

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**DETERMINAÇÃO DA VIDA DE FERRAMENTAS DE AÇO AISI CLASSE D-6**  
**E DO STELLITE-1 NA USINAGEM DA MADEIRA DE**  
**“EUCALYPTUS GRANDIS”**

**WILLI JOHANN GOTTLOB**

**Orientador: PROF. DR. ROSALVO TIAGO RUFFINO**

DEDALUS - Acervo - EESC



31100017944

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da  
Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para  
obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica.



**São Carlos**

**Estado de São Paulo**

**1996**

Class.	TESE - EESC
Curr.	2584
Tombo	T01597

Engenharia mecânica

st 0746625

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento  
da Informação do Serviço de Biblioteca - EESC-USP

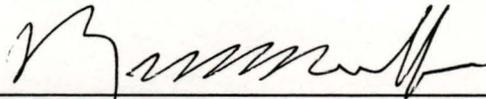
G686d Gottlob, Willi Johann  
Determinação da vida de ferramentas de aço AISI  
Classe D-6 e do Stellite-1 na usinagem da madeira  
de "Eucalyptus Grandis" / Willi Johann Gottlob. --  
São Carlos, 1996.

Tese (Doutorado). -- Escola de Engenharia  
de São Carlos-Universidade de São Paulo, 1996.  
Área: Engenharia Mecânica  
Orientador: Prof. Dr. Rosalvo Tiago Ruffino

1. Usinagem da madeira. 2. Trabalho da madeira.  
I. Título

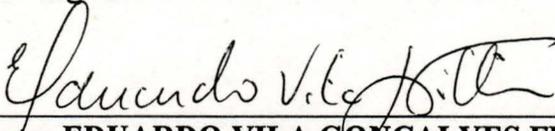
**FOLHA DE APROVAÇÃO**

Tese defendida e aprovada em 05-12-1996  
pela Comissão Julgadora:



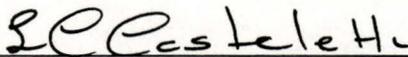
---

Prof. Titular **ROSALVO TIAGO RUFFINO (Orientador)**  
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



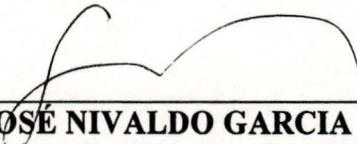
---

Prof. Doutor **EDUARDO VILA GONÇALVES FILHO**  
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



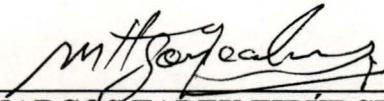
---

Prof. Doutor **LUIZ CARLOS CASTELETTI**  
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



---

Prof. Doutor **JOSE NIVALDO GARCIA**  
(Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo)



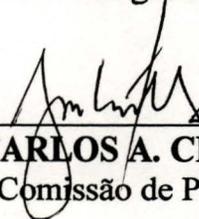
---

Prof. Doutor **MARCOS TADEU TIBÚRCIO GONÇALVES**  
(UNESP - Campus Bauru)



---

Prof. Titular **JOÃO LIRANI**  
Coordenador da área - Engenharia Mecânica



---

**JOSE CARLOS A. CINTRA**  
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

## AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Rosalvo Tiago Ruffino, pelo estímulo, pela elaboração do projeto de pesquisa e pelo apoio na orientação do trabalho.

A minha esposa, Professora Doutora Maurília Galati Gottlob, pelo estímulo e trabalho de revisão.

Ao Professor Doutor João Guarnetti dos Santos, digníssimo Chefe do Departamento de Engenharia Mecânica da FET - UNESP de Bauru, pelo apoio dado, possibilitando a realização do trabalho em Bauru.

Ao Prof. Dr. Antônio Aprígio S. Curvelo, digníssimo Chefe do Departamento de Físico-Química do I.Q.S.C. -U.S.P. Campus de São Carlos, pela análise química da madeira.

Ao Prof. Dr. Gilberto Orivaldo Chierice do Laboratório de Química Analítica e Tecnologia de Polímeros ( G.Q.A.T.P.) - U.S.P. Campus de São Carlos, pela análise termo-gravimétrica da madeira.

Ao Prof. Dr. Mario Sérgio Galhiane e ao Prof. Dr. João Roberto Fernandes do Departamento de Química da Faculdade de Ciências da UNESP de Bauru pelo auxílio para a realização da análise termo-gravimétrica.

Ao Prof. Dr. Dirceu Spinelli do Departamento de Engenharia de Materiais da E.E.S.C.U.S.P. pela análise química do aço VC-131.

Aos colegas do Departamento de Engenharia e Tecnologia Mecânica da FET - UNESP de Bauru, que direta ou indiretamente colaboraram.

Ao técnico, Sr. Edson Roberto Rondon, pelo auxílio nos serviços de oficina mecânica e no processamento da madeira.

Ao Departamento de Engenharia Mecânica da EESC, pela colaboração.

À UNESP - Campus de Bauru, por permitir meu afastamento para realização do programa de doutorado.

À firma ENGEMASA (Engenharia de Materiais S.A.), de São Carlos, pelo fornecimento do material stellite-1.

À CAPES, pela bolsa de deslocamento concedida.

Ao serviço de biblioteca da EESC da USP.

Ao serviço de biblioteca da UNESP - Campus de Bauru.

A FAPESP (Fundação do Amparo á Pesquisa do Estado de São Paulo) pelo financiamento deste projeto de pesquisa.

## SUMÁRIO

	Pag.
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	i
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	iv
<b>RESUMO</b> .....	viii
<b>ABSTRACT</b> .....	x
<b>1 - INTRODUÇÃO</b>	
1.1 - Apresentação do problema.....	1
2.1 - Objetivos do trabalho.....	3
<b>2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	
2.1 - Pesquisas, que envolvem condições de usinagem, qualidade de afiação e desempenho das ferramentas para usinar madeira.....	4
2.2 - Pesquisas sobre a influência dos revestimentos no desempenho das ferramentas para usinar madeira.....	38
2.3 - Pesquisas sobre a temperatura alcançada nas ferramentas para usinar madeira.....	43
2.4 - Pesquisas que abordam a ação de agentes químicos encontrados na madeira, que prejudicam o desempenho das ferramentas.....	48
2.5 - Pesquisas sobre fenômenos elétricos, que prejudicam o desempenho das ferramentas para usinar madeira.....	61
2.6 - Pesquisa sobre o uso de ferramentas de materiais não convencionais, que podem ser usados na usinagem da madeira.....	65
<b>3 - MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	70

<b>4 - RESULTADOS</b> .....	88
4.1 - Tabelas e gráficos de desgaste na usinagem da madeira saturada de água.	89
4.2 - Gráficos de vida das ferramentas na usinagem da madeira saturada de água. .....	101
4.3 - Tabelas e gráficos de desgaste na usinagem da madeira seca ao ar .....	103
4.4 - Gráficos de vida das ferramentas na usinagem da madeira seca ao ar. ...	111
4.5 - Gráficos de vida das ferramentas na usinagem da madeira saturada de água e seca ao ar. ....	113
4.6 - Gráficos dos perfis de desgaste das arestas de corte, em função do percurso efetivo de usinagem. ....	115
<b>5 - DISCUSSÃO</b> .....	131
<b>6 - CONCLUSÕES</b> .....	144
<b>7 - BIBLIOGRAFIA</b> .....	146
<b>8 - TRABALHOS FUTUROS</b> .....	155
<b>9- APÊNDICE</b> .....	156
<b>10- ANEXO</b> .....	177

## LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 2.1 - Perfil da cunha de corte das ferramentas, conforme a Norma ISO. ....	4
Figura 2.2- Gráficos de desgaste das arestas principais de corte. ....	36
Figura 2.3- Gráficos dos desgastes da aresta principal, da superfície de folga, da aresta secundária e superfície de folga secundária. ....	38
Figura 2.4- Comparação da magnitude dos desgastes das arestas de corte de uma broca na realização de 1000 furos em diversas madeiras. ....	58
Figura 2.5- Formulas químicas de um polifenol, do ácido gálico, do ácido digálico e do ácido ellágico. ....	59
Figura 3.1- Fotografia do porta-ferramentas. ....	70
Figura 3.2- Desenho da ferramenta de corte. ....	71
Figura 3.3- Fotografia mostrando o processo de medida dos ângulos de saída e de folga das ferramentas. ....	72
Figura 3.4- Fotografia mostrando a tupa com o sistema de avanço. ....	72
Figura 3.5- Fotografia mostrando o disco do Encoder e o sensor foto-elétrico. ...	73
Figura 3.6- Fotografia mostrando a afiadora de ferramentas e o divisor montado sobre a mesa da afiadora. ....	74
Figura 3.7- Fotografias mostrando a verificação da concentricidade das arestas de corte das ferramentas e da variação em altura das pontas das ferramentas. ....	75
Figura 3.8- Fotografias mostrando o sistema de controle das medidas durante a afiação das ferramentas. ....	75
Figura 3.9- Fotografia mostrando: mesa de coordenadas, suporte do porta- ferramentas junto com o porta ferramentas, relógio milésimal e sistema de aquisição de dados. ....	76
Figura 3.10- Fotografia mostrando: computador, sistema de medição, mesa de coordenadas, mesa de precisão e porta-ferramentas. ....	79
Figura 3.11- Fotografia mostrando o sistema de foto das ferramentas via microscópio. ....	79

Figura 3.12- Desenho esquemático da interação entre as ferramentas e o corpo de prova. ....	82
Figura 4.1- Gráficos dos desgastes das ferramentas de stellite 1 x tempo efetivo de corte na usinagem do Eucalipto saturado de água. ....	93
Figura 4.2- Gráficos dos desgastes das ferramentas de stellite 1 x percurso efetivo de corte do Eucalipto saturado de água. ....	94
Figura 4.3- Gráficos dos desgastes das ferramentas de aço AISI D-6 x tempo efetivo de corte do Eucalipto saturado de água. ....	95
Figura 4.4- Gráficos dos desgastes das ferramentas de aço AISI D-6 x percurso efetivo de corte do Eucalipto saturado de água. ....	96
Figura 4.5- Gráficos dos desgastes das ferramentas de stellite 1 x tempo efetivo de corte do Eucalipto saturado de água a 6220 rpm (1) e (2). ....	97
Figura 4.6- Gráficos dos desgastes das ferramentas de stellite 1 x percurso efetivo de corte do Eucalipto saturado de água a 6220 rpm (1) e (2). ....	98
Figura 4.7- Gráficos dos desgastes das ferramentas de aço AISI D-6 x tempo efetivo de corte do Eucalipto saturado de água. 6220 rpm (1) e (2). ..	99
Figura 4.8- Gráficos dos desgastes das ferramentas de aço AISI D-6 x percurso efetivo de corte do Eucalipto saturado de água a 6220 rpm (1) e (2). ....	100
Figura 4.9- Gráficos dos tempo efetivo de vida x velocidade de corte para 100 microns de desgaste na usinagem da madeira saturada de água. ....	101
Figura 4.10-Gráficos do percurso efetivo de corte x velocidade de corte para 100 microns de desgaste na usinagem da madeira saturada de água. ....	102
Figura 4.11- Gráficos dos desgastes das ferramentas de stellite 1 x tempo efetivo de corte na usinagem do Eucalipto seco ao ar. ....	107
Figura 4.12-Gráficos dos desgastes das ferramentas de stellite 1 x percurso efetivo de corte na usinagem do Eucalipto seco ao ar. ....	108
Figura 4.13- Gráficos dos desgastes das ferramentas de aço AISI D-6 x tempo efetivo de corte na usinagem do Eucalipto seco ao ar. ....	109
Figura 4.14- Gráficos dos desgastes das ferramentas de aço AISI D-6 x percurso efetivo de corte na usinagem do Eucalipto seco ao ar. ....	110
Figura 4.15- Gráficos dos tempo efetivo de vida x velocidade de corte para 100 microns de desgaste na usinagem da madeira seca. ....	111

Figura 4.16- Gráficos do percurso efetivo de fim de vida x velocidade de corte para 100 microns de desgaste. ....	112
Figura 4.17- Gráficos dos tempos efetivos de fim de vida x velocidade de corte para 100 microns de desgaste na usinagem da madeira saturada de água e seca ao ar. ....	113
Figura 4.18- Gráficos dos percursos efetivos de fim de vida x velocidade de corte para 100 microns de desgaste na usinagem da madeira saturada de água e seca ao ar. ....	114
Figuras 4.19 a 4.34. Gráficos dos perfis de desgaste das arestas de corte, em função do percurso efetivo de usinagem. ....	115
Figura 9.1- Fotografias com ampliação de 25 X, mostrando ferramentas recém-afiadas, uma de aço AISI D-6 e outra de stellite 1. ....	157
Figura 9.2- Fotografias com ampliação de 25 X, mostrando ferramentas após o corte de 64,3 km de madeira saturada de água, na rotação de 3136 rpm, sendo uma de aço AISI D-6 e outra de stellite 1. ....	158
Figura 9.3- Fotografias com ampliação de 25 X, mostrando ferramentas após o corte de 88,4 km de madeira saturada de água, na rotação de 4320 rpm, sendo uma de aço AISI D-6 e outra de stellite 1. ....	159
Figura 9.4- Fotografias com ampliação de 25 X, mostrando ferramentas após o corte de 128,6 km de madeira saturada de água, na rotação de 6320 rpm, sendo uma de aço AISI D-6 e outra de stellite 1. ....	160
Figura 9.5- Fotografias com ampliação de 25 X, mostrando ferramentas após o corte de 116,6 km de madeira seca ao ar, na rotação de 3136 rpm, sendo uma de aço AISI D-6 e outra de stellite 1. ....	161
Figura 9.6- Fotografias com ampliação de 25 X, mostrando ferramentas após o corte de 134 km de madeira seca ao ar, na rotação de 4320 rpm, sendo uma de aço AISI D-6 e outra de stellite 1. ....	162
Figura 9.7- Fotografias com ampliação de 25 X, mostrando ferramentas após a usinagem de 113,9 km de madeira seca ao ar, na rotação de 5320 rpm, sendo uma de aço AISI D-6 e outra de stellite 1. ....	163
Figura 9.8- Fotografias com ampliação de 25 X, mostrando ferramentas após a usinagem de 107 km de madeira seca ao ar, na rotação de 6320 rpm,	

sendo uma de aço AISI D-6 e outra de stellite 1. .... 164

## LISTA DE TABELAS

	Pag.
Tabela 2.1- Especificações dos metais duros ensaiados por SALJÉ, E & STÜHMEIER, W. ....	20
Tabela 3.1- Composição química dos materiais de ferramentas ensaiados. ....	80
Tabela 3.2- Tempos para o avanço do corpo de prova de 2 m. ....	86
Tabela 3.3- Disposição prática para a análise de variância. ....	87
Tabela 3.4- Exemplo de cálculo do coeficiente F de “Snedecor” aplicado à usinagem da madeira de Eucalipto saturado de água usando-se como material de ferramenta o stellite 1. ....	87
Tabelas 4.1 a 4.4 -Dados da progressão dos desgastes das ferramentas, na usinagem da madeira de Eucalipto saturado de água a 3136, 4320 e 6220 rpm. ....	89
Tabela 4.5- Dados do desgaste x tempo efetivo de corte das ferramentas de stellite 1 na usinagem da madeira de Eucalipto saturado de água. ....	93
Tabela 4.6- Dados do desgaste x percurso efetivo de corte das ferramentas de stellite 1 na usinagem da madeira de Eucalipto saturado de água. ....	94
Tabela 4.7- Dados do desgaste x tempo efetivo de corte das ferramentas de aço AISI D-6 na usinagem da madeira de Eucalipto saturado de água. ....	95
Tabela 4.8- Dados do desgaste x percurso efetivo de corte das ferramentas de aço AISI D-6 na usinagem da madeira de Eucalipto saturado de água. ....	96
Tabela 4.9- Dados de todos os ensaios de desgaste x tempo efetivo de corte das ferramentas de stellite 1 na usinagem da madeira de Eucalipto saturado de água. ....	97
Tabela 4.10- Dados de todos os ensaios de desgaste x percurso efetivo de corte das ferramentas de stellite 1 na usinagem da madeira de Eucalipto saturado de água. ....	98

Tabela 4.11- Dados de todos os ensaios de desgaste x tempo efetivo de corte das ferramentas de aço AISI D-6 na usinagem da madeira de Eucalipto saturado de água. ....	99
Tabela 4.12- Dados de todos os ensaios de desgaste x percurso efetivo de corte das ferramentas de aço AISI D-6 na usinagem da madeira de Eucalipto saturado de água. ....	100
Tabela 4.13- Dados do tempo efetivo de fim de vida das ferramentas versus velocidade de corte para 100 microns de desgaste na usinagem da madeira de Eucalipto saturada de água. ....	101
Tabela 4.14- Dados do percurso efetivo de fim de vida das ferramentas versus velocidade usinagem para 100 microns de desgaste na usinagem da madeira de Eucalipto saturada de água. ....	102
Tabela 4.15 a 4.18- Dados da progressão dos desgastes das ferramentas, na usinagem da madeira de Eucalipto seca ao ar a 3136, 4320, 5320 e 6220 rpm. ....	103
Tabela 4.19- Dados do desgaste x tempo efetivo de usinagem das ferramentas de stellite 1 na usinagem da madeira de Eucalipto seca ao ar. ....	107
Tabela 4.20- Dados do desgaste x percurso efetivo de corte das ferramentas de stellite 1 na usinagem da madeira de Eucalipto seca ao ar. ....	108
Tabela 4.21- Dados do desgaste x tempo efetivo de usinagem das ferramentas de aço AISI D-6 na usinagem da madeira de Eucalipto seca ao ar. ....	109
Tabela 4.22- Dados do desgaste x percurso efetivo de corte das ferramentas de aço AISI D-6 na usinagem da madeira de Eucalipto seca ao ar. ....	110
Tabela 4.23- Dados do tempo efetivo de fim de vida das ferramentas versus velocidade de corte para 100 microns de desgaste na usinagem da madeira de Eucalipto seca ao ar. ....	111
Tabela 4.24- Dados do percurso efetivo de fim de vida das ferramentas versus a velocidade de corte para 100 microns de desgaste na usinagem da madeira de Eucalipto seca ao ar. ....	112

Tabela 4.25- Dados do tempo efetivo de fim de vida das ferramentas versus velocidade de corte para 100 microns de desgaste na usinagem da madeira de Eucalipto saturado de água e seca ao ar.	113
Tabela 4.26- Dados do percurso efetivo de fim de vida das ferramentas versus velocidade corte para 100 microns de desgaste na usinagem da madeira de Eucalipto saturada de água e seca ao ar.	114
Tabelas 4.27 a 4.42- Dados dos valores médios dos desgastes de todas as ferramentas para os diversos percursos de usinagem.	115
Tabela 5.1- Valores calculados de $F$ , do coeficiente de correlação $r$ , e do desvio padrão $s$ sobre as regressões.	143
Tabelas 9.1 a 9.12 - Dados das cotas medidas ( $X$ e $Z$ ), que representam os perfis das arestas de corte principais, recém-afiadas e desgastadas de todas as ferramentas nos ensaios realizados a 3136 rpm.	165
Tabela 10.1- Classes de abrasividade de algumas madeiras tropicais.	178
Tabela 10.2- Composição química de stellites.	179
Tabela 10.3- Condições de uso recomendadas para o uso do stellite.	179
Tabela 10.4- Composições das principais variedades de carboneto de tungstênio usadas no corte da madeira.	180
Tabela 10.5- Composição química percentual dos aços rápidos para testes de torneamento em chapas de fibra de madeira.	180
Tabela 10.6- Propriedades mecânicas nominais para alguns aços de ferramenta.	180
Tabela 10.7- Composição química e propriedades físicas importantes de alguns metais duros fabricados pela firma G.E.	180
Tabela 10.8- Composição química e propriedades físicas importantes de alguns metais duros fabricados pela firma Kennametal.	181
Tabela 10.9- Composição química e propriedades físicas importantes de alguns metais duros fabricados pela firma Fansteel.	181
Tabela 10.10 e 10.11- Composição química e propriedades físicas importantes de alguns metais duros. Bayoumi & Bailey.	181
Tabela 10.12- Composição química e propriedades físicas importantes de stellites e do aço rápido M-2. Bayoumi & Bailey.	182

Tabela 10.13-Algumas propriedades das madeiras usadas em experimentos de Banshoya. ....	182
Tabela 10.14-Composição química e propriedades físicas importantes de alguns metais duros fabricados pela firma G.E. ....	183

## RESUMO

Foram ensaiados conjuntamente dois materiais de ferramentas: O aço AISI tipo D6 e o stellite-1, usinando-se a madeira "Eucalyptus grandis", tanto no estado saturado de água como no estado seco ao ar, com as seguintes velocidades de corte: 25,4 m/ s, 35,0 m/ s, 42,6 m/ s e 50,5 m/ s.

Para-se realizarem os ensaios, projetou-se e construiu-se um porta ferramentas que possui 12 alojamentos para ferramentas, 6 ferramentas de cada tipo de material, dispostas axialmente, formando uma fresa de corte frontal e tangencial.

Os ensaios foram realizados numa tupa, à qual se montou o porta ferramentas construído e se adaptou um sistema de avanço dos corpos de prova com velocidade continuamente regulável, garantindo avanço de 0,3 mm / rot. e profundidade de corte constante de 1,7 mm por dente.

Como critério de vida, adotou-se um desgaste de 100 microns no deslocamento da aresta principal de corte. Foram levantadas as curvas de desgaste em função do tempo efetivo de corte e em função do percurso efetivo de corte para cada velocidade ensaiada tanto para a madeira saturada de água como para a madeira seca ao ar, e determinadas as equações de regressão correspondentes. Com auxílio das equações de regressão, foram calculados o tempo efetivo e percurso efetivo de corte para o desgaste de 100 microns da aresta de corte.

Com o sistema usado, os dois materiais de ferramentas usinaram a mesma madeira, pois a madeira é um material anisotrópico, com propriedades mecânicas e químicas variáveis, sendo que a variação das propriedades de usinagem dentro de uma mesma espécie pode apresentar uma variação muito grande.

Dos dois materiais de ferramentas ensaiados, por dezenas de quilômetros de percurso efetivos de corte, na usinagem tanto da madeira saturada de água como da madeira seca ao ar, o stellite 1, embora com dureza mais baixa (55 Rc) em relação ao aço AISI D-6 (61 Rc), mostrou melhor desempenho tanto na usinagem da madeira saturada de água como na da madeira seca ao ar.

Na usinagem da madeira saturado de água, o mecanismo de desgaste das ferramentas é abrasivo e corrosivo, enquanto, na usinagem da madeira seca, o mecanismo de desgaste é abrasivo e físico-químico.

Os resultados experimentais mostraram tendências diferentes para as curvas representativas de vida das ferramentas. Para a madeira seca ao ar, os raios de curvatura das curvas de vida estão abaixo das curvas, isto é, para as velocidades mais baixas, a vida mantém-se alta. A partir de um dado valor da velocidade de corte, a vida das ferramentas cai, enquanto que, para a madeira saturada de água, os raios de curvatura das curvas de vida estão acima das curvas, isto é, aumentado-se ligeiramente o valor da velocidade de corte, a vida das ferramentas diminui e, a partir de um dado valor da velocidade, a vida das ferramentas estabiliza-se.

## ABSTRACT

Two tool materials were tested at the same time, the steel AISI D-6 and the stellite-1: we machined both the wet and the air dry "Eucalyptus grandis" wood, with the following cutting speed: 25,4 - 35,0 - 42,6 and 50,5 m/s.

To achieve the results of the tests, we developed a tool-holder with twelve holes to hold the tools, six tools of each type of material, to hold the tools in the same direction of the axis, forming an end mill.

The test was carried out in a molding machine, at which we set up the built tool-holder and attached a feeder for the wood beams with stepless regulation speed, assuring a feed of 0,3 mm/rev. The depth of the cut was 1,7 mm per tooth.

As tool life criterion, we adopted a 100  $\mu\text{m}$  wear of the cutting wedge. The tool wear was plotted considering both the time and the cutting length, for each tested cutting speed, for the wet as well as for the air dry wood. For all the cases, we did find the corresponding regression equations. With the regression equations, we computed the time and the cutting length for 100  $\mu\text{m}$  wear of the cutting wedge.

By using this system, it was found out: that the two tool materials machined the same kind of wood, since the wood is anisotropic, with variable mechanical and chemical properties and that the variation of the properties into the same specie can differ very much.

Despite a smaller hardness (55 Hrc) of the stellite 1, in regard to the AISI-D6 (61 HRC) steel, when the two tool materials were tested over tens of kilometers of cutting lengths, either in the wet or in the air dry wood machining, it was the stellite-1 tool material that showed a better performance.

The tool wear mechanism of the wet wood machining is abrasive and corrosive, whereas the mechanism of the air dry wood machining is abrasive and physical-chemical.

The experimental outcome showed different trends as to the life of the tools. The plots of the tool life for the air dry wood are bent downwards, that is, for the lower cutting speeds the tool life lasts longer. From a certain value of

speed, the tool life falls, whereas for the wet wood machining the tool life bends upwards, that is, by increasing a little bit the cutting speed value, the tool life decreases and from a certain value of the cutting speed, the tool life stabilizes.

## **1 - INTRODUÇÃO**

### **1.1 - Apresentação do problema**

As múltiplas aplicações da madeira justificam um estudo mais profundo de sua usinabilidade, visando: aspectos econômicos, para diversos processos de fabricação, melhor desempenho e adequação das ferramentas.

Nas grandes indústrias madeireiras, que usam a madeira para produzir tábuas, finas lâminas de madeiras, fibras de madeira para produzir chapas de fibras e na produção de chapas de partículas de madeira, é que se percebe a importância do bom desempenho das ferramentas. Máquinas gigantes, possuindo fresas com diâmetros superiores a 0,5m e geratrizes, com comprimentos de aproximadamente 2 m, trituram continuamente troncos de árvores. A potência necessária para acionar essas máquinas ultrapassa uma centena de cavalos .

Na produção industrial, o desgaste as cunhas de corte das ferramentas faz a força de corte aumentar. A somatória das forças aplicadas às ferramentas alcança, após um certo tempo, um nível tal, que torna impossível o prosseguimento do processo.

Um dos problemas mais sérios no processamento das madeiras é a perda do fio de corte das serras e facas de corte. A perda do fio de corte afeta a qualidade do corte e a rugosidade das superfícies cortadas, aumenta a energia consumida, os custos de manutenção das ferramentas, o custo de manufatura e reduz a produção.

A importância da vida das ferramentas na indústria é evidente. Muitas espécies de madeiras não são processadas porque sua abrasividade é exageradamente alta e, mesmo nas serrarias que processam espécies não abrasivas, a eficiência da automação depende do controle perfeito da vida da ferramenta,

proporcionando uma garantia de que a ferramenta possa produzir uma dada qualidade, além de um tempo pré-determinado.

O desgaste no decorrer do processo de usinagem é um fenômeno complexo, resultante da interação de numerosos fatores dependentes :

- da natureza da madeira (características físicas, mecânicas, químicas e de parâmetros susceptíveis de se modificar, principalmente o teor de umidade).
- da ferramenta (forma geométrica e de seu material).
- das condições de corte (velocidade, altura de trabalho, velocidade de avanço, etc.)

O processamento mecânico da madeira verde provoca determinados problemas nas ferramentas de corte. A madeira no estado natural não contém somente lenho, mas também água e extrativos solúveis e não solúveis em água. Existem evidências indicando ocorrência de fenômenos eletroquímicos na região de contato entre a ferramenta e a madeira, devido aos seus componentes líquidos e à natureza não homogênea das ferramentas de corte.

