade de avanço*					
Tipo de ferramenta*Tipo de madeira	2	0,04306	0,04306	0,02153	1,63
Profundidade de corte*					
Tipo de ferramenta*Tipo de madeira	2	0,00078	0,00078	0,00039	0,03
Velocidade de avanço*					
Profundidade de corte*	4	0,04957	0,04957	0,01239	0,94
Tipo de ferramenta*Tipo de madeira					
Error	180	2,38208	2,38208	0,01323	
Total	215	6,30245			

Source	P
Velocidade de avanço	0
Profundidade de corte	0
Tipo de ferramenta	0
Tipo de madeira	0,006
Velocidade de avanço*	0
Profundidade de corte	
Velocidade de avanço*	0
Tipo de ferramenta	
Velocidade de avanço*Tipo de madeira	0
Profundidade de corte*	0
Tipo de ferramenta	
Profundidade de corte*	0,062
Tipo de madeira	
Tipo de ferramenta*Tipo de madeira	0,014
Velocidade de avanço*	
Profundidade de corte*	0,004
Tipo de ferramenta	
Velocidade de avanço*	
Profundidade de corte*	0,039
Tipo de madeira	
Velocidade de avanço*	0,199
Tipo de ferramenta*Tipo de madeira	
Profundidade de corte*	0,971
Tipo de ferramenta*Tipo de madeira	
Velocidade de avanço*	
Profundidade de corte*	0,444
Tipo de ferramenta*Tipo de madeira	
Error	
Total	

Analysis of Variance for emissão, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
Velocidade de avanço	2	0,04789	0,04789	0,02394	1,94
Profundidade de corte	2	0,10207	0,10207	0,05104	4,14
Tipo de ferramenta	1	0,06991	0,06991	0,06991	5,67
Tipo de madeira	1	0,05286	0,05286	0,05286	4,28
Velocidade de avanço*	4	0,14121	0,14121	0,0353	2,86
Profundidade de corte					
Velocidade de avanço*	2	0,19682	0,19682	0,09841	7,98
Tipo de ferramenta					
Velocidade de avanço*Tipo de madeira	2	0,18509	0,18509	0,09255	7,5
Profundidade de corte*	2	0,15368	0,15368	0,07684	6,23
Tipo de ferramenta					
Profundidade de corte*	2	0,01473	0,01473	0,00737	0,6
Tipo de madeira					

Tipo de ferramenta*Tipo de m	adeira	1	0,00016	0,00016	0,00016	0,01
Velocidade de avanço*						
Profundidade de corte*		4	0,1168	0,1168	0,0292	2,37
Tipo de ferramenta						
Velocidade de avanço*						
Profundidade de corte*		4	0,01656	0,01656	0,00414	0,34
Tipo de madeira						
Velocidade de avanço*						
Tipo de ferramenta*Tipo de	madeira	2	0,00463	0,00463	0,00231	0,19
Profundidade de corte*						
Tipo de ferramenta*Tipo de	madeira	2	0,02417	0,02417	0,01209	0,98
Velocidade de avanço*						
Profundidade de corte*		4	0,01926	0,01926	0,00481	0,39
Tipo de ferramenta*Tipo de	madeira					
Error		180	2,22088	2,22088	0,01234	
Total		215	3,36673			

Source	P
Velocidade de avanço	0,147
Profundidade de corte	0,018
Tipo de ferramenta	0,018
Tipo de madeira	0,04
Velocidade de avanço*	
Profundidade de corte	0,025
Velocidade de avanço*	
Tipo de ferramenta	0
Velocidade de avanço*Tipo de	madeira 0,001
Profundidade de corte*	
Tipo de ferramenta	0,002
Profundidade de corte*	
Tipo de madeira	0,551
Tipo de ferramenta*Tipo de m	adeira 0,91
Velocidade de avanço*	
Profundidade de corte*	
Tipo de ferramenta	0,055
Velocidade de avanço*	
Profundidade de corte*	
Tipo de madeira	0,854
Velocidade de avanço*	
Tipo de ferramenta*Tipo de	madeira 0,829
Profundidade de corte*	
Tipo de ferramenta*Tipo de	madeira 0,377
Velocidade de avanço*	
Profundidade de corte*	
Tipo de ferramenta*Tipo de	madeira 0,815
Error	
Total	