Embora o atrito seja um fator importante no desgaste das ferramentas, o seu desgaste é incrementado por reações químicas causadas por um número considerável de substâncias corrosivas encontradas nos extratos da madeira, que são ácidos orgânicos fracos e polifenóis aromáticos.

As operações econômicas de usinagem de metais e madeira são freqüentemente controladas pela seleção dos materiais das ferramentas. Tal seleção é baseada em dados disponíveis de vida da ferramenta, que geralmente se baseiam numa medida particular de desgaste da ferramenta.

Existe falta de dados relativos à vida das ferramentas, sobretudo para as várias combinações ferramenta peça-obra, usadas na usinagem da madeira.

Poucos são os trabalhos científicos realizados que abordam o efeito da velocidade sobre a vida das ferramentas. KIVIMAA (1952) faz a primeira menção da influência da velocidade sobre a vida das ferramentas, usinando pinho seco, usando ferramentas de aço carbono. STEFANIAK (1971) realizou ensaios da influência da velocidade usando como matéria prima chapas de aglomerados de madeira com serras de metal duro. TSAI E KLAMECKI (1980) realizaram ensaios de torneamento de madeiras com três velocidades de corte, mas à baixa velocidade e

aplicaram pela primeira vez o conceito de vida da ferramenta na usinagem da madeira, aplicando a equação de Taylor. HAYASHY e SUZUKI (1983) estudaram a relação entre a velocidade de corte e o desgaste da cunha de corte durante o fresamento periférico de madeiras secas. SALJÉ, DRÜCKHAMMER e STÜLMEIER (1985), nos ensaios de fresamento de bordas de chapas de aglomerados de madeira, perceberam que o desgaste da ferramenta aumentou até a velocidade de 60 m/s, e com 70 m/s, o desgaste da ferramenta e a imperfeição da aresta usinada e a potência consumida foram menores.

## 1.2 - Objetivo do trabalho

O objetivo deste trabalho foi de conhecer e levantar as curvas de vida em função da velocidade de usinagem para um determinado nível de desgaste da ferramenta com corte interrompido. A partir desse nível de desgaste, a qualidade da superfície usinada ultrapassa os limites pré-estabelecidos. As velocidades usadas neste trabalho foram escolhidas na faixa de velocidades comumente usadas no processamento da madeira, usando-se como materiais de ferramenta o aço AISI D-6 e o stellite -1, possíveis de serem utilizados na manufatura de serras de discos, fresas, facas, etc., no processamento da madeira Eucalipto Grandis.

O Eucalipto Grandis é uma das espécies de Eucalipto mais plantadas no Brasil. Aos 18 anos de idade, apresenta árvores com diâmetro médio de 35 cm e de forma bastante retilínea e com boas perspectivas de utilização para a produção de madeira serrada e laminada. Além dos usos comuns, é usado em chapas de fibra de madeira e fabricação de celulose. Testes demonstraram que a madeira dessa árvore tem todas as condições de se transformar, no futuro muito próximo, no principal produto da indústria madeireira.

A madeira Eucalipto Grandis é uma madeira cujo cerne apresenta coloração que varia de uma tonalidade rósea a avermelhada clara. Sua usinabilidade e beleza indicam-na inclusive para a fabricação de móveis.

## 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Antes de apresentar os principais trabalhos científicos que orientaram a realização deste trabalho, é apresentado a figura de uma cunha de corte com a devida nomenclatura, para facilitar a compreensão do texto que segue.

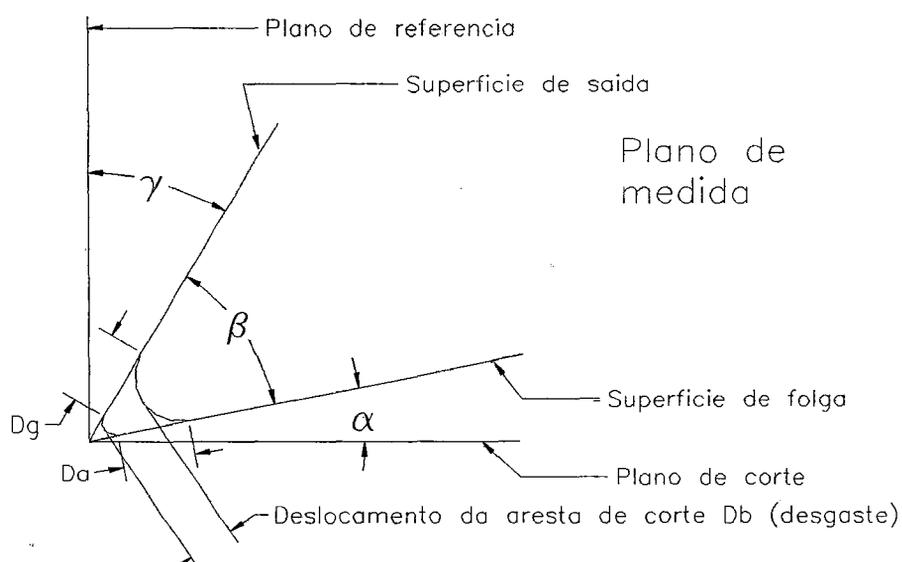


Figura 2.1- Perfil da cunha de corte das ferramentas, conforme a Norma ISO;  $\alpha$  ângulo de folga,  $\beta$  ângulo de cunha,  $\gamma$  ângulo de saída,  $D_a$ ,  $D_g$  e  $D_b$  são deslocamentos da aresta de corte.

### 2.1-Pesquisas que envolvem condições de usinagem, qualidade de afiação e desempenho das ferramentas para usinar madeira

KIVIMAA, E. (1952)- Nessa pesquisa, considerou-se apenas a perda do fio de corte lento e progressivo da cunha de corte da ferramenta, que ocorreu durante o processo de usinagem. Foi possível afirmar-se que o desgaste da

cunha de corte, de apenas alguns centésimos de mm, foi o suficiente para a ferramenta perder o fio de corte.

Os desgastes da cunha de corte foram medidos com auxílio de um microscópio de oficina e a usinagem (corte) da madeira (**Betula Finlandesa** com 12 % de umidade) foi realizada sempre na direção perpendicular às fibras, com a velocidade de 5 m/s e profundidade de corte de 0,1 mm. Para poder comparar os experimentos de desgaste entre si, mediu-se a força principal de corte em intervalos de tempo determinados e construiu-se o gráfico da variação dessa força em função do percurso de corte.

As ferramentas usadas no experimento eram de aço carbono, 0,99% C., 1,5% Si, 0,95% Mn, 1,01% Cr e 0,01% P, com dureza de 59 Rc. Seu ângulo de saída era de 35 ° e seu ângulo de folga era de 10 °.

Verificou-se na prática, que o desgaste das cunhas de corte na usinagem das madeiras ocorre em duas etapas: na primeira etapa, quando se atinge 300 m de percurso de corte, o fio de corte ótimo desaparece; a partir daí, inicia-se um desgaste lento e progressivo.

A velocidade da usinagem da madeira seca influencia a velocidade do desgaste da cunha de corte; para cada caso é necessário achar-se a velocidade de corte ótima, pois nessa velocidade, o desgaste da cunha de corte é mínimo. Foram também realizados experimentos, usinando-se **pinho seco ao ar com** 9% de umidade, densidade média de 0,51g/cm<sup>3</sup>, com as velocidades de (2, 10, 40 e 60) m/s, determinando-se a variação da força principal de corte em função do percurso de corte.

Os gráficos levantados, da força principal de corte contra o percurso de corte, com as velocidades mencionadas, mostraram que com a velocidade de 40 m/s, a força de corte mantém-se praticamente constante com o aumento do percurso de corte; entretanto, com 60 m/s, a força de corte cresce continuamente com o aumento do percurso de corte.

Quanto à natureza do fenômeno de desgaste

Analisando-se as cunhas de corte das ferramentas desgastadas e também o gráfico da variação da força de corte, em função do percurso de corte, para as diversas velocidades de corte ensaiadas, para as velocidades de corte mais

baixas, notou-se uma velocidade de desgaste mais alta nas ferramentas de corte. *Portanto, o autor concluiu que parte do fenômeno de desgaste é químico, devido aos extratos da madeira, que possuem ácidos orgânicos, que corroem a ferramenta de corte.*

*Observando-se os resultados dos experimentos, foi possível concluir-se que a perda do fio de corte da ferramenta não é apenas de natureza abrasiva, mas também de natureza química ou eletroquímica, provocada pelos extratos da madeira. Portanto, o desgaste das ferramentas de usinagem da madeira pode ser governado por uma corrente elétrica.*

PAHLITZSCH, G., SANDVOß (1970) - Empregando uma tupia, montaram um banco de ensaios que permitia o ajuste da velocidade de avanço em qualquer valor dentro de uma faixa e a variação do número de rotações em valores determinados, numa ampla faixa de velocidades. Estensômetros permitiram a medição e registro das forças de corte e das forças radiais atuantes na ferramenta, alojada no corpo de uma fresa de corte tangencial.

Foram realizados ensaios de desgaste de ferramentas de aço rápido, na usinagem da borda lateral de chapas de fibra de madeira dura, com diversos ângulos de folga e ângulos de saída, até um percurso de avanço de 50 m. As forças de corte e as forças radiais aumentaram segundo uma função matemática de potência com expoente menor que a unidade, com o aumento do percurso de avanço; o aumento da força radial foi muito maior do que o da força de corte.

Durante o processo de desgaste da ferramenta, o desgaste provocou um arredondamento da intersecção entre as faces de saída e de folga com raio de aproximadamente 50 microns, o qual se transformou progressivamente num chanfro com largura crescente.

Com uma velocidade de corte de 38 m/s, obteve-se um coeficiente de atrito de aprox. 0,2 tanto sobre a superfície de saída, como sobre a superfície de folga (chanfro), o qual é independente do valor do ângulo de cunha de corte, ou do ângulo de saída da ferramenta.

Para uma qualidade de superfície previamente especificada (aumento das bordas das chapas de fibra de madeira dura por recalque  $\Delta a = 0,5$  mm),

determinou-se o percurso de avanço possível de ser obtido, para um determinado ângulo de folga e um determinado avanço.

*O autor finaliza que, para obter uma boa qualidade na aresta usinada na peça-obra dentro do tempo de vida da ferramenta, se deve escolher o menor ângulo de cunha possível, aliado a um grande ângulo de folga, sendo que estes valores também conduziram ao maior percurso de avanço.*

CHARDIN (1971)- apresentou os principais fatores, que eram conhecidos, sobre o desgaste dos dentes de serras na usinagem da madeira, que influem no desempenho das ferramentas.

#### **Influência da espécie de madeira**

*Chardin afirma que se o desgaste do dente for expresso em termos de perda unitária de massa de metal por unidade de comprimento de corte, dependendo da espécie esta razão pode atingir o valor de 1:120.000. Se for considerado diferentes árvores da mesma espécie, a variação da razão mencionada é comumente 5, mas se a espécie contém sílica, pode-se chegar a 10 ou 20.*

#### **Influência do material da ferramenta**

*Para madeiras que contém sílica, assumindo-se que a resistência ao desgaste do aço carbono para ferramentas AISI-tipo 140 é de uma unidade, então a resistência média do aço rápido é aproximadamente cinco. A resistência das cunhas de corte de stellite varia entre 10 e 20, dependendo do stellite. O metal duro possui resistência superior a 50. Dentes de serras revestidos com cromo duro desgastam-se mais rapidamente do que os dentes de stellite.*

#### **Influência do nível de umidade**

*Nas madeiras que contém sílica, a influência da umidade somente se faz sentir nas madeiras de média e baixa densidade. Para estas espécies, a abrasividade da madeira seca é comumente 4 a 10, ou ainda maior, em comparação com a abrasividade das madeiras verdes, devido a resistência ou a dureza da madeira que contém os cristais de sílica.*

*Para as madeiras que não contém sílica, o desgaste pode ser 4 ou 5 vezes maior nas madeiras verdes, em comparação com a madeira seca.*

*Estefenômeno é observado com maior facilidade nas madeiras leves do que nas madeiras pesadas e pode ser relacionado ao efeito eletroquímico.*

### **Influência da espessura do cavaco**

Um aumento na espessura do cavaco leva a um aumento no percurso de corte de madeira serrada para o mesmo nível de desgaste, exceto para as madeiras de alta densidade, cortadas com serras de aço comum, nas quais ocorre deformação plástica da aresta de corte. Todos os outros casos beneficiam-se com o aumento da espessura do cavaco, porque o desgaste por unidade de percurso serrado é menor. O desgaste consiste principalmente na redução progressiva do ângulo de saída, devido ao arredondamento progressivo da aresta de corte.

STEFANIAK, V.W. (1971) - Nos experimentos, determinou-se o grau de desgaste dos dentes das serras pela mudança da geometria das arestas de corte na usinagem de chapas de aglomerado de madeira, projetando-se óticamente num anteparo o contorno dos dentes das serras, com ampliação de 100 X, tanto da superfície de saída como da cunha de corte (projeção lateral).

Nas projeções das cunhas dos dentes foram medidos: o desgaste da superfície de saída, o desgaste da aresta de corte, o desgaste da superfície de folga e os raios de canto dos dentes das serras, a partir do vértice teórico das pontas dos dentes.

Os ensaios de serramento foram realizados com serras com dentes de metal duro com 89% de WC e 11% de cobalto, com 315 mm de diâmetro, 14 dentes, largura de ponta de 3,2 mm, ângulo de saída de 20° e ângulo de cunha de 55°. As condições de usinagem foram as seguintes: velocidades (33; 42; 50; 62; 79; 99 e 124) m/s, avanço por dente 0,15 mm, sendo que a serra ultrapassava a face superior das chapas em 15 mm.

Os desgastes dos dentes de cada uma das serras foram medidos após (0,16; 0,40; 1,0; 4,0; 6,3; 10; 16; 25; 40; 60; 80; 100; 120 e 140) km de percurso de corte.

Os resultados experimentais mostraram que entre as velocidades de 42m/s e 50 m/s, todos os desgastes medidos dos dentes da serra, sofreram um grande acréscimo. Entre as velocidades de 50 m/s e 62 m/s, os

desgastes decresceram até 62 m/s, e a partir de 62 m/s voltaram a crescer até a máxima velocidade ensaiada de 124 m/s.

Analisando-se as curvas de desgaste em função do percurso de corte, observa-se que, logo no início dos ensaios de serramento, a velocidade de corte influencia o desgaste nos dentes das serras, atentando-se para o fato de que a relação entre a velocidade de corte e o desgaste não é linear. Com o aumento da velocidade de 33 a 124 m/s, o aumento médio do desgaste dos dentes da serra foi de 24,6%.

A partir dos dados experimentais na faixa de velocidades analisada, pode-se verificar que a influência da velocidade no desgaste em baixas velocidades é mais significativa do que nas velocidades mais altas e que todos os parâmetros analisados aumentam paralelamente com a velocidade.

Observou-se também que existe uma relação entre a velocidade de corte e a amplitude da oscilação lateral da serra. Na faixa de velocidades de 33 a 79 m/s, o aumento dessa amplitude de oscilação da serra é diretamente proporcional a velocidade de corte. A partir de 79 m/s, ocorre um grande incremento dessa amplitude de oscilação até a velocidade de 100 m/s; de 100 a 124 m/s, o incremento da amplitude de oscilação diminui.

Durante o processo de corte, a serra afiada apresenta uma amplitude de oscilação maior do que uma serra desgastada. Na serra desgastada, existe um amortecimento maior da amplitude de oscilação, pois o canal do corte devido ao desgaste dos dentes da serra, é mais estreito.

PAHLITZSCH, G. SANDVOß (1972)- Nessa pesquisa os autores investigaram o processo de desgaste, a variação da força principal e a variação da força radial de corte, numa fresa de aço rápido, de corte periférico no processo de corte concordante, na usinagem de chapas de fibra de madeira duras, numa tupa sob diversas condições de usinagem.

A pesquisa revelou que a profundidade de corte deve ser a maior possível, pois aumentando-se a profundidade de corte, o desgaste da cunha de corte aumenta, mas em menor proporção, o que permite processar um volume maior de chapa de fibra de madeira com um mesmo valor do desgaste da cunha de corte.

Visto que o percurso de corte máximo ou vida da ferramenta cresce de forma aproximadamente linear com o aumento do avanço por dente, deve-se ajustar a velocidade de corte e a velocidade de avanço de tal forma, que o avanço por dente resulte aproximadamente em 3 mm.

As forças atuantes nas superfícies de saída das cunhas cortantes aumentam com o aumento da espessura do cavaco, proporcionalmente ao avanço por dente e diminuem com o aumento da profundidade de corte.

A solicitação das forças na superfície de folga cresce com o aumento do desgaste das arestas de corte. Devido a esse fato, as bordas da superfície usinada na chapa de fibra de madeira, apresentam no início da usinagem forma retilínea uniforme e à medida que aumenta o desgaste das arestas de corte da fresa, a superfície usinada passa a apresentar uma borda alargada.

*Os autores acabam afirmando que, se usaem como critério de vida da ferramenta, um determinado valor do desgaste da superfície de saída, para um percurso de corte correspondente à vida da ferramenta, estes dois fatores estarão relacionados entre si por uma relação fixa. Em consequência, pode-se investigar o desgaste da ferramenta sob outras condições de usinagem, por exemplo para um pequeno desgaste da aresta de corte, determinando-se seu correspondente percurso de usinagem de fim de vida.*

MCKENZIE & KARPOVICH (1975)- Investigaram o desgaste e a perda do fio de corte de uma ferramenta de aço (2% C, 12% Cr) simplesmente afiada e posteriormente polida, na usinagem de um material à base de madeira (fibra de madeira), com a velocidade de corte de 3,3 m/s.

Foram observados o desgaste da aresta de corte da ferramenta e as componentes da força de corte em três direções, a intervalos definidos de comprimento de corte, torneando-se um bloco preparado por colagem de fibra dura de madeira.

Observou-se que o ângulo de folga é fundamental no controle do desgaste da ferramenta: para 15°, o desgaste é consideravelmente maior do que para 5°. Para o ângulo de saída, o desgaste foi menor para 15° do que para 35°.

Observou-se que acima de 800 metros de percurso de corte, ocorreu uma mudança no comportamento das três forças: a força principal para de crescer e a força de avanço continua crescendo. Mudanças na força de avanço estão ligadas à ocorrência de defeitos de usinagem, tais como: esgarçamento da borda cortada, dificuldades de avanço e queima da madeira.

*O autor conclui que os ângulo de folga e saída não podem ser aumentados, sem levar em consideração a perda mais rápida da afiação da aresta de corte, pois o ângulo de cunha da ferramenta diminui. O polimento das superfícies das ferramentas diminui bastante a velocidade de desgaste das mesmas, especialmente a ponta da ferramenta.*

SUGIHARA et alii (1979)- Examinaram a influência do tamanho dos grãos do carboneto de tungstênio no desgaste dos dentes das serras de metal duro durante o corte de chapas de aglomerado de madeira, com a velocidade de corte de 58,5 m/s, com o objetivo de elucidar o mecanismo de desgaste.

No experimento 1, foram usadas três serras circulares, cada uma com dentes de metal duro com carbonetos diferentes, F (grão extra fino 0,5  $\mu\text{m}$ ), G (grão médio 1,5  $\mu\text{m}$ ) e H (grão grosso 5,0  $\mu\text{m}$ ) respectivamente. No experimento 2, usou-se uma serra circular (F,G e H) com dentes de metal duro com carbonetos F, G e H colocados na ordem FGHFGH...

As pastilhas F foram mais resistentes à fragmentação parcial da aresta de corte em relação às outras duas, mas foram menos resistentes ao desgaste por atrito. É provável que o carboneto de grão grosso, exposto na superfície do metal duro H, tenha a função de um bom abrasivo, enquanto que o metal duro F, com carbonetos de grãos extra finos, tem a tendência a escorregar.

O raio da ponta dos dentes das serras no início do corte estavam na ordem  $H > G > F$ ; após o experimento, a ordem dos raios das pontas inverteram-se, apresentando-se na ordem  $F > G > H$ .

*O autor sugere a partir desse fenômeno que as pastilhas com carbonetos de grãos finos, dentes de metal duro F podem ser melhor afiadas; devido a isto, as arestas de corte não se fragmentam no início do serramento.*

*A pastilha F possui a maior dureza e tenacidade, mas apresentou vida útil mais curta e o maior desgaste entre as três pastilhas ensaiadas. A pastilha H, embora mais mole, apresentou o melhor desempenho no serramento do aglomerado.*

*Destas observações, deduz-se que o mecanismo de desgaste dos dentes de metal duro das serras, para as superfícies de folga, é o atrito e, para as superfícies de saída, é o impacto.*

KLAMECKI (1981)- Estudou a influência da velocidade de avanço sobre o desgaste dos dentes de metal duro das serras e a influência do desgaste dos dentes sobre a rugosidade das superfícies cortadas. A velocidade periférica da serra era 74,7 m/s e os avanços 0,25 mm e 0,44 mm por dente.

Foram medidos os desgastes das superfícies de saída, das superfícies de folga e das arestas de corte dos dentes e as rugosidades da superfície cortada nos lados de entrada e de saída dos dentes.

Os resultados experimentais mostraram que se deve usar o maior avanço possível por dente, no serramento da madeira aglomerada, pois o tempo de corte será menor, em detrimento de um pequeno aumento no desgaste do dente da serra.

*KLAMECKI afirma que, para se conseguir baixa rugosidade no corte é importante o corte das partículas do aglomerado, visto que as partículas do aglomerado poderão ser cortadas ou arrancadas, dependendo da afiação da aresta de corte relativamente ao tamanho das partículas aglomeradas. Pequenos desgastes nos dentes da serras provocam grandes aumentos na rugosidade da chapa de aglomerado serrada.*

KIRBACH & BONAC (1981)- Investigaram a influência da direção do movimento de retífica, sistema de avanço e retorno do rebolo sobre o acabamento superficial e menor fragmentação do fio de corte, durante o processo de afiação de uma pastilha de metal duro.

As direções do movimento de retífica em relação à aresta de corte foram: paralela, a 45° e perpendicular.

*Deste trabalho, os autores tiraram as seguintes conclusões: as três direções do movimento de retífica produzem fragmentação da aresta de corte, mas a direção de retífica paralela à aresta de corte produz a maior fragmentação da mesma. O retorno do rebolo sobre a a superfície recém-retificada, atritando na pastilha de metal duro também produz fragmentação da aresta de corte. A fragmentação da aresta de corte aumenta linearmente com o aumento do ângulo de saída ou com a redução do ângulo de cunha da ferramenta que está sendo afiada.*

A profundidade de corte durante a retífica não exerce influência na fragmentação da aresta de corte, na faixa de profundidade usada, de 5 a 15 microns. O tamanho de grão do rebolo influencia a fragmentação da aresta de corte. A granulometria de 320 mesh fragmenta menos a aresta de corte em comparação aos resultados do rebolo de 180 mesh.

Os ensaios de usinagem de madeira com as ferramentas em teste mostraram que a danificação da aresta de corte das pastilhas de metal duro por fragmentação está essencialmente ligada ao processo de afiação.

BONAC (1982)- Examinou a relação entre o microbisel e a avaria por fragmentação da aresta de corte com ângulos de saída maiores que os comumente usados na usinagem da madeira com ferramentas de metal duro. Os dentes foram afiados com 40°, 50° e 60° de ângulo de saída, 6° de ângulo de folga e foram biselados com ângulos de 10°, 30° e 50°.

Os resultados experimentais mostraram que a introdução do microbisel na aresta de corte torna possível uma redução significativa no ângulo de cunha das ferramentas de metal duro, resultando daí a possibilidade de aumentar também o ângulo de saída.

*BONAC acaba afirmando que a largura mínima do microbisel para prevenir a fragmentação da aresta de corte pode ser pequena, da ordem de 10  $\mu\text{m}$  a 20  $\mu\text{m}$ ; na prática, os ângulos de saída muito grandes tornam o uso do microbisel limitado, pois sua largura aumenta, à medida que aumenta o ângulo de saída.*

HAYASHI, K. , SUZUKI, T. (1983)- Nesse estudo, foi investigada a relação entre a velocidade de corte e o desgaste da cunha de corte durante o processo de usinagem de fresamento periférico de madeira seca. O desgaste da cunha de corte foi comparado a comprimentos iguais de percurso de corte sendo que a velocidade de corte variou de 3,8 m/s a 45,2 m/s . Os resultados obtidos estão resumidos a seguir:

1) Quando foram usinadas a madeira Selagan batu (*Shorea laevis* 0,066% de sílica) e a madeira Spruce (*Picea spp.*), secas ao ar, que não contêm sílica, com ferramentas de corte de aço liga e aço rápido, o desgaste da cunha de corte decresceu com o aumento da velocidade de corte até 22,6 m/s; a partir dessa velocidade tornou-se constante. Por outro lado, quando se usinou a madeira Melapi (*Shorea bracteolata*), a qual contém muita sílica (0,355 %), com ferramentas de corte de aço, o desgaste da cunha de corte aumentou com a velocidade de corte.

2) Usando-se o metal duro como material ferramenta o desgaste da cunha de corte foi constante para as diversas espécies de madeira testadas, em toda a faixa de velocidades testada.

3) *Para o aço liga SKS-2 (1,00-1,10)%C; 0,80%Mn; (0,50-1,0)% Cr; 0,25%Ni; (1,00-1,50)%W; 0,20%V; 0,25%Cu; 0,03%P; 0,035Si; verificou-se que a dureza da cunha de corte diminuiu após os ensaios de corte, à medida que se aumentou a velocidade de corte. A partir da curva de dureza x temperatura do aço SKS-2, pode-se estimar a temperatura da cunha de corte, após cada ensaio, para uma velocidade determinada. As temperaturas estimadas foram 310 °C à velocidade de corte de 45,2 m/s e 200 °C para 22,6 m/s . Percebeu-se que, quanto mais alta era a velocidade de corte, tanto mais alta era também a temperatura de corte.*

4) *As características da superfície desgastada a velocidades de corte mais elevadas diferem totalmente daquelas a velocidades mais baixas. No caso do aço SKS-3 (0,9-1,00)%C; (0,9-0,2)%Mn; (0,50-1,0)%Cr; 0,25%Ni; (0,50-1,00)%W; 0,20%Cu; 0,03%P; 0,03%S; 0,35%Si, nos ensaios com velocidade mais baixa, foi observado que a matriz do material da cunha de corte encontrava-se desgastada com os grãos de carboneto salientes, mas, a velocidades mais altas, os grãos de carboneto pareciam estar ainda na matriz do material. Considerou-se*

*que o mecanismo de desgaste da cunha de corte a velocidades mais altas era diferente daquele a velocidade mais baixa.*

As ferramentas possuíam ângulo de saída de  $37^\circ$ , ângulo de folga de  $8^\circ$ , diâmetro do círculo de corte 144 mm, avanço por dente de 1 mm e profundidade de corte de 2 mm.

*Micrografias obtidas da superfície de folga desgastada do aço SKS-2 com microscópio de varredura mostram grande aspereza da superfície após a usinagem com a velocidade de 3,77 m/s e superfície lisa na usinagem com a velocidade de 37,7 m/s; para o aço SKS-3, os grãos de carboneto apareceram expostos após a usinagem com a velocidade de 3,77 m/s e muitas crateras; na usinagem a 37,7 m/s, apareceram cavidades de grãos desprendidos.*

BAYOUMI & BAILEY (1985 a)-A finalidade dessa pesquisa foi determinar a influência do tempo de usinagem (percurso de corte) sobre o raio de arredondamento da aresta de corte da ferramenta, como a composição química e a geometria da ferramenta atuam sobre a resistência à fragmentação da aresta e determinar quantitativamente a influência do raio da aresta de corte da ferramenta sobre a aparência da superfície usinada.

Foram realizados ensaios de desgaste (variação do raio de ponta da ferramenta) com três classes diferentes de metal duro (89% WC com 11% Co), (87,5% WC, com 10% Co e 2,5% Cr) e (94% WC com 4% Co). O metal duro com 11% de Co apresentou o maior aumento de raio seguido pelo metal duro com 4% de Co; o metal duro, cujo raio de ponta menos variou foi o com 2,5% de Cr.

Observou-se que a energia de impacto absorvida cresce com o aumento do ângulo de cunha da ferramenta e também é maior quando o ângulo de folga é maior que o ângulo de saída da ferramenta.

*Os resultados desse trabalho mostram também que, aumentando-se o raio da aresta de corte, a aparência da superfície usinada piora. Quando a aresta de corte da ferramenta fica arredondada, a ferramenta tende a arrancar a madeira antes de cortá-la.*

Se o desgaste progressivo determina a vida útil da ferramenta, então, é conveniente que sejam usados metais duros com menor percentagem de

matriz aglomerante. Se a resistência à fragmentação determina a vida útil da ferramenta, então, é desejável alta percentagem de volume da matriz aglomerante.

SALES, C. (1985)- O autor efetuou ensaios de desgaste de quatro materiais ferramentas diferentes numa operação de aplainamento da madeira tropical dura MAKORE (*Tieghemella africana*) com 5% de umidade e com 0,3% de conteúdo médio de sílica.

Sabe-se que é difícil usinar madeiras que contêm sílica, pois provocam muito desgaste nas ferramentas, tornando seu processamento caro. Os materiais-ferramentas ensaiados foram : o aço rápido comum (12-14)% Cr, (0,6-0,8)% C e com percentagem de Ni, Mo, V, Co inferior a 1%, o aço rápido (0,8% C; 18,2% W, 1,2% V, 0,4% Mn, 0,3% Si, 0,7% Mo, 4,2% Cr), o stellite-1 ( 32-33% Cr, 12-14% W, 48-54% Co, 2,5% C, e menos que 2,5% de Fe) e o metal duro (90% WC, 10% Co).

As condições de usinagem usadas foram as seguintes: ângulo de saída 20° , ângulo de cunha 45° , ângulo de folga 25° , velocidade de corte de 25 a 26 m/s, velocidade de avanço de 30 m/min. e espessura de cavaco de 0,2 mm.

Os ensaios de desgaste em laboratório foram realizados para um comprimento total de plainamento de 100 m, tomando-se as medidas de desgaste a cada 10 m. Com os dados do experimento, foram construídos gráficos de desgaste para cada material ferramenta.

Desses gráficos, foi deduzida a razão de desgaste dos materiais das ferramentas. Posteriormente os ensaios foram completados na indústria, confirmando a tendência observada nos ensaios no laboratório, de 100 m, para alguns quilômetros de plainamento acima de 1,5 a 2,0 km.

No final dos ensaios de desgaste, foi possível determinar a razão de afiação para cada ferramenta, o que permitiu a avaliação do custo de cada material ferramenta, considerando: o custo do material ferramenta, o custo das afiações e reafiações, o número de afiações, o custo das soldas, etc.

No final, Sales chegou-se às seguintes conclusões: - *Nas operações de plainamento de madeiras abrasivas são necessários materiais de*

*ferramenta especiais. O aço rápido comum tem vida muito curta e o custo é alto, comparado com o metal duro, com o stellite ou com o aço rápido*

*- As ferramentas de aço rápido são mais caras que as de metal duro ou de stellite, mas elas são mais fáceis de afiar e são menos frágeis. O metal duro é fornecido em forma de pastilhas que são posteriormente soldadas por brasagem; o stellite é depositado diretamente como solda, enquanto que as ferramentas de aço rápido necessitam serem tratadas térmicamente com acuidade.*

*- O metal duro mostrou-se economicamente mais vantajoso, mas a manutenção do stellite é mais fácil do que a do metal duro. O stellite não necessita de uma afiadora especial e é menos frágil. Se uma pequena parte de uma pastilha de metal duro lascou durante a operação de aplainamento, toda a ferramenta está perdida; em contra-partida, não existe problema em se reparar uma ferramenta de stellite.*

SALJÉ, E., DRÜCKHAMMER, J., STÜHMEIER, W. (1985)- Foram medidos simultaneamente, durante o fresamento da borda de uma chapa de aglomerado de madeira, a qualidade da aresta usinada da peça-obra, o desgaste da cunha de corte da ferramenta, a potência absorvida pela fresa e o ruído gerado.

Nesses ensaios, as variáveis foram: a velocidade de corte, o avanço por dente e a profundidade de corte. O avanço por dente teve uma influência marcante na qualidade resultante da aresta usinada na peça-obra. Quanto maior era o avanço por dente, tanto maiores eram os defeitos da aresta usinada da peça-obra, ou seja, pior era a qualidade da usinagem.

Comparativamente, em relação ao avanço por dente, as influências da velocidade de corte e da profundidade de corte foram pequenas. O nível de ruído gerado aumentou com o aumento da velocidade de corte. O desgaste da ferramenta aumentou com o percurso de corte e com o aumento da velocidade de corte até 60 m/s. A potência de acionamento da fresa aumentou com o acréscimo da seção transversal do cavaco e com o aumento do percurso de corte.

Com a velocidade de 70 m/s, o desgaste da ferramenta, a imperfeição da aresta usinada e a potência consumida foram menores, em comparação com os resultados obtidos com a velocidade de 60 m/s.

A fresa utilizada nos ensaios era de corte periférico, tinha apenas uma cunha de corte de metal duro K05 com os seguintes ângulos:  $\alpha = 15^\circ$ ,  $\beta = 55^\circ$ ,  $\gamma = 20^\circ$ ,  $\lambda = 10^\circ$  e  $\chi = 90^\circ$ ; seu diâmetro era 125 mm e a largura de 30 mm. A chapa de aglomerado usinada era recoberta com resina de melamina, com espessura de aprox. 0,1 mm; possuía 2 m de comprimento, 1 m de largura e 16 mm de espessura.

Foram realizadas duas séries de ensaios (A e B), cada série com 8 experimentos. Na série de ensaio A, todos os experimentos atingiram um percurso de avanço máximo de fresamento de 500 m. Nos percursos de avanço de (0, 50, 100, 200, 300, 400 e 500) m foram medidos dois valores de desgaste ( $D_a$  e  $D_g$ ) da cunha de corte da ferramenta: o deslocamento  $D_a$  da aresta cortante medido segundo a intersecção da superfície de folga com o plano de medida e o deslocamento da aresta cortante  $D_g$ , medido segundo a intersecção da superfície de saída com o plano de medida (figura 2.1). Na série de ensaios B, mediu-se continuamente a imperfeição da aresta usinada da peça-obra; as demais grandezas foram medidas nos intervalos de (0...25, 40...50, 90...90, 140...150, 190...200 e 240...250) m.

O desgaste da cunha de corte da fresa foi medido com um aparelho de medida indutivo, com auxílio de um apalpador. As medidas dos desgastes da cunha de corte foram sempre tomadas da posição que corresponde ao lado revestido da chapa de aglomerado de madeira, onde o desgaste é mais acentuado.

*Os resultados dos ensaios dos autores, relativos ao desgaste da cunha de corte da ferramenta, referentes a um mesmo percurso de avanço da peça-obra, mostraram que um aumento do avanço por dente reduz o desgaste da cunha de corte; aumentando-se a profundidade de corte, aumenta-se o desgaste da cunha de corte, também referente ao mesmo percurso de avanço da peça obra e, aumentando-se a velocidade de corte, o desgaste da cunha de corte aumenta até a velocidade de 60 m/s.*

As grandezas de desgaste  $D_a$  e  $D_g$  representadas num papel dilogarítmico, em função do percurso de corte, são representadas por duas retas paralelas, sendo, portanto, proporcionais entre si.

SALJÉ, E., STÜHMEIER, W. (1988). - Ensaíram o desgaste de fresas de corte periférico na usinagem de chapas de aglomerado de madeira, planas prensadas e recobertas com uma fina lâmina ornamental coladas com melamina. Essas chapas são inicialmente cortadas com serras circulares, sendo, posteriormente, a área afetada pelo corte, acabada por fresamento periférico.

A fim de ensaiar o desgaste da fresa, os autores realizaram uma pesquisa comparativa entre o metal duro K01 e outros materiais de ferramenta, como insertos, usando uma fresa de um único dente, com os seguintes materiais de ferramentas: metal duro K01, com três metais duros com micro-grãos revestidos com TiN e TiC, com 5 ferramentas de cerâmica diferentes ( $2x Al_2O_3/TiC$ ,  $Al_2O_3/ZrO_2$ ,  $Si_3N_4$ , SiC) e com diamante policristalino (PCD). Os critérios para julgar o processo de usinagem foram o desgaste da cunhas de corte, as falhas da aresta usinada da peça-obra e a força média de corte.

As condições de usinagem usadas foram: velocidade de corte de 40 m/s, avanço por dente de 1,5 mm, profundidade de corte de 2 mm.

Os mais importantes resultados dos ensaios foram:

- O desgaste da cunha de corte decresceu quase linearmente com o aumento da dureza dos metais duros ensaiados. Sob condições de corte constante, o aumento da força de corte e as imperfeições da aresta da peça-obra foram causados principalmente pelo desgaste da cunha de corte, não dependendo do tipo de metal duro ensaiado.

Os metais duros com micro-grãos, com pequena quantidade de cobalto (menor que 3%), mostraram uma grande resistência ao desgaste, em comparação aos metais duros convencionais. Seus percursos máximos de corte foram 2,1 a 5,4 vezes maiores em comparação ao metal duro K01. Os custos da ferramenta e de troca das ferramentas testadas foram menores.

O revestimento da cunha de corte de metal duro com TiN não apresentou vantagens para a vida da ferramenta em relação ao metal duro K01. A

cunha de corte revestida com TiN apresentou grande fratura da aresta de corte; após pouco tempo de trabalho, após a retificação do revestimento na superfície de folga, a fratura da aresta de corte desapareceu. O desgaste desta nova aresta de corte diminuiu 13% em comparação ao metal duro não revestido e o percurso de corte máximo aumentou em 5%.

Tabela 2.1 - Especificações dos metais duros ensaiados

Tipo de metal duro	Metal duro convencional		Metal duro de grão fino		
	HM-1	D-1	MG -12*	D-050*	SMG-02*
Código ISO	K01	K01	k05	---	---
% de cobalto em peso	4,2	4	6	3	**
Diâmetro médio do grão ( $\mu\text{m}$ )	2	2	0,8	0,8	0,5
Dureza HV10 ( $10^3/\text{mm}^2$ )	1,75	1,84	1,82	2,02	2,35
Tensão de ruptura na flexão $\sigma$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	1800	2050	2000	1850	1300

\* Marca comercial Cerametal

\*\* Não indicado pelo fabricante

Saljé, E., Stülmeier, W. (1988).

- O quociente entre os percursos de corte máximos, para o diamante policristalino e metal duro K01 foi 222 para 1. As razões de suas resistências ao desgaste foram 730 para 1. Os custos da ferramenta de PCD e custos de trocas, relativos ao K01, foram de 35 %, portanto, maiores que aqueles do metal duro SMG-02.

*-Os autores admitem que, nas ferramentas cerâmicas, a principal causa do desgaste da cunha de corte tenha sido a fratura da aresta de corte. Somente a ferramenta de alumina reforçada com carboneto de titânio ( $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}$ -2), a qual tinha sido otimizada também na geometria da cunha de corte, provou ser mais resistente ao desgaste do que o K01. O ângulo de folga mínimo admissível foi  $12^\circ$ .*

STEWART, H. A. , DRAWER, P.O. (1988)- Estes pesquisadores aplicaram técnicas de regressão linear e não linear, aos dados colhidos das forças do corte e do desgaste da cunha de corte da ferramenta, a fim de determinar a geometria ótima (ângulo de saída), na usinagem de torneamento de chapas de fibra de madeira de média densidade ( $744,8 \text{ daN}/\text{m}^3$  com 8% de umidade). O ângulo de saída nos ensaios da ferramenta variou de  $10^\circ$  a  $40^\circ$  com incrementos de  $5^\circ$ , sendo o material da ferramenta, metal duro K10.

As variáveis de usinagem foram: o ângulo de saída da ferramenta e a velocidade de avanço em direção radial (0,076; 0,127 e 0,254 mm/rot.); o ângulo de folga foi mantido constante em  $10^\circ$ . Houve três ciclos de ensaios para cada ângulo de saída a 550 rpm.

Os dados das forças de corte e do desgaste da ferramenta foram relacionados com o percurso de corte em gráficos cartesianos. Os resultados, tanto para a força de corte como para o desgaste da ferramenta, foram similares, mas não diretamente proporcionais. As forças de corte apresentaram uma relação linear com o desgaste da ferramenta, para o percurso de corte ensaiado.

Examinando-se os resultados do desgaste da cunha de corte através dos gráficos, observou-se que: com a profundidade de corte de 0,254 mm, o desgaste da superfície de saída, com ângulo de saída de  $10^\circ$ , é muito maior que o desgaste desta superfície com ângulo de  $15^\circ$  e  $25^\circ$ . Com o ângulo de  $25^\circ$ , o desgaste dessa superfície é mínimo.

Os resultados das regressões, sobre as componentes das forças paralela e normal ao corte em função do percurso de corte foram similares aos resultados do desgaste da cunha de corte e têm, como representação cartesiana, a forma de uma função exponencial, com expoente menor que a unidade.

*Os autores acabam afirmando que as forças de corte e o desgaste da cunha de corte apresentam um relacionamento linear entre si, o que é vantajoso para selecionar o ângulo de saída da ferramenta, baseando-se ou na força de corte ou no desgaste da cunha de corte em função do percurso de corte.*

Os resultados dos ensaios mostraram também que ocorre um decréscimo do desgaste da cunha de corte, quando a profundidade de corte aumenta de 0,127 para 0,254 mm. Estes resultados mostram que a vida da ferramenta pode ser aumentada, pelo aumento da velocidade de avanço ou pelo aprofundamento do corte, no fresamento. Resultados de trabalhos anteriores indicaram que a qualidade de usinagem também aumenta.

**SALES, C. (1990) - As origens físicas do desgaste dos dentes de serra para madeira.**

O desgaste resultante do atrito entre madeira e ferramenta tem por origem vários fenômenos mecânicos e físico-químicos. A importância destes últimos depende muito da natureza da madeira processada e dos parâmetros de corte. Dentro das condições mais comuns de processamento da madeira tropical, e particularmente para as madeiras densas, os fenômenos de origem mecânica são preponderantes.

As fibras comprimidas no momento de corte relaxam-se após seu corte e produzem atrito sobre a superfície de folga principal e as laterais. A ação do cavaco manifesta-se sobre a superfície de saída, sendo que a intensidade de atrito criado depende diretamente da resistência mecânica do cavaco, a qual aumenta com a espessura e densidade da madeira e diminui com o teor da umidade.

A temperatura dos dentes em serviço tem uma influência determinante sobre a resistência ao desgaste. À temperatura ambiente, os aços carbono possuem uma dureza satisfatória; em compensação, a dureza e o desempenho mecânico diminuem rapidamente quando sua temperatura atinge 250 °C a 260 °C. A perda de dureza traduz-se por um desgaste rápido e uma deformação excessiva da ponta da ferramenta sobre os efeitos da pressão exercida pela madeira (esmagamento e deformação da aresta de corte, etc.).

Um dente que inicia cortando numa madeira densa e dura, à temperatura ambiente, pode atingir, no final do corte, uma temperatura de aresta bastante elevada. A temperatura aumenta com a espessura do cavaco e com a altura de corte a serrar e pode ultrapassar 400 °C.

O elemento mineral que contribui para o desgaste dos dentes das serras é principalmente de óxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ), chamado simplesmente de sílica. Esta se encontra na madeira sob forma de cristais de formas variadas, desde visíveis a olho nu, até os invisíveis ao microscópio ótico. Esses cristais são mais duros que o aço; qualquer que seja a sua composição, acarretam um micro-desgaste, toda vez que um grão de silício entra em contato com o dente. A densidade da madeira contribui com a resistência da matriz, na qual se encontram alojados os cristais de silício.

A perda de dureza da ferramenta por elevação da temperatura é um dos fatores que se agravam com o grau de abrasividade da madeira. A influência do formato dos grãos de silício sobre a abrasividade é particularmente complexa. O fato do silício ser visível a olho nu, para uma dada espécie, não significa que essa espécie seja mais abrasiva do que outra espécie que possua grãos pequenos, mas, em compensação, está distribuída de modo homogêneo na textura da madeira.

*O autor declara que o único critério que permite estimar de modo irrefutável a abrasividade é o teor de silício, expresso em percentagem da massa total de matéria lignosa anidra, o que é determinado por análise química. Este teor de silício é bastante variável de uma espécie para outra e, mesmo no seio de uma espécie, de uma árvore para outra.*

*Entre as diversas espécies, as menos e as mais siliciosas, o teor de silício varia numa faixa de 1 a 1000 (menos de 0,001% para as madeiras menos siliciosas a mais de 1% para as madeiras mais siliciosas). Para a maior parte das espécies de florestas naturais, essa relação pode variar de 1 a 10 de uma árvore a outra, numa mesma espécie. Para certas espécies, tais como a Teca, o teor de silício pode variar de 1 a 100, dependendo do local de crescimento da árvore em questão.*

O teor de silício e a massa específica da madeira são características determinantes de sua abrasividade. Em razão do agravamento do fenômeno de desgaste, ligado à temperatura de trabalho do dente, uma madeira siliciosa mais leve é menos abrasiva que uma madeira um pouco menos siliciosa, mas mais densa.

A tabela 10.1 do anexo apresenta o grau de abrasividade de algumas madeiras tropicais. A nomenclatura usada é baseada numa classificação de 1 a 10, que foi criada para esse fim. A classe 1 corresponde à abrasividade mínima, a classe 10, à abrasividade máxima. Considerando-se a heterogeneidade natural da madeira, sob o ponto de vista do teor de silício, é comum que uma espécie abranja diversas classes.

O grau de abrasividade influencia diretamente a duração de vida das lâminas de serra e condicionam a escolha dos materiais, para a manufatura das ferramentas. Todas as espécies e de um modo geral, todas as madeiras, nas quais

o teor médio de silício ultrapassa 1%, são impróprias ao processamento industrial.

Entre as classes extremas, o desvio entre os níveis de desgaste é considerável. Tomando como referência duas madeiras tropicais bastante conhecidas, como o Sipo e a Igaganga, o desgaste em termos de desgaste da aresta de corte, em condições de corte idênticas é aproximadamente: 30 microns após 2500 m de corte para o Sipo, e 200 microns, após 20 m. de corte, para a Igaganga.

As madeiras mais abrasivas conhecidas são: *Cola attionsis* e *Parnari hypochrysea* (2,5 a 3 % de teor de silício), *Dacryodes macrophylla* do Gabão (2,5 a 3,5 %), *Lycania Spp.*, da Guiana, (nesta o teor varia de 2 a 5 %), *Cola cordifolia* do Senegal (5,5%).

#### **Fenômenos físico-químicos-**

Em razão do atrito entre a madeira e o aço da ferramenta, ocorrem alguns fenômenos eletrostáticos, com cargas elétricas nas mesmas. Os dentes, carregados de potenciais elétricos elevados, ocasionam o aparecimento de um fluxo de elétrons e de uma corrente elétrica de caráter iônico, associados a um transporte de massa (perda de matéria do dente sob a ação do campo elétrico).

A corrente elétrica circulante, entre a ferramenta e a madeira, é relativamente fraca, devido à resistência elétrica elevada da madeira (da ordem de alguns miliampères); contudo, os potenciais elétricos que resultam são elevados e produzem grandes desgastes.

O desgaste eletro-químico coloca-se em evidência no corte de madeiras resinosas, em cuja madeira a abrasão mecânica é pequena; em consequência, a duração das lâminas de serra geralmente é satisfatória nas condições habituais. Esse fenômeno foi, todavia, o sinalizador efetivo observado após alguns anos, no emprego do stellite, nas serrarias de coníferas norte-americanas.

É provável que alguns fenômenos de corrosão, ativados pela água contida na madeira e o aquecimento dos dentes durante a usinagem acarretem uma oxidação, diminuindo a resistência ao desgaste das serras comuns, a não ser que uma liga não ferrosa se torne insensível a este fenômeno.

### Os diferentes materiais de ferramentas de corte e suas aplicações.

Existe um limite que não se pode ultrapassar com serras de dentes de aço. Modificações dos parâmetros de corte não permitirão obter um resultado satisfatório.

A única solução consiste em fabricar lâminas com dentes que sejam constituídos por um outro material, muito mais resistente à temperatura que o aço, material esse, cujo desempenho seja afetado ao mínimo pelo forte aquecimento que ocorre no processo de usinagem. Esses materiais, além de apresentarem uma grande dureza a frio, devem conservar também a dureza, a temperaturas por centenas de graus centígrados.

Entre os diferentes materiais de ferramentas de corte atualmente disponíveis, destacam-se seis grupos fundamentais:

	Dureza Rc a frio		Dureza Rc a frio
Aços comuns	40 a 50	Cerâmica	90 a 95
Aços rápidos	60 a 65	Carbonetos duros	85 a 95
Stellites	50 a 60	Diamante	-----

Nos “aços comuns”, agrupam-se as diferentes variedades de aços, nos quais o teor de carbono está compreendido entre (0,6 a 1,2 %). Os aços de lâminas de serra de fita (0,6 a 0,8% de carbono) enquadram-se nesta categoria; sua dureza está na faixa de (45 a 50) Rc.

Os aços de ferramentas de corte contêm de (1 a 1,2 %) de carbono (dureza 60 a 65 Rc), apresentam uma duração muito pequena, embora sua dureza a frio seja próxima à dos aços rápidos ou a dos stellites e eles perdem muito rapidamente sua resistência quando a temperatura ultrapassa 250 °C.

Os primeiros aços rápidos foram obtidos adicionando como elementos liga, o cromo e o tungstênio. Este último forma, com o carbono contido no aço, carbonetos com durezas superiores aos dos carbonetos de ferro. A dureza aumenta com a percentagem de tungstênio, mas essa dureza também aumenta a fragilidade das ferramentas.

Mais recentemente apareceram no mercado os aços rápidos superiores, nos quais a dureza é em média igual a 65 Rc. Trata-se de aços fortemente

ligados, nos quais o ferro não representa mais que 75 % da liga, os outros elementos ligas são: Carbono (0,8 a 1 %), Tungstênio (16 a 18 %), Vanádio (1 a 2 %), Molibidênio (0,5 a 1 %), Cromo (3 a 5 %), Manganês (0,3 a 0,5 %), Silício (0,3 a 0,5 %).

O aumento da percentagem de carbono até 1,5 % permite obter os aços super carbonetados. Ele aumenta a proporção de carbonetos criados por elementos ligas. Nesses aços, a dureza a frio pode atingir 70 Rc.

O stellite é composto essencialmente de cobalto (45 a 60 %), cromo (25 a 35 %), tungstênio (9 a 18 %); o conteúdo de ferro é pequeno, geralmente inferior a 5%; o de manganês e silício é inferior a 1%.

*O autor afirma que as grandes vantagens do stellite são: apresentar dureza a frio superior àquela dos aços de baixa liga, aproximando-se dos aços rápidos e de conservar sobretudo essa dureza a temperaturas superiores as dos aços rápidos (mais de 700 °C e possuir um ponto de fusão aproximadamente de 1300 °C). Uma outra qualidade do stellite, que contribui bastante para seu uso, é a sua facilidade de aplicação, devido ao seu baixo ponto de fusão, podendo ser fundido e depositado sob forma de gotas líquidas sobre as pontas dos dentes das serras.*

Os stellites graus 1 e 12 fundem a 1250 °C. Eles constituem atualmente dois tipos de stellites mais utilizadas; a dureza a frio do stellite grau 1 é 55 Rc e do stellite 12 é 50 Rc. A composição química e recomendações de uso encontram-se no anexo, tabelas 10.2 e 10.3.

Os metais duros não são ligas metálicas, mas aglomerados de diferentes materiais. Eles são obtidos por sinterização, essencialmente de carboneto de tungstênio, ou de carboneto de tântalo e tungstênio, ou de carboneto de titânio e molibidênio com um aglomerante de cobalto ou níquel.

Durante a usinagem da madeira, são geralmente usados os carbonetos de tungstênio aglomerados com cobalto; o pó base obtido é misturado com cobalto; o material resistente ao desgaste (carboneto) é brasado, comprimido e depois levado à temperatura de fusão do ligante.

Após o resfriamento, obtém-se um material, cuja dureza e características mecânicas variam com a granulometria dos carbonetos e com sua

percentagem em relação ao aglomerante. A dureza diminui com o aumento da percentagem de cobalto, mas, em compensação, a resistência ao impacto aumenta. Quanto menor for a quantidade de aglomerante, mais duro será o material, mas, também, mais frágil. A escolha da composição carboneto / aglomerante deve ser feita convenientemente para atender às exigências de trabalho, segundo as recomendações da tabela 10.4.

*Sales afirma que a resistência ao desgaste na usinagem de uma ferramenta de carboneto é 20 a 150 vezes a resistência de uma ferramenta de aço de boa qualidade. Desde que as ferramentas sejam utilizadas nas condições ótimas, a melhora está geralmente numa relação de 1 a 50.*

Existem outros tipos de carbonetos de grande dureza, principalmente os carbonetos de boro ou outros compostos a base de boro, tais como os nitretos de boro. Esses nitretos são utilizados em certos rebolos destinados à usinagem de materiais de ferramentas de corte (rebolos de Borazon NBC; nitreto de boro de estrutura cúbica).

A principal característica das cerâmicas é a boa conservação da dureza em temperaturas bastante altas. Essa característica é muito vantajosa, mas as cerâmicas tem emprego muito limitado, pois, sendo obtidas por calcinação, as mesmas só podem ser utilizadas em forma de pastilhas.

Elas são constituídas essencialmente de óxido de alumínio aglomerado (ou alumina) combinado a vários óxidos alcalino-terrosos e a vários óxidos metálicos alcalinos (sódio, potássio). A adição de silício em pequena quantidade facilita a aglomeração da mistura. O óxido de cromo é igualmente utilizado.

A qualidade das cerâmicas depende do teor de impurezas da alumina e da homogeneidade do produto queimado. A mistura em forma de pó é comprimida sob elevadas pressões e aquecida a temperaturas próximas de 1800 ° C. Essa temperatura é determinante, porque ela condiciona a densidade do produto e sua estrutura cristalina (formato dos grãos).

*Sales afirma que uma boa cerâmica tem que ter densidade suficiente e que o formato dos grãos não exceda um certo valor. A fabricação de*

*cerâmicas é bastante delicada, pois para obter a máxima densidade, a variação permissível da temperatura é de 5 ° C.*

O diamante é a substância mais dura que se conhece. Para serrar a madeira, ele é o único que apresenta uma dureza superior ao silício, sendo que sua qualidade varia em função de sua pureza.

Os diamantes são classificados por sua densidade (2,75 para os piores, 3,3 para os melhores). Eles são utilizados como pastilhas engastadas ou fixadas por montagens mecânicas especiais. Em razão de seu baixo coeficiente de atrito, o diamante apresenta uma resistência excepcional ao desgaste.

Na usinagem da madeira, são utilizados diamantes policristalinos sintéticos, com grãos finos, orientados ou não. Sua resistência ao desgaste é espetacular, mas sua grande fragilidade torna seu emprego muito limitado.

No momento, o emprego de metais duros é limitado às serras circulares de desdobro utilizadas em serrarias. Por essa razão, vamos limitar-nos à decrição de materiais de ferramentas de corte, os quais são utilizado nas lâminas de serra de fita.

Pode-se mencionar como motivo dos altos custos do emprego de metais duros, os seguintes fatores : preço, dificuldades de elaboração das lâminas de serra de fita, a seleção de um material de afiação adequado, fragilidade do metal duro, impossibilidade de reparação da serra na serraria, pequena diferença de resistência ao desgaste entre o stellite e os metais duros, na usinagem de madeira verde.

Na usinagem da madeira verde, os fenômenos de corrosão ocorrem a partir de uma certa temperatura ao nível do cobalto que é solubilizado nas partes mais quentes (aresta de corte). Em consequência, o teor de cobalto diminui na ponta dos dentes, tornando-os mais frágeis, não por perda de dureza dos carbonetos, mas por enfraquecimento da matriz suporte.

*Sales afirma que somente a aplicação de stellite pode ser hoje considerada como uma operação econômica e tecnicamente viável para melhorar a duração de serviço das lâminas de serra de fita. A utilização de metais duros tende a generalizar-se em serras circulares.*

### Tratamentos de superfície-

Os materiais de elevadíssima dureza apresentam uma grande resistência ao desgaste, mas não são aplicáveis às lâminas de serra de fita por sua fragilidade e pela dificuldade de serem aplicados sobre lâminas delgadas.

As técnicas de tratamento de superfícies são destinadas a conferir aos dentes uma grande dureza superficial; além disso, conservando uma boa elasticidade, podem apresentar um grande interesse em certas aplicações.

Entende-se, por tratamento de superfície, toda técnica susceptível de modificar na superfície as propriedades da ferramenta, que afeta uma camada extremamente fina da ordem de algumas dezenas de microns.

**Cromação dura-** A cromação dura consiste em depositar eletroliticamente cromo, principalmente nas superfícies de folga, sob forma de finas camadas de algumas dezenas de microns de espessura ( 10 a 20 microns em média). No processo de serrar, o desgaste é preponderante na superfície de folga, salvo na usinagem com cavaco espesso, em que o desgaste se equilibra entre as superfícies de saída e de folga.

**Cromatização-** A cromatização consiste num enriquecimento superficial com cromo, durante um tratamento termo-químico. O aço base deve conter um teor de carbono mínimo de 0,3 %. Os átomos de cromo ligam-se, na superfície, ao carbono do aço, para produzir carboneto de cromo. Assim se cria uma camada de algumas dezenas de microns de profundidade a base de carboneto de cromo, no qual a dureza é apenas inferior àquela dos carbonetos de tungstênio (de 10 a 20 %).

O teor de cromo na superfície pode alcançar 50 % e transforma-se numa ferramenta inoxidável. A camada assim criada não consiste em um revestimento fino como no caso da cromação dura, mas passa a integrar a ferramenta.

**Eletro-deposição-** Esse é um procedimento que permite depositar uma camada bem fina de metal por centelhamento a frio. O metal de adição, escolhido por seu desempenho anti-desgaste (carboneto de tungstênio, de titânio), é usado em forma de varetas.

Um arco elétrico, criado entre o apoio (necessariamente metálico em contato com a lâmina) e a vareta, permite depositar uma camada bem fina de espessura perfeitamente controlada de 5 a 15 microns. A deposição é efetuada após a afiação da lâmina, pronta para ser usada, e deve ser renovada após cada afiação.

O resultado final é mais que uma simples deposição, porque se observa uma difusão de carbonetos no material base, limitada, mas suficiente para conferir uma boa difusão ao revestimento.

Os materiais utilizados para este tratamento são de fácil utilização. O material de adição no processo de eletro-deposição não é mais difícil de ser aplicado que o stellite e pode mesmo ser aplicado em ferramentas que possuam stellite, aumentando significativamente a resistência ao desgaste.

STEWART, H.A., WITHEFORD, T.J., BECHERER, B.A. (1992)- Esses pesquisadores realizaram ensaios de desgaste em sete classes de aços rápidos, temperados em dois níveis de durezas diferentes, para usinarem chapas de fibra de madeira de alta densidade.

Os ensaios para cada classe de aço rápido e para cada nível de dureza foram repetidos nove vezes. As componentes das forças: força paralela ao deslocamento da ferramenta e força normal, foram tomadas como indicadores do desgaste (à medida que aumenta o desgaste, aumentam também as componentes das forças de corte) após a usinagem de 193 metros da chapa de fibra de madeira.

Os resultados mostraram que a resistência ao desgaste da ferramenta, na usinagem da madeira, está relacionada com a sua dureza. A composição química e a solução sólida do aço rápido, controladas pelo tratamento térmico, também são fatores importantes na resistência ao desgaste.

A tabela 10.5 do anexo, apresenta a composição química e a tabela 10.6 as propriedades mecânicas desses aços rápidos e indicam que os aços rápidos AISI tipos M-42, M-4 e especialmente o tipo T-15 têm muito maior resistência à abrasão do que o tipo M-2.

Os ensaios de desgaste realizados pelos autores mostram que o aço rápido tipo M-2 resiste ao desgaste igualmente ou até um pouco mais, na usinagem da madeira, do que qualquer um dos aços rápidos testados.

Conseqüentemente, um outro mecanismo, diferente da abrasão, causa o desgaste da ferramenta na usinagem da madeira ou produtos reconstituídos de madeira, como chapas de fibra de madeira.

Como já foi mostrado pelos autores em trabalhos anteriores, o mecanismo de corrosão/oxidação a alta temperatura afeta o desgaste da ferramenta, assim como as propriedades refratárias e outros fatores são importantes na seleção do aço rápido, para a usinagem da madeira.

Quase sempre as ferramentas de usinar madeiras realizam corte interrompido, caracterizado por impactos sucessivos. Ocasionalmente, essas ferramentas podem riscar objetos metálicos, glóbulos resinosos (v.g. nós), ou defeitos na madeira. Por essas razões, é desejável que as ferramentas que usinam madeira tenham resiliência elevada.

O aço rápido tipo M-2 também tem resiliência relativamente elevada, nos níveis de dureza do ensaio, como também excelente resistência ao desgaste para usinar madeira.

Geralmente os aços rápidos com alta dureza têm melhor resistência ao desgaste do que os aços rápidos com baixa dureza. A comparação, através das forças de usinagem atuantes nas ferramentas, para os níveis de dureza baixo e alto reforça esta afirmação. Entretanto, os resultados experimentais mostraram que a dureza por si só não indica qual aço rápido terá uma vida mais longa, sendo, portanto, necessários ensaios de usinagem para determinar qual aço rápido é o melhor para usinar madeira.

O tratamento térmico do aço rápido, realizado com precisão, é tão importante quanto a seleção do aço rápido. Por exemplo, duas ferramentas de aço rápido tipo M-2 podem ser tratadas termicamente à mesma dureza, mas possuírem valores de resiliências diferentes, devido às diferentes temperaturas do tratamento térmico. A microestrutura do aço rápido e as propriedades mecânicas devem ser conferidas após o tratamento térmico da ferramenta, para assegurar se o tratamento térmico é apropriado.

*Uma vez que os aços rápidos, tipos M-2 e M-42, têm aproximadamente o mesmo desempenho na usinagem da madeira e são um pouco melhores que o aço rápido tipo T-15 e outras ligas após o tratamento térmico de alta dureza, o aço rápido tipo M-2 pode ser a melhor escolha econômica para o aço ferramenta, se for submetido a um tratamento térmico apropriado.*

GOTTLOB, W. J. , RUFFINO, R. T. (1994)- O desempenho das ferramentas é melhorado pela qualidade da afiação das mesmas, usando-se na sua afiação rebolos de cristais adequados de grãos finos e lapidando-as em seguida. Propriedades de corte excelentes e alta produtividade somente podem ser asseguradas com o uso de ferramentas devidamente afiadas, que possuam parâmetros geométricos definidos, dimensões precisas e acabamento superficial de alta qualidade.

O metal duro é um dos materiais mais importantes que pode ser usado no processamento de madeiras secas e verdes não ácidas; seu desgaste é 50 vezes menor quando comparado com o aço usado na fabricação de serra, usualmente aço de alto carbono e baixa liga tipo AISI 01. Entretanto, o metal duro exige cuidados especiais na afiação, pois seu desempenho poderá ficar comprometido devido à fragmentação de sua aresta de corte durante esse processo.

A escolha do rebolo abrasivo a ser usado na afiação do metal duro deve ser feita com conhecimento das propriedades dos abrasivos, ou seja, usar rebolos diamantados, com concentração e granulometria adequadas.

Quanto menor for a granulação do rebolo e quanto maior for o ângulo de cunha da ferramenta, menor será também a fragmentação da aresta de corte.

A fragmentação da aresta de corte aumenta linearmente, com o aumento do ângulo de saída. Rebolos com granulometria de 320 mesh fragmentam menos a aresta de corte da ferramenta no processo de afiação. A profundidade de corte durante a retífica não exerce influência na fragmentação da aresta de corte.

Os dentes das serras de metal duro são afiados em todas as suas superfícies: a superfície de saída deverá sempre ser afiada primeiro; se for necessário retificar as laterais, estas deverão ser retificadas em seguida e, por último, a superfície de folga.

No processo de afiação, deve-se tomar cuidado para que o rebolo gire perpendicularmente contra a aresta de corte em direção à superfície ou no máximo inclinado a  $45^\circ$  em relação a essa aresta.

Após completado o avanço, o rebolo deverá ser afastado da pastilha para evitar a fragmentação da aresta de corte. No retorno, em geral, a fragmentação da aresta de corte é maior, quando se faz o avanço e retorno do rebolo no plano de afiação.

Para a afiação do metal duro, são apropriados rebolos de carboneto de silício; para obter qualidade especial da aresta de corte e para formas perfiladas, empregam-se, para a afiação final, rebolos diamantados ou, para o lapidado, o diamante e o carboneto de boro em pó.

A introdução do microbisel na aresta de corte torna possível uma redução significativa no ângulo de cunha das ferramentas de metal duro, resultando daí a possibilidade de se aumentar o ângulo de saída, obtendo-se, como consequência, forças de cortes menores e um menor consumo de energia.

A largura mínima do microbisel, para prevenir a fragmentação da aresta de corte, pode ser pequena, da ordem de  $10\ \mu\text{m}$  a  $20\ \mu\text{m}$ . Na prática, os ângulos de saída muito grandes tornam o uso do microbisel limitado, pois sua largura aumenta, à medida que aumenta o ângulo de saída.

A grande maioria dos rebolos de diamante são fabricados de diamantes sintéticos devido a seu melhor desempenho na operação de retífica. Os grãos de diamante sintético apresentam arestas de corte ou pontas mais vivas em comparação com o diamante natural, o que favorece o processo da retífica rápido e profundo. Os grãos sintéticos também apresentam uma maior tendência a fraturar durante o processo de retífica; isso é benéfico, pois mantém a superfície do rebolo agressiva.

Rebolos resinosos são comumente usados em trabalhos de acabamento na afiação dos dentes de metal duro das serras. Eles permitem uma afiação mais rápida, com pouco aquecimento e necessitam de uma pressão relativamente pequena.

Uma importante característica dos rebolos diamantados é a concentração de pó de diamante na liga. A concentração é especificada pelos números

de concentração que são 50, 75 e 100. Um rebolo com um número de concentração de 100 contém 4,4 quil./cm<sup>3</sup> ( 72 quil./in<sup>3</sup>).

Rebolos com uma concentração de 100 são usados com maior frequência para dentes de serra de metal duro, particularmente para a afiação automática. Em geral, essa concentração produz acabamentos médios e grosseiros. A concentração 75 é recomendada para rebolos que são montados em afiadoras de operação manual. Essa concentração mais baixa é adequada para acabamentos finos.

Outro fator que influencia o desempenho do rebolo é o tamanho do grão de diamante, o qual determina a velocidade de remoção de cavaco e o acabamento da afiação. Normalmente, o tamanho do grão varia de 100 a 600 mesh. Um rebolo de granulação 100 produz um acabamento grosseiro com uma aresta de corte imperfeita. Seu uso é limitado à preafiação.

Uma afiação com rebolo de granulação 200 produz uma superfície mais lisa, mas quando as superfícies de saída e de folga do dente são afiadas com esta granulação, a aresta de corte do dente ainda apresenta uma irregularidade considerável. Combinando-se a afiação de uma das superfícies com granulação 220 e a outra com granulação 400, as irregularidades são eliminadas consideravelmente. Esta combinação provavelmente não é a mais econômica; ela é comparativamente mais rápida e produz um bom acabamento com uma aresta de corte relativamente contínua.

Nem sempre é possível o uso de metal duro nas ferramentas de corte, como no caso de facas para tirar lâminas de madeiras das toras em operações de torneamento, quando são usadas facas de aço. Nesse caso, deveremos usar rebolos de óxido de alumínio de granulação e dureza adequadas ou rebolos de borazon, e realizar a afiação sob refrigeração para evitar mudança na micro-estrutura superficial do material.

GOTTLOB, W. J. , RUFFINO, R. T. (1995 a)- A fim de comparar o desempenho dos materiais de ferramenta ABNT-01, AISI- D6, aço rápido tipo AISI tipo M-4 e do metal duro, desenvolveu-se um porta-ferramentas especial em forma de fresa de corte misto, tangencial e frontal, com doze cunhas de corte, três de cada material, para garantir que os quatro materiais de ferramenta

cortassem a mesma madeira, pois uma madeira de uma mesma espécie tem propriedades mecânicas e químicas variáveis, de árvore para árvore.

Foram ensaiadas duas espécies de madeira; o "Pinus elliottii" e o "Eucalyptus grandis", usando uma tupia a 6000 rpm, o que permitiu uma velocidade de corte de 48,7 m/s; a espessura de cavaco foi de 0,3 mm; os desgastes das ferramentas foram medidos com auxílio de um projetor de perfis com ampliação de 50 X sendo levantadas suas correspondentes curvas de desgaste em função do percurso de corte.

Analisando-se a figura 2.2, onde se encontra representado um quadro geral dos desgastes das arestas principais de corte, observa-se que os maiores desgastes, que ocorreram entre o intervalo de 10 km a 30 km de percurso de corte, foram na usinagem do Eucalipto verde.

Tratando-se da usinagem de madeira verde, o aço-ferramenta ABNT-01, embora temperado com a mesma dureza dos demais aços-ferramenta (58 a 59 Rc), sempre apresentou o maior desgaste. O desempenho do aço ABNT-01, na usinagem da madeira Eucalipto verde (pH = 3,8), foi muito ruim, pois quando foram medidos os desgastes das ferramentas, aos 15 km de usinagem, as suas arestas apresentavam-se arredondadas. Deduzimos que esse material de baixa liga tenha sido mais afetado pela corrosão do que pela abrasão.

Surpreendente foi o bom desempenho do aço ferramenta AISI- D6 em relação ao aço rápido AISI tipo M-4, principalmente na usinagem das madeiras verdes, devido a seu alto teor de cromo.

Outro fato notório foi o desempenho praticamente idêntico dos três aços ferramentas (aço rápido tipo M-4, AISI-D6 e ABNT-01) na usinagem da madeira Pinus elliottii seca. Esse comportamento semelhante permite deduzir -se que, na usinagem da madeira seca, as ferramentas se desgastam basicamente por abrasão.

O metal duro (94% WC e 6% Co) ensaiado é o material de ferramenta que apresentou o melhor desempenho quanto ao desgaste, em comparação com os demais materiais de ferramentas ensaiados, em condições de laboratório. No entanto, não podemos esquecer que ele é extremamente duro e fragmenta com facilidade, se sofrer impacto contra objetos duros, por exemplo: grãos de areia,

objetos metálicos, etc. No processamento da madeira Eucalipto verde, seu desgaste foi mais acentuado, devido ao baixo pH dessa madeira.

O material ferramenta AISI-D6 apresentou um bom desempenho, equivalente e até melhor que o do aço rápido AISI tipo M-4, na usinagem das madeiras verdes, com uma grande vantagem sobre o aço rápido, por ser bem mais barato.

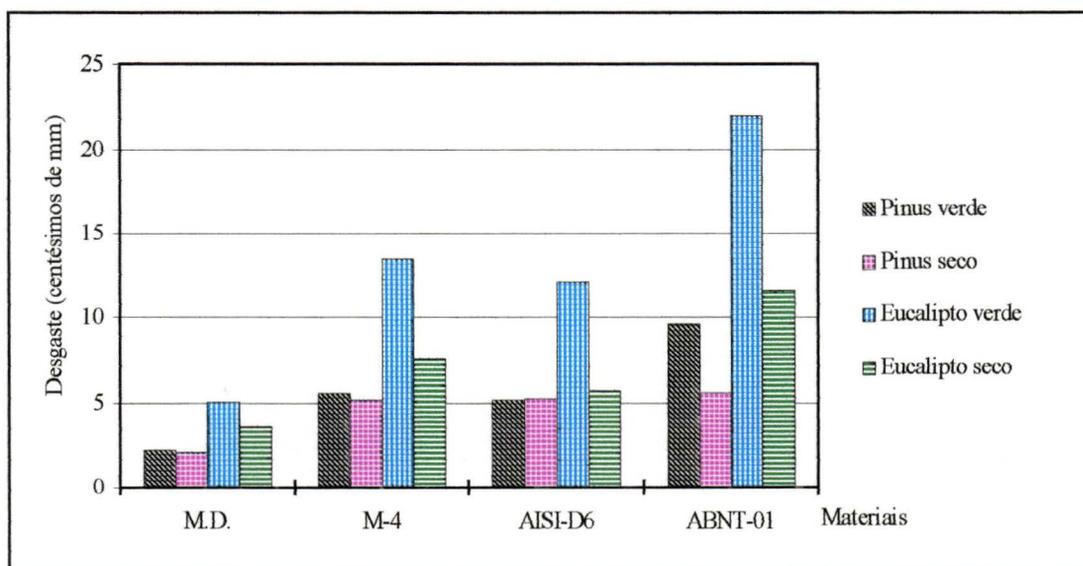


Figura 2.2- Gráfico dos desgastes das arestas principais de corte, obtido através das equações de regressão entre os percursos de corte de 10 km a 30 km, para a usinagem das madeiras "Pinus elliottii" e "Eucalyptus grandis", nos estados verde e seco.

O aço ABNT-01 não é adequado para processar madeiras verdes, pois seu desgaste é bem maior e é tanto maior, quanto mais ácidas forem as madeiras processadas.

Na usinagem da madeira Eucalipto seca, todos os materiais de ferramentas apresentaram um desgaste maior do que na usinagem da madeira Pinus seca. Esperava-se um desempenho semelhante. Provavelmente a madeira Eucalipto, embora seca, possui acidez e abrasividade maior que a madeira Pinus seca e, novamente, o aço ABNT-01 foi o que mais se desgastou.

GOTTLOB, W. J. , RUFFINO, R. T. (1995 b)- Realizou-se uma verificação experimental do desgaste das aresta principal e secundária (frontal) e das superfícies que formam a cunha das ferramentas na usinagem da madeira “Eucalyptus Grandis” no estado verde ou saturado.

Mediu-se o desgaste dos elementos das cunhas de corte, em ferramentas de metal duro, de aço rápido AISI tipo M-4, de aço AISI-D6 e do aço ABNT-01. Os ensaios foram realizados com auxílio de um porta-ferramentas especial, formando uma fresa de corte misto, tangencial e frontal, onde foram alojadas doze pontas de ferramentas com três ferramentas de cada material, dispostas aleatoriamente.

Mediu-se os desgastes, com um projetor de perfis com ampliação de 50X e foram construídas as curvas de desgaste correspondentes, em função do percurso de corte, da aresta principal e secundária (frontal) e das cunhas das ferramentas. Também foram medidos os desgastes das superfícies de folga das cunhas de corte principais e das superfícies de folga secundárias das ferramentas. Conclui-se que é suficiente medir o desgaste das arestas das cunhas das ferramentas e /ou os desgastes das superfícies de folga das ferramentas.

Analisando-se a figura 2.3, onde se encontra representado um quadro geral dos desgastes, observa-se que os maiores desgastes, que ocorreram entre o intervalo de 10 Km a 30 Km de percurso de corte, foram na superfície de folga principal e na superfície de folga secundária (frontal). Tanto a superfície de folga principal como a superfície de folga secundária encontram-se inclinadas em relação às arestas das ferramentas; um pequeno desgaste nas arestas das ferramentas corresponde a um valor numérico bem maior nas superfícies de folga. A figura 3.3 mostra que é perfeitamente possível avaliar os desgastes das ferramentas, considerando-se apenas os desgastes inerentes à cunha de corte ou o desgaste da aresta principal da ferramenta, não sendo necessária a análise dos quatro desgastes medidos neste trabalho.

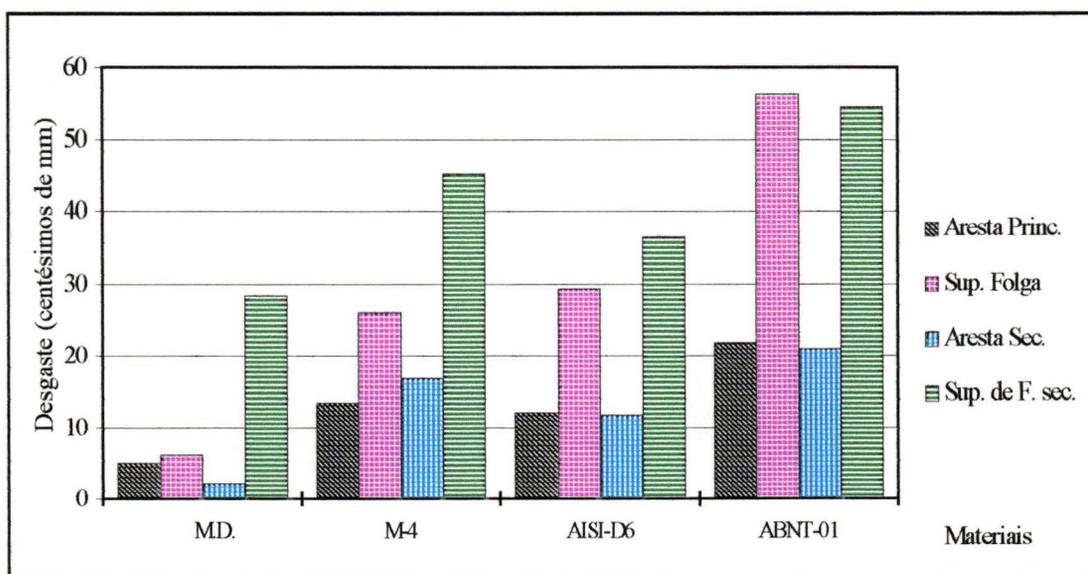


Figura 2.3- Gráfico dos desgastes, obtido através das equações de regressão entre os percursos de corte de 10 Km a 30 Km, para: aresta principal, superfície de folga, aresta secundária e superfície de folga secundária, para os quatro materiais ferramentas ensaiados na usinagem da madeira "Eucalyptus grandis" no estado verde.

## 2.2- Pesquisas sobre a influência dos revestimentos no desempenho das ferramentas para usinar madeira

KIRBACH & BONAC (1977)- investigaram o desempenho do metal duro, revestido com carboneto de titânio, no corte do Cedro Vermelho não sazonado.

As serras foram montadas aos pares, uma com dentes revestidos e outra, sem revestimento e os ensaios foram monitorados pela força de corte e pela rugosidade da superfície cortada.

A comparação das forças medidas para as serras de dentes revestidos e não revestidos com carboneto de titânio mostrou que a magnitude das forças atuantes nos dentes mudou, sendo maior para as serras de dentes revestidos. A perda da qualidade da afiação da aresta de corte nos dentes revestidos parece ser a principal razão para o aumento da força no início do corte. As velocidades de desgaste dos dentes revestidos e não revestidos são aproximadamente iguais.

*Os autores afirmam que o revestimento dos dentes das serras com carboneto de titânio não reduz o ataque químico, que é o principal agente responsável pelo desgaste excessivo causado pelo Cedro Vermelho. A perda da qualidade de afiação causada pelo processo de deposição da camada de revestimento e o ataque do material base pelos extratos da madeira através de micro-fissuras e a fragmentação da extremidade da aresta de corte são as principais causas do fracasso do revestimento aplicado.*

KIRBACH & BONAC (1982 a)- Estudaram o desempenho de dois stellites, 1 e 2 (ligas à base de cobalto) e duas ligas à base de níquel, Deloro 50 e Deloro 60, e compararam suas velocidades de desgaste com serras de aço carbono para ferramentas AISI tipo 140. O menor desgaste foi observado com a liga de stellite 2, que é mais dúctil e menos dura. A diferença de comportamento entre a liga 2 e as demais resulta da fragmentação da cunha de corte no processo de afiação. Os dentes das demais ligas sofreram fragmentação substancial da cunha de corte durante a afiação. Após 35 Km de corte, os dentes da serra de aço, em comparação aos dentes de material ligado, apresentaram um desgaste 12 vezes maior.

*Os autores afirmam que o stellite 2 tem dureza 47 a 51 Rc (menor que as demais ligas), mas possui melhores propriedades de afiação, apresentando uma fragmentação menor, que é indicada pela diferença inicial de desgaste da superfície de folga e da cunha de corte.*

STEWART, H. A. (1987)- Nesse trabalho estudou-se a redução do desgaste da ferramenta de metal duro, devido à boretção. Foram realizados ensaios de torneamento de chapas de fibra de madeira com ferramentas de metal duro comum, metal duro boretado e com diamante policristalino.

O metal duro K10 boretado apresentou forças de corte menores e um menor desgaste da aresta de corte do que o metal duro não tratado K10 e seu desempenho aproxima-se do diamante policristalino.

As micrografias eletrônicas tomadas do metal duro K10 boretado e não boretado mostram que o metal duro K10 não tratado parece quimicamente mais atacado do que desgastado, ao passo que o ataque químico parece

ter sido evitado no metal duro boretado K10. Além de ter endurecido o cobalto, o boro aparentemente aumentou a resistência ao ataque químico.

*O autor afirma que o metal duro K10 boretado mantém boa parte da resistência ao desgaste após a reafiação da superfície de folga. Essa reafiação remove a boretação da superfície de folga da ferramenta, mantendo-se a superfície de saída boretada, resultando disso um desgaste diferencial ou efeito de auto-afiação.*

KATO, C. (1993) - Realizou a usinagem de seis espécies de madeira, com corte paralelo às fibras, sendo a aresta de corte da ferramenta ortogonal à direção do movimento. O objetivo era verificar o desempenho do revestimento do carboneto de vanádio (VC), aplicado apenas à superfície de folga da cunha de corte. Foram medidas as alterações que ocorreram no perfil da cunha de corte, usando-se um aparelho para medir perfis com ponta apalpadora e também as mudanças que ocorreram nas forças de corte, durante o processo de usinagem.

Os ensaios de usinagem foram repetidos com cada ferramenta até o fim de sua vida, com a profundidade de corte de 0,05 mm e velocidade de 8 m/min.. Foram testadas três ferramentas: a primeira consistia do aço rápido SKS-3 (0,9-1,00)%C; (0,9-0,2)%Mn; (0,50-1,0)%Cr; 0,25%Ni; (0,50-1,00)%W; 0,20%Cu; 0,03%P; 0,03%S; 0,35%Si, temperado com dureza de 64 Rc, a segunda ferramenta, usando-se o mesmo material base revestida com carboneto de vanádio, apenas na superfície de folga da cunha de corte e a terceira, também com o mesmo material base, mas revestida com cromo na superfície de folga da ferramenta. A espessura dos revestimentos era de 1,5 microns-metro.

Na usinagem da madeira, quando se usa ferramenta sem revestimento, ocorre um desgaste praticamente igual, tanto na superfície de folga como na superfície de saída e a aresta de corte torna-se cada vez mais arredondada, diminuindo simultaneamente tanto o ângulo de saída como o ângulo de folga.

Revestindo-se a superfície de folga da cunha de corte, passam a ocorrer desgastes diferentes nas superfícies que formam a cunha de corte; no caso, ocorre um desgaste maior na superfície de saída, com o qual vai ocorrer uma alteração maior do ângulo de saída.

As ferramentas ensaiadas possuíam 13 mm de largura, 7 mm de espessura e 60 mm de comprimento. O ângulo de folga das ferramentas era de 2 ° e o ângulo de cunha de 30 °.

Das madeiras ensaiadas, três eram madeiras moles: Sugi, Beih (Port-Orford-Cedar) e Sitka Spruce e três eram madeiras duras: Melapi, Buna (Japanese beech) e Red Alder; todos os espécimes foram secos ao ar, com 9 a 11% de umidade.

Foram obtidos os seguintes resultados:

1) Excelente auto-afiação para as ferramentas revestidas com carboneto de vanádio e cromo durante a usinagem, para cinco madeiras ensaiadas, exceto para a madeira Sugi (*Cryptomeria japonica* d.don).

*O autor afirma que a auto-afiação ocorre em ferramentas revestidas por uma fina camada resistente à erosão em apenas uma das superfícies da cunha cortante, no caso, a superfície de folga. Assim, a superfície não revestida, menos resistente à abrasão, desgasta-se mais rapidamente que a superfície revestida e a abrasão avança de tal maneira, que a fina camada de revestimento permanece na aresta de corte mantendo a aresta de corte afiada.*

O efeito da abrasão, no decorrer do percurso de corte, ocorreu somente na superfície de saída, onde apareceu um desgaste com forma côncava. A forma do efeito de auto-afiação variou com a espécie da madeira. A madeira Sugi era mole demais para provocar abrasão na superfície de saída da cunha de corte.

2) As ferramentas revestidas atingiram o fim da vida, quando os ângulos das superfícies de saída recém-produzidas se tornaram pequenos pelo efeito do desgaste dessa superfície, sendo que o valor do novo ângulo da superfície de saída modificado pela abrasão dependeu do peso específico da madeira.

3) A sílica, contida na madeira Melapi (*Shorea* sp.), acentuou o desgaste, mas não diminuiu o efeito do revestimento de cromo, principalmente a baixa velocidade de corte.

4) Madeiras duras, como a Red Alder (*Alnus rubra* bong.) produzem cavacos mais resistentes, os quais aumentaram a área desgastada na superfície de saída. Como resultado, o ângulo da superfície de saída recém-

produzida durante a usinagem diminuiu lentamente, mas o efeito de auto-afiação manteve-se por muito tempo.

5) Tornou-se claro que o carboneto de vanádio praticamente induz o mesmo grau de auto-afiação, igual ao cromo na usinagem à baixa velocidade. Pelo fato do carboneto de vanádio ser muito mais duro que a sílica e também mais duro que o cromo, deve-se estudar sua aplicação para fins práticos.

SZYMANI, R. , TRINCHERA, L. (1993)- Investigaram a resistência ao desgaste de serras circulares com pontas de dentes revestidos com tantung, (42-47)%Co, (1-7)%Ni , (27-32)%Cr, (14-19)%W, (2-4)%C, (2-5)%Ni, (1-3)%Mn, (2-5)%Fe,(0.3-0.7)%Si, serrando corpos de prova 80x80 mm de cedro (*Libocedrus decurrens* torr.) em ripas de 4,8 a 5,0 mm. Os experimentos de serramento foram realizados em máquinas montadas em série, numa fabrica de lápis. Cada experimento envolveu serras com dentes de tantung, alternadas com serras de comparação de metal duro (classe K10).

O desgaste dos dentes das serras foram medidos após uma hora, duas horas e sete horas de trabalho. As medidas dos desgastes foram realizadas a partir de réplicas dos perfis das arestas de corte, usando-se um microscópio de varredura. Os resultados mostraram que o desgaste das arestas dos dentes das serras de metal duro são 50 a 60 % maiores do que as serras com pontas de dentes de tantung.

Considerando-se os desgastes das superfícies de saída e de folga dos dentes, o desgaste das serras com dentes de metal duro é mais que 100 % maior do que dos dentes das serras de tantung.

O tantung é uma liga fundida, que mantém sua dureza a quente até 815 °C, muito acima do aço rápido, possui alta resistência ao cialhamento, alta resistência ao choque e impactos, baixo coeficiente de atrito com a madeira e excelente resistência à corrosão.

No experimento, foram usadas 6 serras circulares, 3 de tantung e 3 de metal duro. Estas serras possuíam 415 mm de diâmetro, 1,3 mm de largura, 30 dentes, ângulo de folga de 7° e ângulo de saída de 28°. A velocidade de

corte usada foi de 78,2 m/s, e a velocidade de avanço de 21 m/min . O tantung pode ser afiado usando rebolos de óxido de alumínio, com uma velocidade de 19 a 21 m/s.

*Os autores afirmam que, apesar do maior custo inicial do tantung, comparado com o metal duro, usado correntemente, esse experimento demonstra que as serras com dentes de tantung podem ser mais econômicas do que as de metal duro, devido à reduzida perda de tempo para reafiação, maior tempo de trabalho entre re-afiações e maior vida da ferramenta. Atualmente, o tempo médio de trabalho das serras de metal duro entre re-afiações é de 30 horas.*

### **2.3- Pesquisas sobre a temperatura alcançada nas ferramentas para usinar madeira**

CHARDIN, (1973) - Apresentou um estudo de laboratório da distribuição de temperatura na superfície de saída de um dente de serra.

Adotou-se o sistema de corte com um único dente, porque a temperatura do dente precisa permanecer constante durante o registro de dados, o que também simplifica bastante a análise das temperaturas registradas. Usou-se um sistema de pêndulo duplo: um pêndulo sustentando o corpo de prova de madeira e o outro, o dente (ferramenta) em análise, sendo que os movimentos dos pêndulos eram em sentidos opostos, a fim de alcançar a velocidade de aproximadamente 40 m/s.

Termopares foram alojados dentro do material do dente à 0,1mm da superfície de saída e afastados 0,50 mm da aresta de corte. No ensaio, a uma velocidade de 32,4 m/s, foram medidas temperaturas da ordem de 470 ° C. Como o termopar está localizado a uma certa distância da aresta de corte, existe um atraso de alguns milisegundos, até que a temperatura seja acusada, sendo que o tempo de corte também é de alguns milisegundos. A temperatura na aresta de corte da ferramenta evidentemente será mais alta.

*CHARDIN finalizou o trabalho, propondo o uso de modelos de programas de condução de calor, como função da temperatura, para obter a mais alta temperatura em diferentes pontos do dente de serra.*

OKUMURA et alii (1983) - Investigaram a distribuição de temperatura na face lateral do dente de serra próximo à aresta de corte, no corte interrompido da madeira, usando um torno de eixo vertical. Para medir as temperaturas na face do dente de serra, usou-se um microscópio de irradiação infravermelha. A peça foi torneada intermitentemente com uma ferramenta representando um dente de serra fixada num dinamômetro.

Durante os ensaios, a força de corte principal, a força de avanço e o sinal de saída do microscópio foram gravados simultaneamente num oscilógrafo. A partir dos oscilogramas gravados, determinou-se a temperatura da face lateral do dente. As temperaturas medidas chegam à 170 ° C a 0,1 mm da aresta de corte a uma velocidade de 14,8 m/s.

As temperaturas medidas foram mais altas à mesma velocidade para dentes com ângulos de folga de 5°, do que para dentes com ângulos de folga de 15°, para o mesmo ângulo de saída. A influência do ângulo de cunha e do ângulo de saída sobre a temperatura não foi tão marcante, embora a força de corte aplicada ao dente tenha aumentado de 30% a 40%, com o aumento do ângulo de cunha de 40° para 70°, pois a massa a ser aquecida tornou-se maior. Na maior rotação, 1240 rpm, encontrou-se uma considerável mudança na temperatura na área a menos de 0,5mm da ponta da ferramenta.

*Desses experimentos, os autores puderam concluir que o desgaste da aresta de corte de um dente de serra é favorecido não apenas pelo aquecimento, mas também pelas tensões térmicas repetidas ou pelo impacto térmico dentro de um período curtíssimo de tempo devido ao grande gradiente térmico próximo à aresta de corte.*

STEWART, H. A. et. alii (1985) - Até a presente data, tem-se admitido a abrasão como sendo o principal mecanismo de desgaste, no corte de chapas de fibra de madeira de média densidade (MDF), causado principalmente pela cola e a sílica das chapas de MDF.

Entretanto, a usinagem da madeira seca e de produtos reconstituídos da madeira também envolve altas pressões e temperaturas, na zona de corte nas proximidades da aresta de corte. Conseqüentemente, outros mecanismos

diferentes da abrasão podem contribuir significativamente para o desgaste das ferramentas de metal duro, no corte das chapas de fibra de madeira. Constatou-se que a corrosão à alta temperatura é o principal agente de desgaste do metal duro.

*Os autores constataram que a temperatura próxima à aresta de corte pode estar próxima a 1000 °C . Além disso, à medida que a peça obra é cortada, a ferramenta passa através de um ambiente extremamente adverso, quimicamente ativo, com radicais livres dos componentes da madeira, extratos da madeira, colas e aditivos.*

Examinou-se num microscópio de varredura e num microscópio Auger a corrosão de ferramentas de metal duro que ocorreu a altas temperaturas, na usinagem de chapas de fibra de madeira. Comparou-se a cinética das reações químicas e a morfologia da corrosão com estudos similares de oxidação, corrosão a quente e desgaste. *Os autores afirmam que esses estudos mostraram que a corrosão a quente tem uma influência maior no desgaste das ferramentas de metal duro, do que a própria abrasão.*

Deve-se considerar também que o aumento do vapor de água acelera a corrosão a altas temperaturas e sua redução muda as condições na zona de corte e de alguma maneira pode afetar o desgaste da ferramenta. Foram realizados também ensaios de usinagem com ferramentas tratadas com implantação de íons, boretação, revestimento com nitreto de titânio e ferramentas com novas cerâmicas.

Pode-se reduzir bastante o desgaste das ferramentas na usinagem de MDF, pela seleção de materiais ferramentas refratários ou pelo tratamento do material ferramenta que o torne quimicamente inerte a altas temperaturas e/ou que possa escoar o calor da zona de corte.

Os ensaios de usinagem foram realizados num torno mecânico, tendo-se usinado discos de MDF com 19 mm de espessura, diâmetro de 267 mm. Os discos de fibra de madeira ensaiados eram: secos ao ar e com três valores de umidade relativas controladas, com (10, 40, e 90)%, a 3300 rpm. A ferramenta tinha 30° de ângulo de saída, 10° de ângulo de folga, sendo o avanço transversal de 0,127 mm/rot e a velocidade de corte 46 m/s.

STEWART, H. A. (1989) - Esse estudo refere-se a fenômenos de alta temperatura que aceleram o desgaste de ferramentas durante a usinagem da madeira. Examinou-se, através do microscópio eletrônico, uma ferramenta desgastada de aço rápido, após a usinagem de um perfil dentado em madeira de Tilia (basswood).

*O autor observou que o material da ferramenta foi conformado ao longo da borda da superfície de folga, indicando deformação plástica e foram encontrados materiais lenhosos e resíduos depositados nas laterais da ferramenta, que aparecem como um revestimento escuro. Estas características morfológicas indicam temperaturas e pressões elevadas na zona de corte.*

Embora os resultados indiquem a ocorrência de corrosão a quente, esse fenômeno não impede outros tipos de corrosão ou mecanismos de desgaste. O fenômeno da alta temperatura é parte de um todo que agrava o desgaste da ferramenta.

A alta temperatura e/ou pressão podem afetar muito a vida da ferramenta.

CSANÁDI, E. (1993)- Realizou um trabalho teórico e experimental para estabelecer as principais relações para a intensidade de fornecimento de fonte de calor, transferência de calor e distribuição de temperatura nas ferramentas de usinar madeira, em função da velocidade de corte, espessura de cavaco, ângulo de cunha da ferramenta e desgaste da aresta de corte.

Csanádi realizou ensaios experimentais, usando uma fresa de aço rápido que possuía cinco termopares dispostos em um de seus dentes, de forma aproximadamente radial. O termopar mais próximo da aresta de corte estava locado a 2 mm da mesma, num furo com diâmetro de 0,5 mm. A velocidade da fresa podia ser variada entre 2000 a 6000 rpm. Os ensaios foram realizados usando as madeiras, pinho e carvalho, com a umidade variando entre 12 e 20%.

Em condições de equilíbrio de temperatura, mediu-se a temperatura nos pontos onde estavam alojados os termopares. Em seguida, usou-se a condição de trabalho (descontínua) e foram gravados os ciclos de aquecimento e resfriamentos.

Desenvolveu-se um método combinado de medidas e cálculos, a fim de determinar o fluxo e as perdas de calor na ferramenta. A partir das curvas de resfriamento, usando-se o método de aproximação sucessiva associado com o método de elementos finitos, calculou-se o coeficiente de transferência de calor.

Com base em cálculos, construiu-se um gráfico da variação da temperatura na superfície da aresta de corte e no interior do material a 3,7 mm da superfície da aresta de corte, em função da profundidade de corte, para a rotação de 6000 rpm. Esse gráfico mostrou que as temperaturas aumentam com a profundidade de corte, por exemplo: com a profundidade de corte de 0,4 mm, a temperatura na superfície da aresta é 500 °C e a 3,7 mm da superfície, no interior do dente da fresa, é 170 °C.

A velocidade de corte, o raio da aresta de corte (comprimento do arco de contato da ferramenta com a madeira), também têm grande influência na máxima temperatura que a superfície da aresta de corte pode atingir, cujo aumento tem relação direta com o aumento da temperatura. O ângulo de cunha da ferramenta também é um fator importante na máxima temperatura; entretanto, sua influência decresce com o aumento do ângulo da cunha.

Num ponto da superfície (aresta de corte), ocorre um aquecimento inicial com grande incremento de temperatura, seguido por incrementos constantes de aquecimento. Internamente ao material, inicialmente, também ocorre um incremento rápido de temperatura, mas de intensidade menor do que o da superfície, seguido por incrementos constantes de temperatura. Por exemplo, considerando-se um intervalo de tempo de 20 segundos a partir do início do aquecimento; a temperatura na superfície é 370 °C e internamente ao material a 3,7 mm de profundidade é 130 °C ; a partir desses 20 segundos, os incrementos de temperatura, tanto na superfície como internamente ao material são basicamente iguais, caminhando paralelamente.

Durante a rotação da ferramenta, o processo de corte ocorre apenas durante um ângulo de rotação de 20 a 30° e um fluxo efetivo de calor também chega à ferramenta, durante este ângulo de rotação, causando uma superposição cíclica de temperatura à temperatura já existente, sendo que essa temperatura cíclica tem uma grande amplitude.

*Os resultados dos cálculos de CSANÁDI mostraram que, no ângulo de 20°, as temperaturas na superfície e internamente são máximas e, após cada ciclo, crescem ligeiramente. A cada ciclo de aumento de temperatura, segue também uma similar queda brusca da temperatura.*

*Se for sobreposto a metade desta temperatura cíclica ao valor da temperatura estacionária, obtem-se a temperatura de 900 a 1000 ° C, que pode ser alcançada na superfície da aresta de corte por um período de tempo bastante curto.*

#### **2.4- Pesquisas, que abordam a ação de agentes químicos encontrados na madeira, que prejudicam o desempenho das ferramentas**

FARMER (1962)- Tratando da corrosão dos metais em associação com a madeira, afirmou que esta corrosão se dá de uma maneira intermediária entre a exposta à atmosfera e a imersão total num líquido. *A corrosão é um processo essencialmente de oxidação e, como em muitos metais, a intensidade na qual ocorre a corrosão é protegida pela formação de um filme de óxido insolúvel ou hidróxido sobre a superfície do metal e pode ser acelerada pela presença de ácido, que tem o efeito de aumentar a solubilidade do produto primário da corrosão.*

Os extratos aquosos da grande maioria das madeiras são levemente ácidos. Para fins práticos, o valor de pH de aproximadamente 4,0 a 4,3 representa um limite, abaixo do qual a velocidade de corrosão do aço aumenta rapidamente em presença de umidade.

A variação do pH que existe entre as várias espécies de madeiras e a diferença de acidez entre o alburno e o cerne (o cerne é geralmente mais ácido) fornecem mais razões para o pH representar apenas a tendência corrosiva das diferentes madeiras.

HILLIS & MCKENZIE (1964) - Pesquisaram o ataque químico nas facas de corte da madeira, mostrando que a corrosão química é um dos fatores de desgaste da ferramenta.

Os ácidos orgânicos e os polifenóis são os principais agentes corrosivos encontrados nas madeiras.

A fase aquosa da madeira é complexa, possuindo ácidos fracos e seus sais. O ácido acético é o que ocorre em maior ou menor quantidade em todas as madeiras.

Em contraste com os ácidos orgânicos, a composição dos extratos fenólicos da madeira varia com o gênero e espécie. As quantidades são menores no alburno do que no cerne e no cerne a quantidade é dependente da distância ao centro, da velocidade de crescimento da árvore, das diferenças de variedade, etc.

Para essa pesquisa, é necessário considerar os componentes dos extratos possuindo dois ou mais grupos hidroxilas adjacentes. Este arranjo governa sua habilidade de se combinar com o ferro na forma de quelato.

Os ellagitaninos e gallotaninos encontrados num tipo de Eucalipto, na Castanheira, no Carvalho, etc., possuem três grupos fenólicos adjacentes e formam uma mancha preta-azulada com o ion férrico. Os tropolones são compostos intimamente ligados aos polifenóis; são encontrados nas coníferas e formam também quelatos com ferro e o cobre.

*Os autores afirmam que a velocidade de corrosão aumenta com o aumento da velocidade de fluxo do eletrólito e, na usinagem, este está contido na madeira, que se move rapidamente sobre as superfícies da ferramenta. Nessas áreas de contato, os depósitos relativamente moles de óxido ou quelato serão removidos e, assim, o ferro é exposto para uma posterior corrosão.*

Durante a usinagem, a madeira desliza sobre a ferramenta e em ambas as superfícies, de saída e de folga, serão removidos o hidrogênio gasoso e os produtos resultantes da corrosão. Além disso, o fornecimento de oxigênio é constantemente renovado a partir dos gases dissolvidos na água da madeira e a partir do oxigênio da atmosfera.

MCKENZIE & HILLIS, (1965)- Pesquisaram a ação química dos principais extratos da madeira que atacam as ferramentas. Os extratos de madeira que mais atuam na corrosão das ferramentas são ácido acético e os compostos

fenólicos e seus efeitos são muito mais acentuados no corte da madeira verde. O ácido acético ocorre em maior ou menor quantidade em todas as madeiras, atacando os metais das ferramentas.

Esses pesquisadores também verificaram que a corrosão das ferramentas no corte da madeira pode ser eliminada pela aplicação de um pequeno potencial elétrico negativo de 60 volts, aplicação essa feita por um patim de alumínio colocado à frente da ferramenta de corte.

KIRBACH & CHOW, (1976)- Observaram grandes velocidades de desgaste do metal duro no corte do Cedro Vermelho, que são atribuídas à corrosão química, devido a seus extratos, que são compostos altamente reativos, capazes de formar complexos organo-metálicos denominados de "Chelatos".

Os extratos dessa madeira atacam a matriz de cobalto do metal duro, deixando os grãos de carboneto livres, que são posteriormente removidos pela ação abrasiva da madeira.

Esses pesquisadores efetuaram ensaios de reatividade do cobalto puro e com pastilhas de metal duro com matriz de cobalto, com extratos de Cedro Vermelho em solução aquosa. Os resultados das reações químicas tornaram evidente que os três extratos alfa, beta e gama (thujaplicin), beta thujaplicinol e o ácido plicático provocam perda de peso no cobalto puro 99% e em pastilhas novas e usadas de metal duro. Eles concluíram que o ácido plicático é o principal responsável pela corrosão da matriz de cobalto do metal duro.

*Os autores afirmam que as pastilhas usadas em ensaios de usinagem apresentaram uma quantidade significativa de tungstênio dissolvido, o que é uma indicação da deterioração do reticulado dos grãos do carboneto de tungstênio, devido às forças de corte.*

KLAMECKI, (1977)- Pesquisou o desgaste mecânico e químico das ferramentas de corte de madeira. No seu trabalho, foram usinadas peças de Cedro Californiano (*Calocedrus decurrens*-Incense Cedar) de secção quadrada e circular num torno mecânico. Foram usados três materiais diferentes como

ferramentas de corte: aço rápido, tipo M-2, metal duro tipo P40 e material cerâmico  $Al_2O_3$ . As velocidades de ensaio usadas foram 3,3 e 6,1 m/s .

A análise dos gráficos levantados por KLAMECKI permite concluir:

a) o comportamento de desgaste parece similar para todos os ângulos de saída considerados;

b) o desgaste da ferramenta para um dado percurso de corte é muito maior no corte interrompido, comparado ao corte contínuo para os três materiais testados;

c) o desgaste é maior para o aço rápido e menor para a ferramenta cerâmica, considerando-se o mesmo percurso de corte;

d) no corte interrompido, o aumento da velocidade de corte conduz a um aumento do desgaste das ferramentas de metal duro e de cerâmica, sendo este aumento de desgaste maior para as ferramentas cerâmicas; para as ferramentas de aço rápido, o desgaste foi menor;

e) o aumento da umidade da madeira resulta num desgaste maior da ferramenta no corte contínuo e é mínimo na ferramenta cerâmica;

f) quanto maior for a quantidade de extrato na madeira, maior será o desgaste da ferramenta. Este efeito é mais pronunciado no corte contínuo.

TSAI & KLAMECKI, (1980)- Tentaram separar o mecanismo abrasivo e eletroquímico de desgaste da ferramenta no corte da madeira.

No procedimento experimental, mediu-se o aumento do desgaste da superfície de folga com o tempo de corte numa ferramenta de aço rápido no torneamento do Cedro Vermelho e Pinho Ponderosa, usando-se, para tal fim, um torno para usinagem de metais, isolando-se eletricamente a ferramenta.

Observaram inicialmente que, nas velocidades de usinagem mais altas, o desgaste das ferramentas era mais alto, tanto para as madeiras verdes saturadas com água (90 e 80 %) como para as madeiras secas. Observaram também que, as madeiras saturadas provocaram um desgaste maior nas ferramentas do que as

madeiras secas e que existia uma relação linear entre o desgaste e o tempo de usinagem.

Escolheu-se para critério de vida da ferramenta um desgaste de 45 microns na superfície de folga, sendo os ensaios realizados com três velocidades diferentes: 1,3 m/s , 2,6 m/s e 5,3 m/s .

*TSAI & KLAMECKI, definem o critério de vida da ferramenta como o máximo desgaste permissível da ferramenta correspondente a um dado tempo de vida, para o qual se pode aplicar a equação de Taylor:*

*$V.T^n = C$ , na qual (n) e (C) são constantes para um dado par de materiais de ferramenta e peça-obra e condições de usinagem.*

Os resultados experimentais mostram que, para o corte do Cedro Vermelho e o Pinho Ponderosa, secos ao ar, os valores de (n) são respectivamente 1,0 e 1,1.

O valor do expoente (n) para o corte do Cedro Vermelho úmido é 4,75, e para o Pinho Ponderosa úmido, 1,5. O desgaste da ferramenta no corte do Cedro Vermelho úmido é de natureza eletroquímica; o valor de (n) é alto; o desgaste da ferramenta na usinagem do Pinho Ponderosa úmido é abrasivo e corrosivo.

Seja (C) a medida da abrasividade do material trabalhado sobre o material da ferramenta. O experimento mostrou que o Cedro Vermelho é três ou quatro vezes mais abrasivo que o Pinho Ponderosa. A velocidade de corte para a vida da ferramenta de 1 minuto, para o Cedro Vermelho é 262m/s, enquanto que para o Pinho Ponderosa é 934 m/s.

Para o Pinho, os valores de (n) e (C) são: para condição seca 1,1; 934 e úmido 1,5; 726. A mudança de (n) indica a ação de efeitos eletroquímicos com o aumento da umidade.

O valor do pH do Cedro Vermelho é 3,09 e 5,89 para o Pinho Ponderosa.

KIRBACH & BONAC, (1982 b) - Fizeram uma comparação entre o desempenho do stellite 2 e dois tipos de pastilhas de metal duro, uma com 6% de cobalto e outra, com 18% de cobalto e com dois ângulos de saída diferentes 30 e

40° , mas com o mesmo ângulo de folga de 7°, usinando Cedro vermelho não sazonado.

O resultado do experimento mostrou que a menor velocidade de desgaste é apresentada pelo stellite 2. O metal duro com 6% de cobalto mostrou velocidade de desgaste intermediário, o metal duro com 18% de cobalto teve maior velocidade de desgaste; devido a esse fato, o ensaio teve que ser interrompido aos 20 km de percurso de corte.

*Os autores julgam que a diferença de desempenho entre o stellite 2 e o metal duro com 6% de cobalto pode ser atribuída a uma interação entre as componentes do desgaste por atrito e a corrosão química, que parece ser mais pronunciado para o metal duro. A velocidade de desgaste muito mais rápida do metal duro com 18% de cobalto indica que o uso de tipos de metal duro com maior conteúdo de cobalto reduz drasticamente a resistência ao desgaste da ponta de metal duro, desaconselhando-se seu uso na usinagem do Cedro vermelho.*

BAILEY, BAYOUMI & STEWART, (1983) -A finalidade deste trabalho foi esclarecer a natureza do mecanismo de desgaste do metal duro na usinagem do Carvalho não sazonado.

Diversos insertos de metal duro foram retirados de uma serra circular e de plainadoras horizontais, quando já estavam bastante desgastadas, sendo necessária sua reafiação.

Examinando-se os três tipos de insertos desgastados, esses mostraram características metalúrgicas e geométricas similares; suas arestas de corte estavam lisas e arredondadas. As superfícies de saída e de folga desgastadas, dos insertos apresentaram um aspecto granular, com o carboneto de tungstênio em relevo. O cobalto, que é o aglomerante, foi removido dos interstícios entre os grãos de carboneto durante a usinagem na região de contato com a madeira.

*Os autores propuseram que o desgaste dos insertos de metal duro ocorrem primeiramente pela dissolução preferencial do cobalto, através de ataque químico dos extratos presentes no carvalho (taninos), seguida pela perda individual de grãos do carboneto de tungstênio, quando a resistência de retenção*

*entre os grãos e o aglomerante são insuficientes para resistir à ação das forças de cisalhamento geradas pelo atrito entre a ferramenta e a superfície da peça-obra.*

O ácido tânico forma filmes de tanato sobre as superfícies do ferro e do aço; esses filmes dão proteção contra a corrosão atmosférica. Entretanto, durante a usinagem, essa proteção é destruída, devido ao atrito do cavaco e da superfície da madeira recém-usinada, sobre as superfícies da ferramenta, removendo qualquer produto de reação química que possa acumular-se; portanto, a superfície limpa do metal fica continuamente exposta ao ataque químico.

Experimentos revelaram que ocorre ataque químico entre o cobalto puro mergulhado tanto numa solução aquosa normal de ácido tânico, como também numa solução aquosa com polpa de carvalho.

BAYOUMI, BAILEY & STEWART, (1983) - Compararam a resistência ao desgaste de várias classes de metais duros, que podem ser usados na usinagem da madeira. As pastilhas selecionadas foram testadas sob condições de atrito seco e úmido, usando-se uma solução 0,1 N de ácido tânico e 0,2 N de ácido acético.

Os ensaios mostraram que a adição de cromo ao cobalto aumentou a resistência ao desgaste, pelo aumento da resistência ao ataque químico. Nas condições de atrito seco, a resistência ao desgaste decresce com o aumento de conteúdo de aglomerante.

Os metais duros (GEX719, GEX6012, Ramet1, VR54, W588 e GE616) afastam-se dos resultados gerais, indicando maior resistência ao desgaste. As composições químicas e propriedades dos metais duros citados encontram-se nas tabelas (10.7, 10.8 e 10.9) do anexo.

É evidente que a adição de cromo ao cobalto (GEX719 e GEX6012) aumentou a resistência ao desgaste desses materiais. Quando se adiciona níquel à matriz aglomerante do metal duro (GE 616) ou à matriz aglomerante do carboneto de molibidênio e titânio (W588), aumenta-se a resistência ao desgaste desse material. Nas condições de atrito seco, os metais duros (GEX719, GEX6012, W588 e GE616) também divergem dos resultados gerais, apresentando maior resistência ao desgaste.

*Os autores acreditam que o resultado é devido ao aumento da solução sólida (GEX719, GEX6012 e GE616) ou endurecimento por dispersão (W588) do aglomerante como consequência dos elementos de liga. Admite-se que a dureza do aglomerante pode ser mais importante que a dureza da pastilha, para um dado conteúdo de aglomerante.*

Para as condições de atrito a seco, imagina-se ocorrer a remoção do aglomerante através de um super-aquecimento (escoamento plástico) ou através de oxidação seguindo a remoção do óxido por atrito. Nos testes com madeira seca, cerca de 1% de extratos permanecem na madeira; esses podem produzir reações químicas lentas com o aglomerante.

BAYOUMI & BAILEY, (1984)- Desenvolveram um modelo matemático para o desgaste progressivo do metal duro, na presença de ácidos orgânicos fracos e compararam os resultados do modelo com valores experimentais.

O processo de desgaste é idealizado ocorrer em duas fases, envolvendo dissolução química da camada do aglomerante, seguido pela remoção por ação mecânica de uma camada de grãos de carbonetos junto com uma pequena quantidade de aglomerante (cobalto).

*BAYOUMI & BAILEY desenvolveram a equação abaixo, que permite calcular a velocidade média de desgaste durante a remoção de uma camada unitária do metal duro pode ser calculada pela expressão:  $W =$*

$$\left(\frac{d+p}{2}\right)^k \cdot \left[ \ln \left( \frac{144 \cdot p \cdot (d+p)^2 \cdot (p+d \cdot \cos\theta_o)}{\pi \cdot d^3 \cdot (3p+d) \cdot (8+9 \cdot \cos\theta_o - \cos 3\theta_o) - 48d \cdot (p+d)^2 \cdot (p+d \cdot \cos\theta_o)} \right) \right]$$

onde  $\theta_o = \cos^{-1} \left( 1 - \frac{2}{\tau_b} \cdot \frac{F_{sg}}{d^2} \right)$

*conhecendo-se o espaçamento interparticular (p), o diâmetro médio dos grãos (d), a constante da velocidade da reação química k, a maior tensão de cisalhamento  $\tau_b$  entre o grão de carboneto e o aglomerante e a força de cisalhamento  $F_{sg}$  exercida*

sobre cada grão de carboneto . Os valores de  $\beta$  (fração volumétrica do aglomerante),  $d$  e  $p$  podem ser determinados por metalografia quantitativa, enquanto os valores de  $k$ ,  $\tau_b$  e  $F_{sg}$  somente podem ser determinados experimentalmente.

Para testar o modelo teórico foram realizados ensaios, nos quais a aresta lateral dos corpos de prova (pastilhas de metal duro) foram atritados contra a periferia de um disco giratório de fibra de madeira sob uma névoa dos ácidos acético 0,2 M e ácido tânico 0,1 M, a uma velocidade tangencial de 42,4m/s.

O atrito desenvolveu um desgaste plano no canto da pastilha de metal duro e os resultados do experimento mostraram que:

1) a largura da superfície desgastada aumenta com o tempo de friccionamento;

2) existe uma diferença significativa no desempenho das duas classes de metais duros testados (GEX6012 e K 3833), cujas especificações encontram-se na tabela 10.10 do anexo;

3) o desgaste é maior quando se usa ácido tânico.

Observou-se que a velocidade de desgaste é diretamente proporcional à constante  $k$ . O aumento de  $(\beta)$  aumenta a distância interparticular ( $p$ ), aumentando a velocidade de desgaste. Um aumento na força normal ( $F_n$ ), entre a ferramenta e peça obra, conduzirá a um aumento em  $F_{sg}$  (força de cisalhamento por grão), aumentando a velocidade de desgaste. Finalmente, o aumento do tamanho do grão também conduz a um aumento da velocidade de desgaste, como foi previsto pelo modelo teórico.

A observação dos resultados experimentais mostra que o aumento da superfície de desgaste é aproximadamente linear em relação ao tempo de atrito e que existe uma boa concordância entre a previsão teórica e os resultados experimentais.

BAYOUMI & BAILEY, (1985 b) -Realizaram testes de simulação de usinagem de madeira verde e madeira seca, com aço rápido, stellites e metais duros. Os materiais selecionados incluem: metais duros, com várias composições de matriz aglomerante, a saber: cobalto, cobalto-cromo e cobalto

carbonetos de cromo-cobalto, e também alguns stellites e o aço rápido AISI tipo M-2 (tabelas 10.11 e 10.12 do anexo).

Realizou-se uma série de ensaios, tanto em condições de atrito úmido com uma névoa de uma solução de ácido acético 0,2M e atrito seco. O atrito entre o corpo de prova e o disco giratório de fibra de madeira, em ambas condições, desenvolveu uma superfície desgastada plana na quina do corpo de prova.

A comparação de resistência ao desgaste entre as pastilhas de metal duro e os aços mostram que, nas condições de atrito seco e úmido, os metais duros têm maior resistência ao desgaste do que os stellites e que os stellites têm maior resistência ao desgaste do que o aço rápido. Todos os materiais apresentaram menor resistência ao desgaste na condição de atrito úmido, comparado com o atrito seco.

A alta resistência ao desgaste do metal duro é atribuída à sua baixa reatividade química e à alta dureza do carboneto de tungstênio.

*Os autores afirmam que a maior velocidade de desgaste apresentado pelos stellites pode ser atribuída à sua dureza mais baixa e grande reatividade química de sua matriz. Para o aço rápido, o desgaste também ocorre por processos mecânicos e químicos. Sua baixa resistência comparada com os stellites é atribuída à alta reatividade de sua matriz, devido ao seu baixo conteúdo em cromo.*

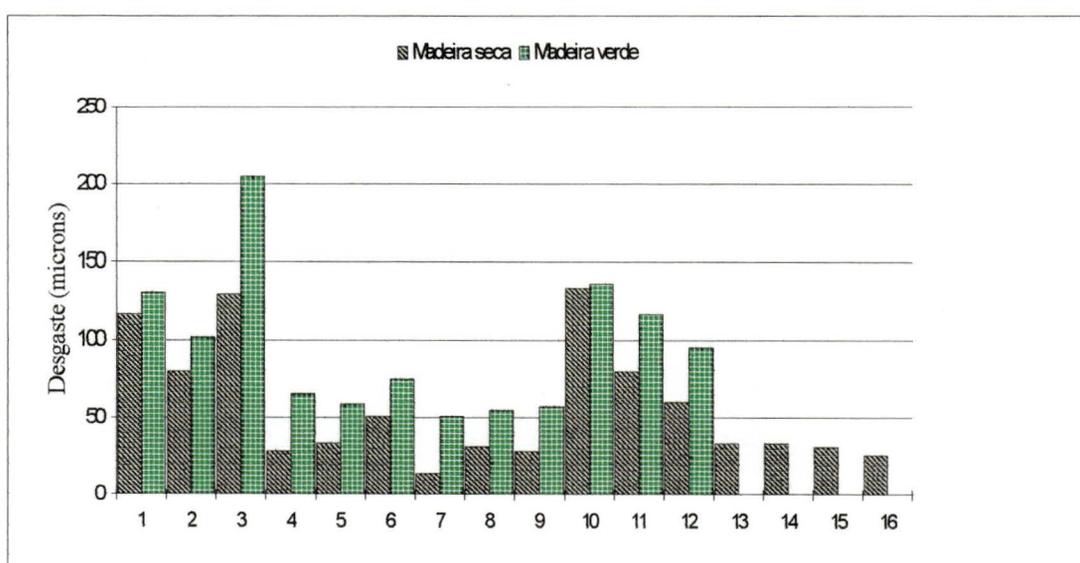
Os materiais usados como ferramentas de corte na usinagem da madeira estão sujeitos simultaneamente à ação mecânica de desgaste por abrasão e desgaste por choque, causando desgaste e fragmentação da cunha de corte da ferramenta e, por ataque químico, através dos extratos da madeira. Os materiais que apresentaram um desempenho melhor nestas pesquisas foram: os stellites e os metais duros, com matriz aglomerante resistente à corrosão química.

BANSHOYA, K., (1986)- Foram realizados testes de desgaste de ferramentas de aço rápido em operações de furação com máquina, em peças de madeira. As peças de madeira consistiram em 10 espécies de madeiras Japonesas e seis espécies de madeiras importadas. Após a realização de 1000 furos em cada espécie de madeira, mediu-se o valor do desgaste da extremidade da aresta de corte

da ferramenta para cada uma das espécies. Observou-se o desgaste das superfícies guias da broca num microscópio eletrônico de varredura. A partir dos resultados dessas medidas, determinou-se a usinabilidade de cada espécie de madeira.

O gráfico (Figura 2.4) a seguir mostra a ação abrasiva e corrosiva de cada uma delas. As condições de usinagem usadas neste experimento foram as seguintes: rotação da broca 1000 rpm, velocidade periférica de corte 0,52 m/s, avanço por rotação 0,1 mm, avanço axial 10,0 cm/ min., profundidade de furação 20 mm, diâmetro da broca 10mm.

A ação abrasiva afeta bastante a velocidade do desgaste para as três madeiras tropicais verdes e secas ao ar, porque elas têm alta quantidade de sílica. A ação química do tanino tem importância no desgaste das ferramentas, para as três madeiras duras Japonesas ( Kuri, Kojii, e Mizunara).



Banshoya, K. (1986).

Figura 2.4- Comparação da magnitude dos desgastes das arestas de corte de uma broca na realização de 1000 furos nas madeiras ensaiadas. 1)-Apitong; 2)-Selagan batu; 3)-Melapi; 4)- Western-hemlock; 5)- Douglas-fir; 6)-Western-redcedar; 7)-Sugi; 8)-Hinoki; 9)- Akamatsu; 10)- Kuri; 11)- Kojii; 12)- Mizunara; 13)- Shirakashi; 14)- Isunoki; 15)- Mizume; 16)- Asada. (Tabela 10.13)

*BANSHOYA afirma que quando a madeira verde é furada, ocorrem diferenças de potencial elétrico entre a ferramenta e a peça-obra, e a*

velocidade do desgaste, para estas madeiras, foi maior do que para as mesmas no estado seco.

As ações eletroquímicas foram claramente reconhecidas nas três madeiras norte-americanas; além disso, a ação corrosiva mencionada acima é favorecida pelo aquecimento durante a operação de furação.

KRILOV & GREF, (1986)- Apresentaram um estudo do mecanismo de corrosão de uma serra por compostos polifenólicos.

*E afirmam que simples ácidos orgânicos e, particularmente, polifenóis aromáticos são extratos importantes da madeira devido a suas propriedades corrosivas. O ácido acético está presente na maioria das madeiras e forma-se por hidrólise dos grupos acetílicos. Sabe-se que as madeiras duras têm mais grupos acetílicos do que as madeiras moles, fato que explica parcialmente o baixo valor de pH de algumas espécies de madeiras duras.*

Os ácidos orgânicos de baixo peso molecular não são as únicas fontes possíveis de ions de hidrogênio; também são importantes os compostos polifenólicos.

Os ácidos gálico, digálico e egálico são exemplos típicos de polifenóis contidos na madeira e são encontrados em quantidades apreciáveis em muitos Eucaliptos (Figura 2.5).

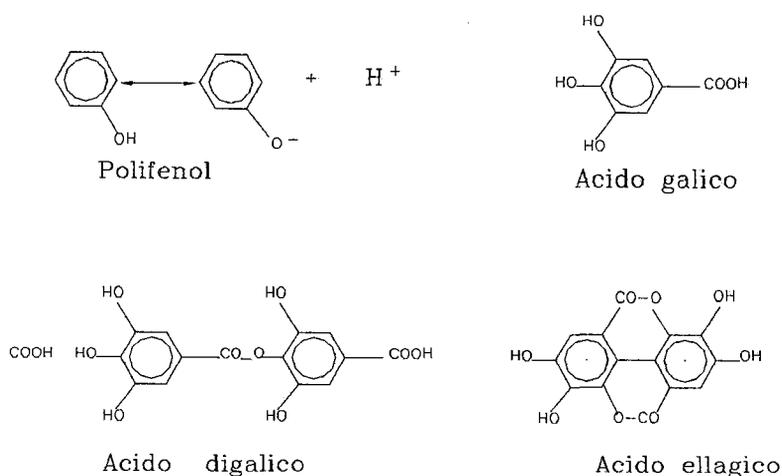


Figura 2.5- Fórmulas químicas de um polifenol, do ácido gálico, do ácido digálico e do ácido ellágico. KRILOV & GREF (1986)

Os autores realizaram experimentos com uma quantidade medida de serragem de uma dada espécie no estado verde, enquanto outra quantidade foi envelhecida por um período de um mês. Ambas as serragens, nova e velha, foram então usadas num experimento de corrosão, que foi realizado em quatro aços de serras comerciais (aço carbono para ferramentas). Os resultados experimentais mostraram que a serragem de madeira verde corrói mais intensamente os aços testados do que a serragem envelhecida.

Esse estudo mostra que o efeito conjugado de corrosão química e abrasão do aço de uma serra é maior do que era considerado até então.

BAYOUMI, STEWART & BAILEY, (1988) -Esse trabalho tratou dos efeitos da composição da matriz aglomerante do metal duro sobre o desgaste das ferramentas, que ocorre no aplainamento de tábuas de madeira verde.

No trabalho de laboratório foram ensaiadas dezoito classes de metais duros produzidos por três fabricantes, atritando-se estes materiais sob condições seca e úmida (sob névoa dos ácidos acético e tânico), durante 12 horas cada um, contra um disco giratório de fibra de madeira.

No processamento em serraria, foram plainadas tábuas de Carvalho Vermelho com umidade variando entre 60% a 80%, em ambas as faces simultaneamente. A média de material removido por cada rotor (superior e inferior) foi de 1,5mm de espessura.

Os testes na serraria consistiram em comparar o desempenho das pastilhas de metal duro com 6% de cobalto GE883, com pastilhas de 12,5% de matriz aglomerante, sendo 10% de cobalto e 2,5% de cromo GEX6012, cujas propriedades encontram-se na tabela 10.14 do anexo.

Para obter-se o acabamento superficial desejado nos testes de campo, foram considerados:

1) um limite para o desgaste da aresta de corte das pastilhas de metal duro, fixado para estabelecer o critério de vida da ferramenta.

*Este limite foi escolhido pelos autores, baseando-se em estudos extensivos e no correlacionamento dos dados do desgaste da superfície de*

*folga, consumo de energia e acabamento superficial. O limite de desgaste escolhido foi de 150  $\mu\text{m}$  aproximadamente;*

2) percurso de corte para produzir o máximo desgaste permissível;

3) remoção de material necessário para reafiação. A perda média da ponta da pastilha de metal duro, devido a reafiações, foi de 100  $\mu\text{m}$ , para o metal duro GEX6012 e 250  $\mu\text{m}$ , para o metal duro GE883 (6% de cobalto).

As conclusões desse trabalho são as seguintes:

1) A adição de cromo à matriz aglomerante de cobalto melhora significativamente a redução do desgaste sob condições de ensaio de laboratório e de campo. Para o desgaste máximo aceitável de 150  $\mu\text{m}$ , foi observada uma melhora no percurso de corte de 2,5:1, com uma redução similar na quantidade de metal duro necessário a remover na reafiação;

2) As previsões do modelo teórico para a influência do tamanho do grão e a constante de velocidade de reação química concordam bem com os dados experimentais;

3) O percurso de corte necessário para atingir 150  $\mu\text{m}$  de desgaste foi aproximadamente 400 km, para o metal duro com aglomerante de cobalto e cromo e 150 km, para o metal duro aglomerado somente com cobalto.

## **2.5- Pesquisas sobre fenômenos elétricos , que prejudicam o desempenho das ferramentas para usinar madeira**

KLAMECKI, (1978) -Este estudo refere-se aos efeitos elétricos sobre o desgaste de ferramentas de corte para madeira, em operações de torneamento contínuo de Cedro Californiano (*Calocedrus decurrens*) úmido e seco ao ar com ferramentas isoladas e não isoladas eletricamente da máquina.

O desgaste da ferramenta, que depende do tempo de contato entre a ferramenta e o material de trabalho, pode ser explicado por abrasão mecânica da ferramenta, por ação química ou elétrica entre a ferramenta e a peça-obra, ou por combinações desses mecanismos de desgaste.

Usinou-se, numa operação de torneamento contínuo, alburno de Cedro com 22% de umidade e seco, com 9,2% de umidade, com uma velocidade de 4 m/s, avanço de 0,125 mm/rot e 1,5 mm de profundidade, com uma ferramenta de aço rápido, isolada eletricamente do torno.

As principais conclusões foram:

1) tanto no corte da madeira verde como no da madeira seca, existe uma redução do desgaste da ferramenta, quando esta se encontra isolada eletricamente;

2) existe um estreito relacionamento entre a voltagem medida e o desgaste da ferramenta, no corte da madeira seca. O aumento da voltagem acompanha aproximadamente o desgaste da superfície de folga da ferramenta de corte;

3) os perfis finais das ferramentas usadas no corte da madeira seca e da madeira úmida são diferentes. O perfil da aresta de corte das ferramentas usadas no corte da madeira seca é muito mais simétrico em relação à bissetriz do ângulo de cunha da ferramenta;

4) Outros fatores além da abrasão fazem parte do desgaste das ferramentas de usinar madeira, indicados pelas diferenças de desgaste das ferramentas, quando são usinadas madeira seca e madeira verde.

LEMASTER, R. , (1984)- Estudou a redução do desgaste dos dentes de serra, isolando eletricamente a mesma, em condições industriais.

O estudo foi realizado numa serraria, usando-se serras com dentes de metal duro no corte do Cedro (*Libocedrus decurrens*). Na serraria, aparecem variáveis incontroláveis, tais como: matéria-prima variável e desconhecida, objetos estranhos na matéria-prima, como pregos, pedras, etc, resfriamento das serras com água, o que prejudica o isolamento elétrico.

O estudo foi iniciado com seis discos de serra novos. Os discos de serras foram divididos em três grupos de ensaio. Cada grupo consistia de uma serra isolada eletricamente e uma serra normal sem isolamento elétrico para controle. Tanto a serra isolada como a normal foram instaladas na máquina na mesma linha vertical. Uma foi instalada na parte superior e outra, na parte inferior, para

assegurar o corte de madeira com a mesma qualidade e quantidade. O critério para retirada das serras do ensaio foi o mesmo das serras de uso normal da serraria. As serras foram substituídas, assim que a qualidade do corte se tornou inaceitável, independentemente do tempo de corte.

Para determinar o desgaste dos dentes de serra, usou-se um medidor de forma de superfície Talysurf-3 para obtenção dos perfis da superfície dos dentes das serras. Estes perfis foram comparados com o perfil de um dente idealmente afiado.

Foram medidos os desgastes da superfície de saída, da superfície de folga e da ponta dos dentes. Foram realizadas comparações entre os desgastes das serras isoladas eletricamente com os das serras não isoladas eletricamente.

O grupo de ensaio III foi medido novamente, usando-se um projetor de perfis com aproximadamente a mesma ampliação do Talysurf (100 X).

O método ótico possibilitou mostrar uma região maior do perfil do dente aproximadamente 2,5 mm, contra 0,6 mm no Talysurf, usando-se sua maior escala.

O autor termina o trabalho afirmando que o estudo é limitado, devido ao pequeno número de serras usadas, não podendo provar-se conclusivamente que o isolamento elétrico do disco de serra melhora significativamente o desgaste dos dentes das serras, mas que o estudo mostra uma redução ao desgaste de aproximadamente 25% .

STEWART, H. A. et alii, (1994)- Os ensaios experimentais têm mostrado que, durante a usinagem de madeira verde e da madeira seca , são geradas diferenças de potenciais elétricos entre a peça-obra e a ferramenta de corte. Nesse trabalho, foi realizada uma série de ensaios de torneamento de fibra de madeira (MDF), usando-se ferramenta de aço rápido AISI tipo M-2, com a profundidade de corte de 0,127 mm, nas rotações de 330 e 550 rpm.

Mediu-se a voltagem na ferramenta isolada eletricamente, ligada à terra pelo seu suporte, através de um resistor de 1 ohm. Os fenômenos elétricos na interface ferramenta e a peça-obra foram monitorados por correntes

elétricas que fluíam entre a ferramenta e a terra . Conseguiu-se obter mais informações sobre o fenômeno elétrico, monitorando-se a voltagem transitória com a ferramenta isolada da terra através de uma resistência de 1 mega-ohm. Os sinais da voltagem e corrente transitória foram medidos e gravados com um osciloscópio de duplo canal com gravação digital.

Durante o processo de usinagem, ocorreram descargas elétricas entre o cavaco e superfícies da peça-obra recém-formadas e a ferramenta, próximo da aresta de corte. Essas descargas geralmente da peça-obra de MDF (cátodo) para a ferramenta (ânodo) são sempre compostas de um grande número de pequenas descargas em vários pontos, que resultam num efeito de usinagem através de descargas elétricas (eletro-erosão) nas superfícies da ferramenta.

Experimentos anteriores mostraram evidências de temperaturas extremamente altas na aresta de corte. Estas evidências incluem a evaporação de matéria da peça-obra de madeira, e subsequente condensação sobre a ferramenta próxima à aresta de corte, deformação plástica do material da ferramenta e efeitos de fusão nas superfícies da ferramenta.

*Os autores concluem que uma combinação de uma ação química e eletro-erosão pode ajudar a explicar as reações de alta temperatura e a morfologia de alta temperatura nas superfícies da ferramenta de corte.*

Entretanto, também ocorrem voltagens e correntes em sentido contrário ou descargas em sentido contrário, da ferramenta para a peça obra de MDF. As correntes em sentido contrário ocorrem simultaneamente com as descargas eletrostáticas internas na peça obra de MDF.

A variação da voltagem em forma de pulso, no medidor de campo elétrico, indica uma gradual acumulação de cargas, seguida por uma súbita descarga na zona de corte da peça-obra, próxima à aresta de corte. A extrapolação das curvas de calibração indica que o potencial da carga acumulada no dielétrico (MDF) atingiu milhares de volts, sendo que as descargas do campo elétrico no MDF ocorrem diversas vezes por segundo.

O fluxo de elétrons de um material para o outro gera calor na interface; além disso podem-se formar ions reativos nas superfícies da ferramenta. A difusão de moléculas / átomos aumentará com o fluxo de elétrons e com a corrente e

voltagem em sentido oposto entre a peça-obra e a ferramenta. O fenômeno da eletro-erosão entre a peça-obra e a ferramenta irá aumentar os efeitos já mencionados.

O processo de usinagem por eletro-erosão envolve temperaturas muito altas e descargas elétricas, entre a peça-obra e um eletrodo, com remoção de material de ambas as partes. Os elétrons (-) e os íons (+) proporcionam a principal fonte de fornecimento de energia às superfícies do cátodo e do ânodo, que, por consequência, causam as altas temperaturas.

*Os autores afirmam que o desgaste das ferramentas, associado com a alta temperatura, na usinagem do MDF e outros produtos de madeira seca, pode ser eletroquímico, mas provavelmente a eletro-erosão seja o principal fator do mecanismo básico do desgaste das ferramentas, na usinagem de materiais dielétricos.*

## **2.6- Pesquisa sobre o uso de ferramentas de materiais não convencionais, que podem ser usados na usinagem da madeira**

TANAKA et alii, (1986) -Trataram do desempenho dos materiais cermet (TiC, TiN), cerâmica ( $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$  e  $Al_2O_3$ ), CBN (nitreto de boro cúbico) e diamante artificial, usando-os como ferramenta de corte de madeira aglomerada.

Nesse trabalho, analisou-se o desempenho desses materiais, comparando-os com o desempenho do metal duro através do desgaste, da força de corte e do ruído de usinagem, no torneamento do aglomerado de madeira.

Foram realizados experimentos num torno para madeira, a 800 rpm. A usinagem foi realizada em círculos concêntricos com 3 mm de largura, afastados radialmente de 10 mm. As velocidades de corte variaram de 8,8 m/s até 11,3 m/s.

No início do ensaio, a velocidade de desgaste da ferramenta era alta, mas, após um comprimento de corte de aproximadamente 5 mm, a velocidade de desgaste diminuiu bastante.

A força principal e a força de avanço aumentaram rapidamente até 5 km de percurso de corte para o metal duro, cermet e materiais cerâmicos; a partir desse ponto (5km), elas aumentaram lentamente até o fim do corte. Para os materiais CBN e diamante, o aumento das forças de corte foi bem lento, desde o início até o fim do ensaio.

O nível de ruído, no torneamento para todos os materiais ensaiados, aumentou com o decorrer do corte. Os níveis de ruídos gerados por todos os materiais foram similares quando a ferramenta estava afiada. O nível de ruído aumentou, à medida que superfície de folga das ferramentas se desgastou. O nível de ruído foi similar, para níveis de desgaste da ferramenta similares, independentemente do tipo de material da ferramenta.

*Os autores afirmam que o valor do desgaste, tanto na superfície de saída como na superfície de folga, para iguais percursos de corte, foi maior na ferramenta cerâmica com zircônio e menor para a ferramenta cerâmica sem zircônio. A ferramenta de cermet teve desgaste similar à ferramenta de metal duro, sendo que as ferramentas de CBN e diamante artificial apresentaram o menor desgaste.*

Existiu uma boa correspondência entre os valores dos desgastes, as forças de corte e nível de ruído. Portanto, tanto o ruído gerado, como as forças de corte podem ser usados como elemento de monitoramento do desgaste da ferramenta.

WESTKÄMPER, E., FUSS, E., (1993)- Investigaram o fresamento com alta velocidade da madeira e de seus compostos, com a finalidade de verificar se existem vantagens técnicas e econômicas de aumentar a velocidade de corte e a velocidade de avanço usando diamante poli-cristalino como material de ferramenta.

Os ensaios foram realizados com ferramentas de diamante poli-cristalino e o metal duro K 05 (92% WC, 2% TiC+Tac, 6%Co), em operações de fresamento periférico da face lateral de placas de aglomerado de madeira de 19 mm de espessura, revestido numa das faces com papel decorativo, impregnado com

um filme de resina de melamina e em ensaios de fresamento frontal, usando-se placas de MDF de padrão comercial não revestido, de 12 mm de espessura.

A determinação do desgaste foi realizada por métodos diferentes, um para a fresa de corte periférico e outro para a fresa de corte frontal. Nos testes foi usada uma fresa de 180 mm de diâmetro, para o corte periférico, sendo os ângulos da cunha de corte,  $\alpha$  7°,  $\beta$  70°,  $\gamma$  13° e o ângulo de inclinação axial, de 15°, e isso não foi modificado durante os testes.

Para a fresa de corte periférico, mediu-se o desgaste da aresta de corte, no plano da superfície de saída e construiu-se um gráfico do desgaste contra o percurso usinado. Para a fresa frontal, que tinha 24 mm de diâmetro, o desgaste foi avaliado óticamente, visto que nessas arestas não existe uma segunda aresta de referência.

#### **Resultados do fresamento periférico-**

Os ensaios com o diamante poli-cristalino foram realizados com as velocidades de corte de 60, 120 e 160 m/s, não ocorrendo alteração da qualidade da aresta gerada na peça-obra devido à variação da velocidade. Nos ensaios, aumentou-se o ângulo  $\beta$ , diminuindo-se o ângulo  $\alpha$ . Em consequência, foram aumentados os defeitos da aresta (quina) da peça-obra.

Com ângulo de cunha  $\beta$ , de 72,5°, a ferramenta desgastou mais lentamente, de tal forma que, usando-se como critério de vida a qualidade da aresta resultante da usinagem de com  $S_{AR}=1 \text{ mm}^2 / \text{m}^*$ , o percurso de avanço usinado aumentou em 100 m .

Com a finalidade de comparar economicamente, também foram realizados testes de vida com o metal duro K 05. O percurso de usinagem com o metal duro foi bastante curto. Com a velocidade de 60 m/s, o percurso foi de 20 m, e com a velocidade de 120 m/s foi de 11 m para o mesmo valor de  $S_{AR}^*$ . O desgaste da fresa de diamante poli-cristalino também aumentou com o aumento da velocidade. A ferramenta de diamante poli-cristalino com ângulo de cunha maior sofreu um desgaste menor em todas as velocidades ensaiadas.

**Resultados do fresamento frontal-** Também nesse caso é importante um critério para determinar a operação econômica, para um percurso usinado. Entretanto, é bastante difícil estabelecer-se um critério para a vida da

ferramenta no fresamento frontal, usinando-se chapas de MDF não revestidas, nas quais é difícil de serem detectadas falhas na aresta usinada.

Foram mostrados, a diversas pessoas, corpos de prova usinados com qualidade variável e, baseando-se no resultado destas inspeções, estabeleceu-se, para critério de vida, uma qualidade de aresta de  $S_{AR} = 1,2 \text{ mm}^2/\text{m}^*$ . Nos ensaios realizados, foram investigados a influência da rotação (velocidade de corte), avanço por dente e geometria da aresta de corte.

Amostras ao acaso de peças-obras usinadas mostraram que avanços maiores por dente e velocidades de corte mais elevadas resultam num ligeiro decréscimo na qualidade da aresta usinada do corpo de prova. Testes com ângulos de cunhas diferentes mostraram que o aumento do ângulo da cunha não produz redução notável na qualidade inicial.

Os resultados de ensaios com ângulo de cunha constante mostraram que quanto maior for o avanço por dente, pior é a qualidade inicial da aresta usinada mas, em contrapartida, tem-se um crescimento menos íngreme de  $S_{AR}^*$ , em função do percurso de avanço.

A influência da velocidade de corte foi pequena, comparada com os testes do metal duro. A rotação foi aumentada de 18.000 rpm para 55.000 rpm, isto é, foi aumentada 3X, com a ferramenta de diamante poli-cristalino, e a qualidade  $S_{AR}$  decresceu de  $0,11 \text{ mm}^2/\text{m}^*$ , independentemente do percurso de avanço.

As medidas de desgaste das arestas de corte correlacionam-se muito bem com os resultados da vida da ferramenta e com a qualidade da aresta gerada na peça- obra.

De modo geral, o desgaste da superfície de folga da ferramenta, que atrita a região média da espessura do corpo de prova, foi a mesma daquela da região da camada superficial.

No caso do metal duro, o desgaste da aresta de corte, na região correspondente à superfície da chapa do MDF, depende muito da rotação da ferramenta. A influência do avanço por dente foi pequena. De maneira geral, o desgaste da aresta de diamante poli-cristalino foi bem menor e foi também menos dependente dos parâmetros de usinagem.

*Os autores concluíram que as forças de corte aumentaram ligeiramente com o aumento da rotação; entretanto, essas forças não levam em consideração o trabalho necessário para acelerar os cavacos da peça-obra à velocidade de corte. As forças de corte, na usinagem com ferramentas de diamante poli-cristalino, foram sempre um pouco maiores do que com as ferramentas de metal duro K 05 ( $\beta= 45^\circ$ ,  $\alpha =26^\circ$ ,  $\gamma =19^\circ$ ). A razão desse fato certamente está na geometria da aresta de corte da ferramenta de diamante poli-cristalino, que é menos favorável ao processo de corte. As forças de corte aumentaram a uma velocidade menor, à medida que o percurso de corte foi aumentando. No fim da vida das ferramentas, nas condições dos parâmetros de usinagem que os testes foram realizados, o aumento nas forças de corte foram 30%, com a ferramenta de metal duro e 15%, no caso da ferramenta e diamante poli-cristalino.*

---

\*  $S_{AR}$  foi criado no Instituto de Fabricação e de Máquinas ferramentas da Universidade Técnica de Braunschweig para avaliar a qualidade de uma aresta usinada numa chapa de madeira aglomerada revestida com uma chapa decorativa. Salje e Drückhammer (1984).

### 3 - MATERIAIS E MÉTODOS.

Para realizar os experimentos foram necessários os seguintes equipamentos e as seguintes metodologias:

**3.1-** Porta-ferramentas com doze alojamentos axiais para as ferramentas, com forma de fresa frontal, figura 3.1. As ferramentas são presas radialmente em seus alojamentos, por um sistema de abraçadeira múltipla e travadas por baixo para evitar o giro das mesmas e manter a referência para medidas futuras. As principais dimensões desse porta-ferramentas são: diâmetro externo 180 mm, altura 42 mm, furo de acoplamento 30 mm.



Figura 3.1- Fotografia do porta-ferramentas.



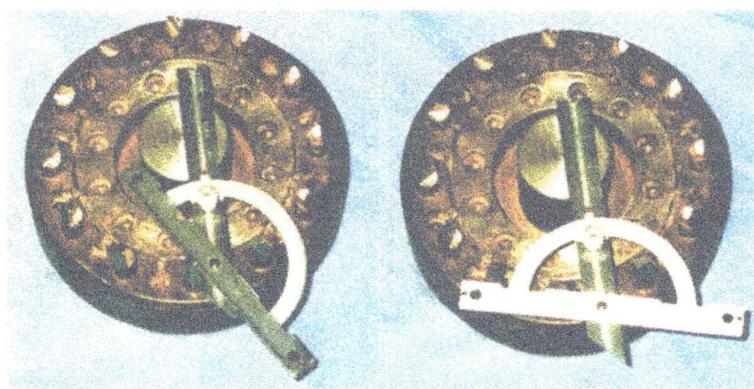


Figura 3.3- Fotografias mostrando o processo de medida dos ângulos de saída e de folga das ferramentas.

**3.2-** Uma tupa (figura 3.4) para acionar o porta-ferramentas, com motor elétrico de 5 c.v. com rotações de 3130, 4320, 5320 e 6220 rpm no fuso da máquina, obtidas através de dois pares de polias duplas.

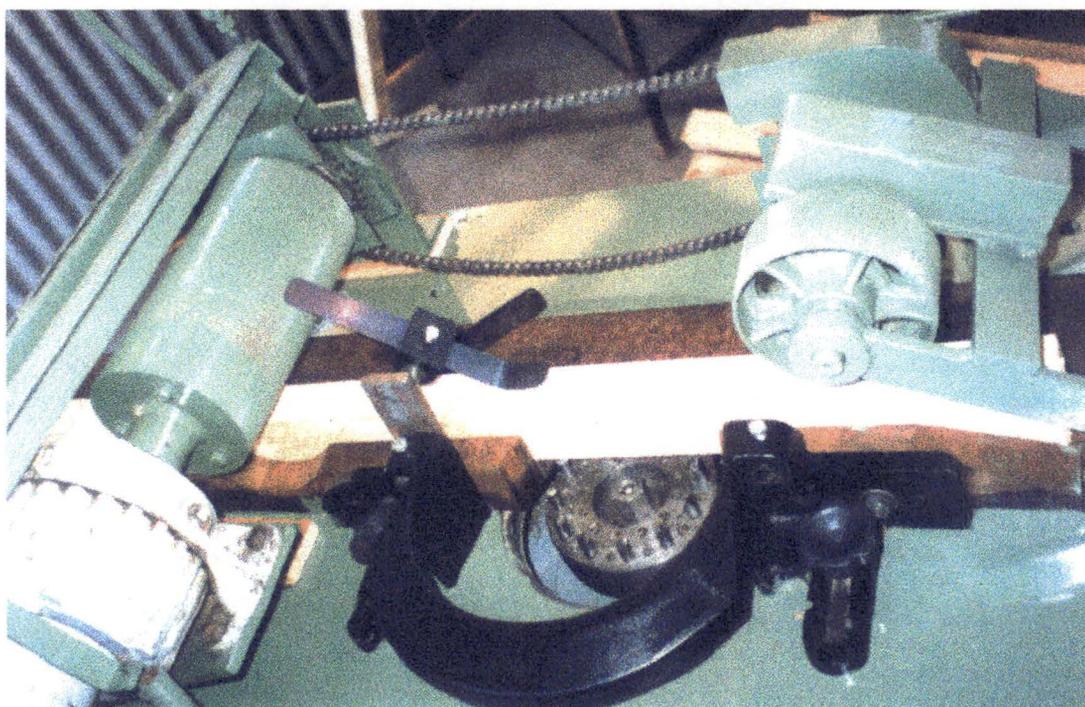


Figura 3.4- Fotografia mostrando a tupa com o sistema de avanço.

### 3.3- Sistema de avanço dos corpos de prova de madeira.

Este sistema é constituído por um moto-variador de velocidade marca Yok, modelo 20 V6, que permite variação contínua de velocidades através de um redutor PIV de 48 a 287 rpm, equipado com um motor de 0,75 c.v. a 900 rpm.

Uma vez que as rotações de saída desse redutor de velocidades ainda eram elevadas, foram colocados dois pares de engrenagens em sua saída, com relação de redução total de 1:3,6. Assim, as rotações finais disponíveis ficaram entre 13 e 80 rpm.

Este sistema de acionamento é ligado ao tambor de avanço ranhurado de 164 mm de diâmetro; esse tambor encontra-se acoplado a um outro tambor de avanço, afastado cerca de 700 mm, localizado após as ferramentas de corte, ambos ligados entre si por uma transmissão por corrente, com relação de transmissão 1:1, para garantir o avanço dos corpos de prova, quando estes deixam o primeiro tambor, figura 3.4. Estes tambores têm dupla função: além de promover o avanço dos corpos de prova, mantêm os mesmos pressionados contra a mesa da tupia.

### 3.4- Sistema para medir a rotação do fuso da tupia.

Para medir a rotação da máquina durante o processo de usinagem foi usado um “Encoder”; adaptando-se, na extremidade inferior do fuso da tupia, um disco com 30 canais e um sistema de captação de impulsos fotoelétricos (figura 3.5). Os pulsos elétricos provenientes desse sistema eram amplificados e enviados a um freqüencímetro digital, que permitiu a leitura da rotação da tupia durante o processo de usinagem.



Figura 3.5- Fotografia mostrando o disco do “Encoder” e o sensor foto-elétrico.

Se fosse usado apenas um canal no disco, para obter-se **rpm**, o resultado deveria ser multiplicado por 60. Como o disco tem 30 canais, são gerados 30 pulsos elétricos por volta do disco; portanto, o freqüencímetro indicará a metade do número de rotações por minuto da tupa. Foram usados 30 canais, e não 60 canais, devido a limitações do número permissível de pulsos por segundo do amplificador de sinais.

Dados do freqüencímetro: marca Redael, tipo LFC 150, fabricado por SMD Industria Eletro-Eletromecânica Ltda São Paulo, Capital.

**3.5-** Afiadora universal de ferramentas marca MAAC, de origem Francesa, com sistema de refrigeração por água, para afiar as ferramentas com os ângulos desejados, a qual pode ser observada na figura 3.6.

**3.6-** Um divisor simples, pertencente a uma plaina limadora marca "Strigon", que foi adaptada à mesa da afiadora de ferramentas, a fim de possibilitar o posicionamento e divisão exata das ferramentas entre si no ato de afiação das mesmas, figura 3.6.

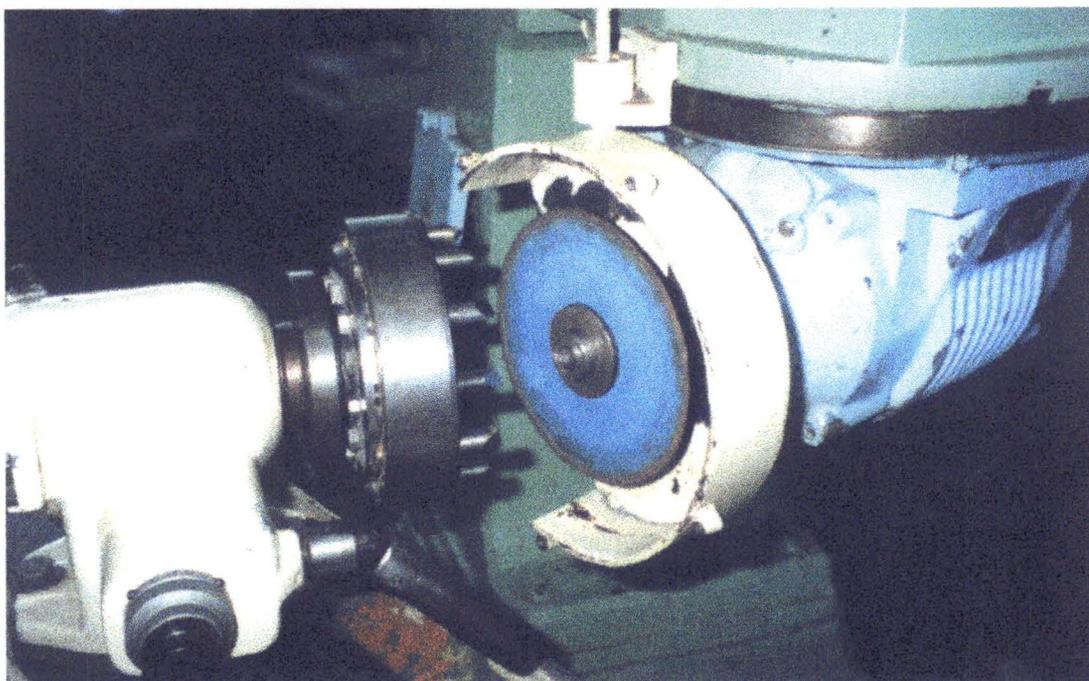


Figura 3.6- Fotografia, mostrando a afiadora de ferramentas e o divisor montado sobre a mesa da afiadora.

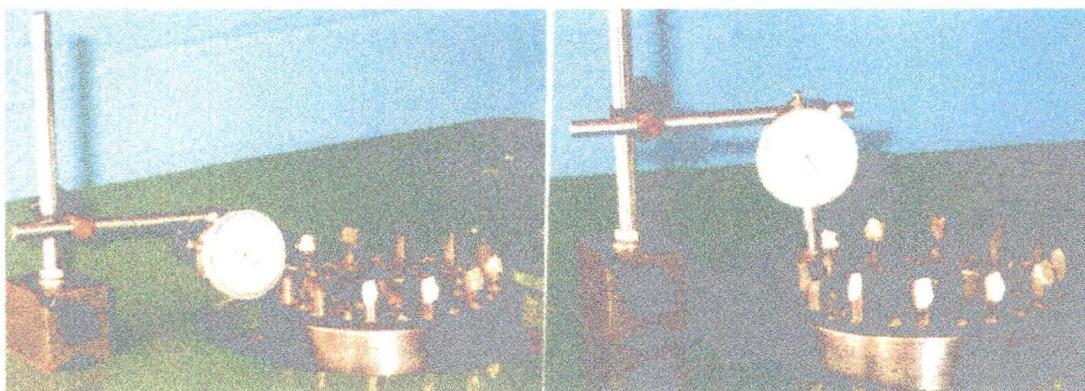


Figura 3.7- Fotografias mostrando a verificação da concentricidade das arestas de corte das ferramentas e da variação em altura das pontas das ferramentas.

**3.7-** Relógio comparador centesimal Mitutoyo fixado a um suporte com base magnética, para conferir a concentricidade das ferramentas e também para verificar se no giro do porta-ferramentas, as alturas das ferramentas são constante, o que é realizado montando-se o porta-ferramentas na tupa. figura 3.7.

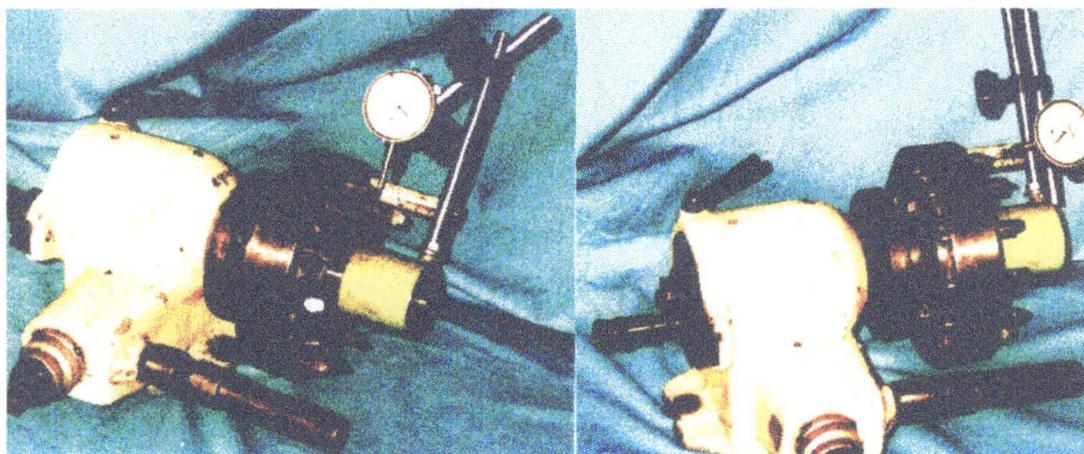


Figura 3.8 - Fotografias mostrando o sistema de controle das medidas durante a afiação das ferramentas.

**3.8-** Dispositivo de medida giratório, usando um relógio comparador, sustentado e guiado por um prolongamento do eixo do divisor, onde é fixado o porta-ferramentas para a afiação, possibilitando o controle do raio da

trajetória das pontas das ferramentas (concentricidade) e também de suas alturas, durante o processo de afiação, figura 3.8.

**3.9-** Uma mesa de coordenadas X e Y, com tambores micrométricos, pertencentes a um projetor de perfis marca Nikon, que foi usada para sustentar o porta-ferramentas para as medições serem realizadas, figura 3.9.

**3.10-** Mesa de precisão de granito marca "Rahn", inspection grade, 760 x 510 mm, para apoiar a mesa de coordenadas e suportes dos relógios comparadores para realizar as medições.

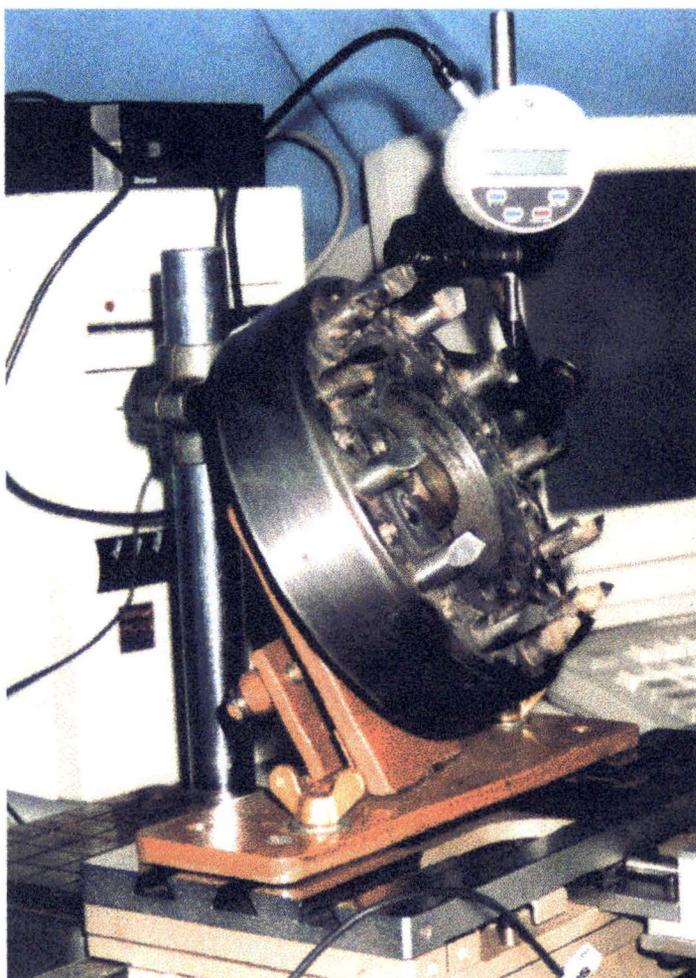


Figura 3.9 - Fotografia mostrando a mesa de coordenadas, o suporte do porta-ferramentas junto com o porta-ferramentas, o relógio milesimal e o sistema de aquisição de dados.

**3.11-** Relógios comparadores eletrônicos digitais, um, marca Starrett, com resolução de 0,005 mm para medir o deslocamento horizontal (cota  $x$ ) da mesa de coordenadas e outro, milésimal, marca Mitutoyo, equipado com ponta de 0,5 mm de raio para medir deslocamento na vertical (cota  $z$ ), permitindo o levantamento do perfil, a cunha cortante da ferramenta e seu desgaste, (figura 3.10).

Os procedimentos experimentais para as medidas dos desgaste foram os seguintes:

1° - Alinhamento da superfície de folga das ferramentas, segundo a direção do deslocamento horizontal, cota  $x$  (transversal), com auxílio do comparador Mitutoyo, que era colocado na direção da cota horizontal  $y$  (longitudinal).

2° - Alinhamento da aresta de corte segundo o plano horizontal, paralelo à mesa de coordenadas, variando a cota  $x$ , desta vez com o relógio Mitutoyo posicionado na vertical, como é mostrado na figura 3.9.

3° - Determinação da cota  $x$  igual a zero. Para obter-se a cota  $x$  igual a zero, efetuava-se o deslocamento transversal da mesa de coordenadas cota  $x$  até a coincidência do centro da esfera do apalpador do relógio de medida vertical cota  $z$  (Mitutoyo), com a ponta da ferramenta. Essa operação era efetuada com auxílio de uma lupa de aumento 10 X. Nessa posição, o relógio da cota  $x$  era zerado.

4° - Após a determinação da cota  $x$  igual a zero, deslocava-se a mesa de coordenadas até a posição de início de medida das cotas  $z$  ( $x = 3,0$  mm para o stellite e  $x = 3,5$  mm para o AISI tipo D-6). Nestas posições, era zerado o relógio de medida vertical, cota  $z$ .

5° - Após a zeragem do dois medidores de coordenadas, passava-se a coletar simultaneamente as cotas  $x$  e  $z$ , apertando-se um pequeno botão existente no relógio comparador Starrett (cota  $x$ ). Após cada coleta de  $x$  e  $z$ , recuava-se 0,1 mm a mesa de coordenadas na direção  $x$ , através do fuso micrométrico e, assim, sucessivamente, até a posição zero.

6° - Os dados colhidos eram gravados no arquivo seqüencialmente sob a forma:

# 1 3.000 mm	# 1 2.800 mm
# 2 0.000 mm	# 2 -0.002 mm
# 1 2.900 mm	.....
# 2 0.000 mm	

Sendo # 1 o relógio da coordenada  $x$  e # 2 o relógio da coordenada  $z$ , como é impraticável trabalhar com os dados sob esta forma, os dados de cada série de medidas, foram reordenados por um outro programa feito em programação Pascal, ficando sob a forma:

X	Z
3.000	0.000
2.900	0.000
2.800	- 0.002
.....	.....

Os dados, após ordenados, foram então introduzidos no programa de planilha eletrônica EXCELL e são apresentados no apêndice. Cada conjunto de dados X e Z, apresentados nessas planilhas, possui um código de identificação. Por ex. 87k01s3, que significa (87) km de usinagem, dente (01), madeira seca (s) e (3) 3120 rpm. Se o código fosse 48k03v6, deveria ser identificado como 48 km de usinagem, dente (03), madeira verde (v) e (6) 6220 rpm. Os dentes de material stellite tinham os números 1, 2, 6, 7, 8 e 12, enquanto que os dentes de aço AISI tipo D-6 tinham os números 3, 4, 5, 9, 10 e 11.

**3.12-** Multiplexador de dados modelo 741, marca Starrett com programa de aquisição de dados, que permite coletar dados diretamente dos relógios de medição e gravá-los em arquivo de um Microcomputador (figura 3.10).

**3.13-** Um microcomputador 486 DX2 (figura 3.10).

**3.14-** Uma impressora colorida Hewlett Packard Deskjet 560C.

**3.15-** Microscópio Binocular de luz refletida com objetiva de aumento contínuo modelo CITOVAL 2, para observar as superfícies recém-retificadas e as superfícies desgastadas, junto com sistema de fotomicrografia para documentar (fotografar com amplificação adequada) as cunhas de corte e as superfícies desgastadas das ferramentas (figura 3.11).

Foram tomadas: fotografias perpendicularmente às superfícies de folga, a fim de evidenciar o desgaste das arestas principais das ferramentas e fotografias perpendicularmente à superfície de folga frontal, para mostrar o arredondamento das arestas principais de corte.



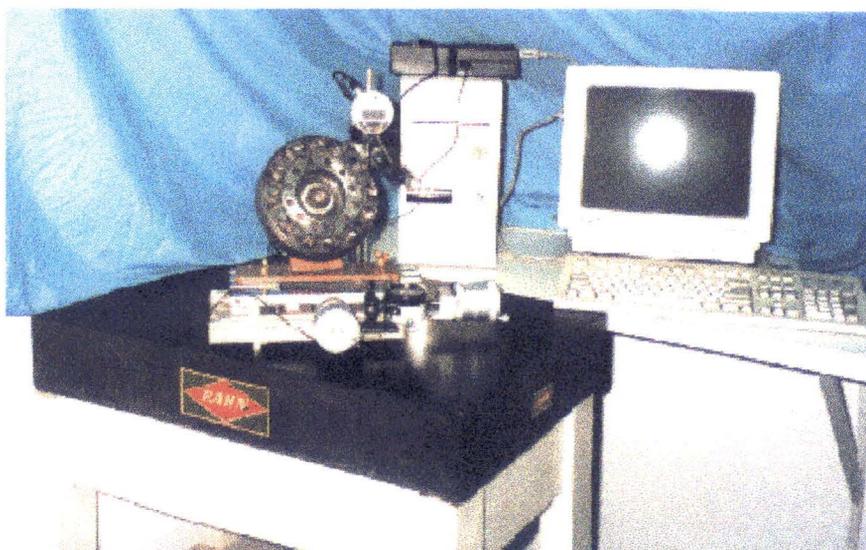


Figura 3.10- Fotografia mostrando: o computador, o sistema de medição a mesa de coordenadas, a mesa de precisão e o porta-ferramentas.

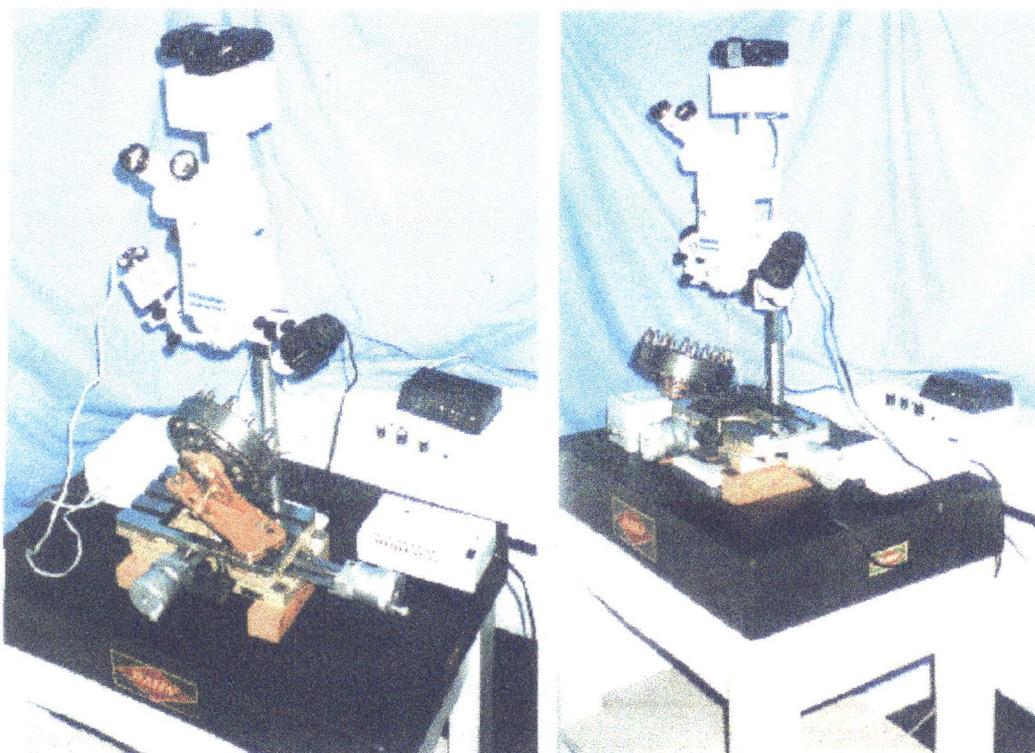


Figura 3.11- Fotografias mostrando o sistema de foto das ferramentas via microscópio.

Todas as fotografias foram tiradas usando a ampliação 25X do microscópio. No início, eram tiradas também fotografias da escala de um paquímetro para conferir o fator de ampliação.

As fotografias tiradas, uma para cada série de ensaios, encontram-se no apêndice.

### 3.16- Materiais usados:

Tabela 3.1- Composição química dos materiais de ferramentas ensaiados.

Material	Composição química percentual											
	Co	C	Cr	W	V	Mn	P	S	Si	Ni	Mo	Fe
AISI D-6		2,08	11,98	1,12	0,14	0,56	0,012	0,016	0,27			
Stellite 1	52,5	2,12	28,5	12,2		0,27			1,05	1,59	0,65	1,70

A análise química do aço AISI D-6 foi realizado no “Departamento de Materiais da E.E.S.C”., temperados e revenidos à dureza de 61 Rc pela firma “BRASIMET”-S. Paulo. O stellite 1 foi fornecido pela firma “ENGEMASA” (Engenharia e Materiais S.A.)- São Carlos S.P., com dureza de 55 Rc, com certificado de composição química e dureza.

As durezas destas ferramentas foram conferidas no “Laboratório de Materiais” da UNESP de Bauru.

A escolha dos materiais stellite 1 e aço AISI tipo D-6 foi motivada pelo fato desses materiais terem a possibilidade de um bom desempenho na usinagem de madeiras ácidas.

Nos ensaios realizados por Gottlob & Ruffino (1995a), na comparação de desempenho de quatro materiais de ferramentas, entre eles o aço AISI tipo D-6, na usinagem das madeiras *Pinus Elliottii* e do Eucalipto *Grandis*. O aço AISI tipo D-6 apresentou um bom desempenho, equivalente e até melhor que o aço rápido; isso, aliado ao fato de ser bem mais barato e de não figurar em pesquisas publicadas sobre seu desempenho na usinagem da madeira, motivou a sua escolha.

Sobre o material stellite 1 existem algumas publicações sobre seu uso e desempenho, em relação a outros materiais de ferramenta, dos quais podemos citar os trabalhos de Kirbach & Bonac (1982 b), Bayoumy & Bayley (1985 b), Sales (1985), Sales (1990).

Os materiais stellite 1 e aço AISI tipo D-6 podem ser usado em forma de pastilhas e soldados por brasagem num porta-ferramentas. O material stellite 1 ainda pode ser depositado sob a forma de depósitos de solda nas pontas dos dentes das serras.

A perda de massa em testes de corrosão em ( $\text{mg}/\text{dm}^2/\text{dia}$ ) do stellite 1 em solução de ácido clorídrico a 20 %, à temperatura ambiente é 283; do aço rápido 18/8/3 é 319; do aço inoxidável AISI 316 é 319 e em solução de ácido acético a 20%, à temperatura ambiente é 3,9 e do aço inoxidável AISI 316 é 1,3 .

A condutividade térmica do stellite 1 é  $0,035 \text{ cal}/(\text{cm s } ^\circ\text{C})$ , do aço rápido é  $0,05$  a  $0,06 \text{ cal}/(\text{cm s } ^\circ\text{C})$ , do aço 4340 é  $0,09 \text{ cal}/(\text{cm s } ^\circ\text{C})$ .

Não foi possível encontrar-se a condutividade térmica do aço AISI tipo D-6, mas pelos exemplos acima, sua condutividade térmica deve estar compreendida entre  $0,06$  a  $0,09 \text{ cal}/(\text{cm s } ^\circ\text{C})$ ; portanto ele conduz melhor o calor que o stellite 1.

**3.17-** Rebolo diamantado com 150 mm de diâmetro de granulação fina para afiação de acabamento das ferramentas.

**3.18-** Aparelho para medir umidade da madeira marca Digisystem, nacional, modelo DL 822, faixa de medição 8% a 60 % em base seca com capacidade de resolução de 0,1%, visor de cristal líquido com 3 dígitos, com manopla com quatro eletrodos, fixados em base de acrílico.

As umidades dos corpos de prova de madeira (vigotas), foram medidas após o processamento, em cinco pontos, ao longo do eixo longitudinal de cada corpo de prova. As umidades de um lote de corpos de prova, por exemplo de 25 vigotas, eram medidas, e seus valores digitados diretamente num programa estatístico, de uma calculadora. Terminado o processo de medida da umidade, a calculadora fornecia a umidade média do conjunto de medidas e seu desvio padrão.

**3.19-** Vigotas de madeiras para ensaio de desgaste das ferramentas, desdobradas nas dimensões médias de: 70 mm de altura x 52 mm de largura x 2120 mm de comprimento.

Antes de iniciar o processamento da madeira para um dado percurso de corte, separava-se um certo número de corpos de prova e cada corpo de prova era passado um certo número de vezes pela máquina. A somatória do número

de passadas de corpos de prova pela tupa corresponde a um percurso de corte previamente calculado.

**Exemplo de cálculo do percurso de corte a partir dos corpos de prova e determinação do número de passadas dos corpos de prova a fim de determinar um percurso de corte pré-determinado.**

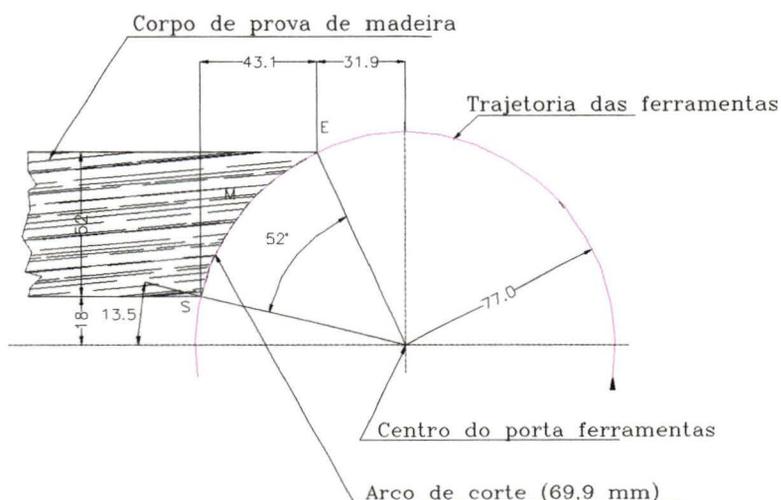


Figura 3.12- Desenho esquemático da interação entre as ferramentas e o corpo de prova.

Tome-se como exemplo um corpo de prova que possua um comprimento de 2030 mm. O número de cortes, que um dente da ferramenta realizará, na passada desse corpo de prova, é calculado, dividindo-se o comprimento 2030 pelo avanço por dente (0,3 mm) e pelo número de dentes (12), resultando desses cálculos, 564 cortes. Multiplicando-se esse valor pelo comprimento do arco envolvido (0,0699 m), obteremos o percurso de corte de um dente, que no caso é 39,42 m, numa única passada de um corpo de prova. Para um percurso de corte de 1 quilômetro de corte, deveremos dividir 1000 m por 39,42m. A conta indica que deveremos passar 25 vezes o corpo de prova.

Considerando a figura 3.12, temos os pontos E (entrada), M (médio) e S (saída) de corte das ferramentas. Calculou-se a espessura do cavaco para esses três pontos. Para o ponto E, a espessura calculada foi 0,124 mm, para o ponto M, foi 0,231 mm e para o ponto S foi de 0,292 mm.

O processamento da madeira foi realizado por meio de duas pessoas: a primeira, alimentando a tupia com os corpos de prova e a segunda, retirando os corpos de prova da tupia, devolvendo-os à primeira pessoa para realimentar a máquina.

Para evitar interrupção no processo de corte, trabalhou-se sempre com dois corpos de prova simultaneamente. Enquanto um deles estava sendo processado, o segundo era movido da posição de saída de processamento para a posição de início do processamento.

A percursos determinados de comprimento de corte foram feitas medidas dos desgastes das ferramentas. Como o desgaste inicial é mais rápido, pois as ferramentas encontram-se mais ponteagudas (recém-afiadas), foram considerados intervalos de percursos de corte menores. Conclui-se que à medida que aumenta o desgaste das ferramentas, cresce a superfície de sua ponta; conseqüentemente, diminui a velocidade de desgaste, o que permite aumentar os intervalos de percurso de corte entre as medidas dos desgastes.

### 3.20- Características físicas da madeira Eucalipto Grandis.

Densidade aparente da madeira saturada com 30 % de umidade (0,98 g/cm<sup>3</sup>).

Densidade aparente da madeira no estado seca com 12% de umidade (0,63 g/cm<sup>3</sup>).

Resistência na compressão paralela da madeira no estado saturada com 30 % de umidade 335 daN/cm<sup>2</sup>.

Resistência na compressão paralela da madeira no estado seca com 12 % de umidade 401 daN/cm<sup>2</sup>.

Módulo de elasticidade na compressão paralela da madeira no estado saturada com 30 % de umidade 125.155 daN/cm<sup>2</sup>.

Módulo de elasticidade na compressão paralela da madeira no estado seca com 12 % de umidade 126.967 daN/cm<sup>2</sup>.

Dureza da madeira paralela às fibras no estado saturada com 30 % de umidade 403 daN/cm<sup>2</sup>.\*

Resistência ao cisalhamento da madeira no estado saturada com 30 % de umidade 96 daN/cm<sup>2</sup>.

---

\* A dureza da madeira foi medida pelo processo Janka, que consiste em medir o esforço necessário para a penetração paralela e normal às fibras dos corpos de prova de madeira, de uma semi-esfera de aço de 1 cm<sup>2</sup>, de secção diametral até a profundidade igual ao raio, no tempo de 1 minuto.

Resistência ao cisalhamento da madeira no estado seca com 12 % de umidade 116 daN/cm<sup>2</sup>.

Dureza normal às fibras da madeira no estado saturada com 30 % de umidade 455 daN/cm<sup>2</sup>.

Dureza normal às fibras da madeira no estado seca com 12 % de umidade 484 daN/cm<sup>2</sup>.

Os valores destas propriedades foram extraídas da dissertação de mestrado de Nogueira (1991).

**3.21- Características químicas da madeira Eucalipto Grandis, que influem na vida das ferramentas.**

Como foi visto na revisão bibliográfica, os fatores químicos das madeiras que mais influem na vida das ferramentas é sua acidez e seu teor de silício.

A acidez, responsável pela corrosão das ferramentas e o teor de silício, que aumenta o desgaste por abrasão das mesmas, durante o processo de usinagem da madeira, foram determinados respectivamente no laboratório de química do I.Q.S.C. - U.S.P. e no laboratório de G.Q.A.T.P. - U.S.P. do campus de São Carlos.

A acidez (pH) foi determinada segundo a norma P23-1994 do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, analisando-se oito amostras de serragem da madeira em pauta, sendo quatro de madeira seca, tendo-se como resultados 3,89 - 3,95 - 4,05 - 3,99, com valor médio de 3,97 e quatro amostras de serragem da madeira verde com pHs de 3,75 - 3,88 - 3,56 - 3,92, com valor médio de 3,78. O pH da água empregada na análise das amostras em forma de serragem da madeira foi de 5,58.

O teor de sílica e silicatos contido nas amostras de 0,200 g de serragem da madeira foram determinados pelo método de análise termo-gravimétrica (TGA) em equipamento da DuPont modelo V 5.1-2000 acoplado a uma Workstation TGA V5 DuPont. Os gráficos desses ensaios encontram-se nas páginas 259 e 260 do anexo.

As amostras foram submetidas a um incremento de temperatura de 10 °C/ min., com temperatura inicial ambiente e temperatura final de 600 °C sob um fluxo de ar de 200 ml / min.

Os resultados obtidos para a madeira seca foram os seguintes: resíduos de metais na forma de óxidos metálicos 2,293 % , teor de silicatos e sílica 0,023 %, determinados segundo a norma Tappi 245 Om-88.

Os resultados obtidos para a madeira verde foram: resíduos de metais na forma de óxidos metálicos 2,233 % , teor de silicatos e sílica 0,034 %, determinados segundo a norma Tappi 245 Om-88.

Segundo Sales, C. (1990), as madeiras com teor de sílica inferiores a 0,05 % , são consideradas madeiras não abrasivas.

**3.22- Condições de usinagem usadas nos ensaios de desgaste dos materiais das ferramentas.**

A profundidade de corte usada em todos os ensaios foi aproximadamente de 1,7 mm. A profundidade de corte é facilmente regulada através de um sistema de manivela existente na tupa, que permite subir e descer o fuso da máquina. A profundidade de corte não tem influência na velocidade de desgaste da cunha da ferramenta; influi, apenas, na quantidade de madeira usinada em cada passada do corpo de prova pela máquina.

O avanço por dente (profundidade de corte) escolhido foi de 0,3 mm, baseado em avanços usados nos trabalhos apresentados na revisão bibliográfica, nos valores usados nos processos de serramento, na potência disponível na máquina.

As pressões específicas de corte  $K_s$  do Eucalipto Grandis determinado em ensaios de laboratório \*\* com a velocidade de corte de 0,22 m/s, profundidade de corte de 0,3 mm, com ângulo de saída  $\gamma$  de 24 ° são: para a madeira verde com 27% de umidade 5,80 [daN/mm<sup>2</sup>]; para a madeira seca ao ar com 12,9% de umidade 7,81[daN/mm<sup>2</sup>] e para a madeira seca em estufa com 5,6% de umidade 8,90 [daN/mm<sup>2</sup>].

**3.23- Cálculo do tempo de avanço de um corpo de prova de dois metros de comprimento, para as diversas rotações (rpm) do fuso da tupa.**

---

\*\* Valores determinados pelo Prof. Dr. Marcos Tadeu Tiburcio Gonçalves do Departamento de Engenharia e Tecnologia Mecânica da Faculdade de Engenharia e Tecnologia Mecânica do campus da UNESP-Bauru.

Tomando como exemplo a rotação de 6220 rpm e o avanço escolhido de 0,3 mm por dente, temos:

$$6220 / 60 = 103,3 \text{ cps} \quad 103,3 \cdot 12 = 1239,6 \text{ cortes / s}$$

$$1239,6 \cdot 0,3 = 371,8 \text{ mm / s}$$

O tempo necessário para que um corpo de prova de 2m seja processado será:  $2000 / 371,8 = 5,38 \text{ s}$ .

Procedendo desta forma, para as demais rotações de ensaio, pode-se construir a tabela 3.2:

Tabela 3.2- Tempos para o avanço do corpo de prova de 2 m.

Rpm	3136	4320	5320	6220
Tempo para avanço de 2 m (s)	10,6	7,7	6,3	5,4
Veloc. de avanço (m/s)	0,19	0,26	0,32	0,37

### 3.24- Ajuste da velocidade de avanço dos corpos de prova.

Para o ajuste dessa velocidade, usou-se um corpo de prova de 2 m de comprimento, cronometrando-se o tempo de seu avanço e procedendo-se a correções na velocidade do redutor PIV, até obter-se o tempo calculado.

### 3.25- Cálculo dos desvios padrões e análise das regressões.

No tópico 4 são apresentadas: as tabelas dos resultados experimentais, os gráficos de desgaste em função do tempo de corte ou em função do percurso efetivo de corte e as equações de regressão de cada curva com o respectivo coeficiente de correlação.

Os cálculos dos desvios padrões sobre as regressões lineares foram realizados, baseados no cálculo da variância, pelas seguintes fórmulas:

$$S^2 = \frac{\sum (y_{\text{obs.}} - y_{\text{calc.}})^2}{n - p} = \frac{S_{yy} - (S_{xy})^2 / S_{xx}}{n - p}$$

sendo  $S_{xx} = \frac{\sum x^2 - (\sum x)^2}{n}$ ,  $S_{yy} = \frac{\sum y^2 - (\sum y)^2}{n}$  e  $S_{xy} = \frac{\sum xy - \sum x \cdot \sum y}{n}$

Sendo a equação da reta  $y = a + b \cdot x$ , na qual

$$b = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \quad \text{e} \quad a = \frac{\sum y}{n} - b \cdot \frac{\sum x}{n}$$

e na equação da variância,  $n$  é o número de elementos da amostra e  $p$  o número de coeficientes que estão sendo determinados a partir da amostra, no caso  $a$  e  $b$ .

A seguir, será apresentado um exemplo de cálculo do coeficiente da distribuição “F” de Snedecor, para comparação de duas variâncias, comparação essa aplicada às regressões.

Para um dado nível de significância, o valor calculado para “F” deve ser maior que o valor tabelado.

Tabela 3.3 - Disposição prática para a análise de variância

Fonte de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F
Devido a regressão	$b^2 \cdot S_{xx}$	1	$b^2 S_{xx}$ (1)	
Residual	$S_{yy} - b^2 \cdot S_{xx}$	n - 2	$S_R^2 = (S_{yy} - b^2)/(n-2)$ (2)	$F = (1)/(2)$
Total	$S_{yy}$	n - 1		

Tabela 3.4 - Exemplo de cálculo do coeficiente “F” aplicado ao ensaio de usinagem da madeira Eucalipto saturado de água, usando-se como material de ferramenta o stellite 1, à velocidade de 3136 rpm. Equação de regressão  $d = -2,38 + 4,215 \cdot \sqrt{t}$ , coeficiente de correlação  $r = 0,9979$ , desvio padrão  $s = 2,51$ .

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	$F_{calc.}$ calculado	$F_{tab.}$ $v_1=1, v_2=4$ 0,5 %
Devido a regressão	5.960,519	1	5965,52 (1)	$F_{calc.}=(1)/(2)=$	
Sobre a regressão	24,963	(n-2) 4	6,24 (2)	955	31,33
Total	5.985,482	(n-1) 5			

Como  $F_{calc.} \gg F_{tab.}$ , com o nível de significância de 0,5%, podemos afirmar, com 99 % de confiabilidade, que a equação de regressão analisada representa o fenômeno ensaiado.

Considerando o grande volume de cálculo necessário, para obter o desvio padrão  $s$  e o coeficiente  $F$ , desenvolveu-se um programa para a calculadora CASIO FX- 702P, a fim de realizar esses cálculos estatísticos.

### 3.26- Determinação das equações de regressão.

Para determinar as equações de regressão de cada série de ensaios, foi usado um software denominado “Anaregre”, desenvolvido em linguagem Basic, pelo Prof. Dr. José Armando Pacheco, do Departamento de Produção da E.E.S.C.U.S.P. que, através de mudança de variáveis, calcula os coeficientes das equações de regressão e seu respectivo coeficiente de correlação.

#### 4- RESULTADOS

Nas páginas que seguem, no início, são apresentadas as folhas de dados dos ensaios referentes à madeira saturada de água, realizados nas rotações de 3136, 4320 e 6220 rpm, seguidas pelas respectivas folhas de gráficos. A 6220 rpm foram realizadas duas séries de ensaios, a primeira, com umidade média de 32,8 % e a segunda, com umidade média de 41,3 %.

Os gráficos apresentados nas figuras 4.1 a 4.4 são relativos a todas as rotações, compreendendo também a rotação de 6220 rpm, dado esse obtido a partir da média das duas séries de dados, mencionados no parágrafo anterior.

Nos gráficos das figuras 4.5 e 4.8 estão representadas as duas séries de ensaios a 6220 rpm juntamente com as outras duas rotações.

Os gráficos das figuras 4.9 e 4.10 são relativos à vida das ferramentas na usinagem da madeira saturada de água, para um desgaste de 100 microns.

Após a figura 4.10, encontram-se as folhas de dados de desgaste das ferramentas na usinagem da madeira seca, seguidos das figuras com os gráficos de desgaste e vida.

Todos os valores dos desgastes registrados das folhas de dados mencionadas foram obtidos por cálculo da média aritmética dos desgastes entre as posições 0,4 a 1,4 mm, a partir da ponta da ferramenta. As tabelas de coleta de dados com avanço sobre a aresta de corte de décimo em décimo de milímetro, que permitiram o cálculo acima mencionado, encontram-se no apêndice deste trabalho.

Os gráficos das figuras 4.19 a 4.34 representam os perfis das arestas de corte, obtidos por cálculo da média entre todos os dentes das ferramentas do material stellite-1 ou AISI tipo D-6, para cada percurso de ensaio.

## FOLHA DE DADOS E DESGASTES DAS FERRAMENTAS

Rotação da fresa 3136 rpm

Tabela 4.1- Progressão dos desgastes, em microns-metro, em função do percurso de corte dos dentes da fresa, na usinagem da madeira de “Eucalipto Grandis” no estado saturado de água, desgastes esses medidos na região central das arestas de corte, entre as posições 0,4 a 1,4 mm do vértice.

Material das ferramentas aço AISI D-6						
	Percurso real de corte em km					
	0	8	18,7	32,1	48,2	64,3
<b>Tempo (min.)</b>	<b>0</b>	<b>63</b>	<b>147</b>	<b>252</b>	<b>379</b>	<b>505</b>
Dente N° 3	0,00	34,82	75,91	111,55	119,91	152,91
Dente N° 4	+0,36	42,73	79,18	107,00	121,82	155,91
Dente N° 5	+0,27	50,50	89,82	119,27	125,64	169,91
Dente N° 9	+0,09	53,45	107,09	138,36	151,73	182,27
Dente N°10	+0,09	45,09	106,64	142,82	157,82	195,55
Dente N°11	+0,09	49,18	98,36	126,82	133,73	185,36
Desgaste médio do aço AISI D-6	+0,15	45,96	92,83	124,30	135,11	173,65
Material das ferramentas stellite - 1						
	Percurso real de corte em km					
	0	8	18,7	32,1	48,2	64,3
<b>Tempo (min.)</b>	<b>0</b>	<b>63</b>	<b>147</b>	<b>252</b>	<b>379</b>	<b>505</b>
Dente N° 1	+0,18	24,55	35,73	60,18	82,55	101,82
Dente N° 2	0,00	33,55	46,55	79,18	74,18	88,36
Dente N° 6	-0,18	23,82	54,45	59,55	72,82	86,00
Dente N° 7	+0,09	22,09	39,73	66,82	85,64	109,64
Dente N° 8	+0,36	35,27	58,55	66,45	75,91	81,09
Dente N° 12	-0,09	28,00	48,36	66,45	80,36	96,27
Desgaste médio do stellite -1	+0,06	27,88	47,23	66,44	78,58	93,86
Comprimento e largura dos corpos de prova.(mm)		2029,8 52,0	2028,5 50,7	2022,7 49,8	2031,5 52,9	2030,4 53,1
N° de processamentos		205	280	360	408	401
Umidade média dos corpos de prova %		39,9	33,06	38,0	34,8	43,2

Ângulo de cunha das ferramentas  $\beta = 48^\circ 30'$

Ângulo de saída das ferramentas  $\gamma = 32^\circ$

Ângulo de folga das ferramentas  $\alpha = 9,5^\circ$

Rotações da fresa por minuto em vazio - 3170

Velocidade tangencial média das ferramentas em corte - 25,45 m/s

Umidade percentual média da madeira nos ensaios 37,80

## FOLHA DE DADOS E DESGASTES DAS FERRAMENTAS

Rotação da fresa 4320 rpm

Tabela 4.2- Progressão dos desgastes, em microns-metro, em função do percurso de corte dos dentes da fresa, na usinagem da madeira de “Eucalipto Grandis” no estado saturado de água, desgastes esses medidos na região central das arestas de corte, entre as posições 0,4 a 1,4 mm do vértice.

Material das ferramentas aço AISI D-6						
	Percurso real de corte em km					
	0	12	26,8	44,2	67	88,4
<b>Tempo (min.)</b>	<b>0</b>	<b>68</b>	<b>153</b>	<b>252</b>	<b>382</b>	<b>504</b>
Dente N° 3	0,02	69,55	123,18	154,18	181,82	198,55
Dente N° 4	0,05	82,91	123,64	183,54	227,91	256,09
Dente N° 5	0,01	82,00	131,91	168,36	217,54	242,55
Dente N° 9	0,00	83,82	138,45	175,91	219,18	251,27
Dente N° 10	0,01	67,00	135,18	173,18	224,00	267,27
Dente N° 11	0,00	85,91	136,73	172,45	189,91	212,00
Desgaste médio do aço AISI D-6	0,01	78,53	131,52	171,27	210,06	237,95
Material das ferramentas stellite - 1						
	Percurso real de corte em km					
	0	12	26,8	44,2	67	88,4
<b>Tempo (min.)</b>	<b>0</b>	<b>68</b>	<b>153</b>	<b>252</b>	<b>382</b>	<b>504</b>
Dente N° 1	0,06	35,73	62,91	78,55	99,82	121,09
Dente N° 2	0,04	38,18	75,64	96,18	130,00	147,64
Dente N° 6	0,16	34,09	50,09	78,82	90,73	109,45
Dente N° 7	0,00	37,09	64,00	84,55	109,73	123,45
Dente N° 8	0,04	30,82	63,36	81,82	100,09	120,82
Dente N° 12	0,02	29,45	47,45	70,64	97,09	126,73
Desgaste médio do stellite -1	0,05	34,22	60,58	81,76	104,66	124,86
Comprimento e largura dos corpos de prova. (mm)		2062	2062	2055	2056	2057
N° de processamentos		56,1	55,3	53,5	53,0	52,7
		280	354	426	562	532
Umidade média dos corpos de prova %		35,0	36,0	33,0	35,2	31,4

Ângulo de cunha das ferramentas  $\beta = 48^\circ 30'$

Ângulo de saída das ferramentas  $\gamma = 32^\circ$

Ângulo de folga das ferramentas  $\alpha = 9,5^\circ$

Rotações da fresa por minuto em vazio 4400

Velocidade tangencial média das ferramentas em corte 35,06 m/s

Umidade percentual média da madeira nos ensaios 34,1

## FOLHA DE DADOS E DESGASTES DAS FERRAMENTAS

Rotação da fresa 6220 rpm

Tabela 4.3- Progressão dos desgastes, em microns-metro, em função do percurso de corte dos dentes da fresa, na uinagem da madeira de "Eucalipto Grandis" no estado saturado de água, desgastes esses medidos na região central das arestas de corte, entre as posições 0,4 a 1,4 mm do vértice.

Material das ferramentas aço AISI D-6						
	Percurso real de corte em km					
	0	16	37,5	64,3	96,5	128,6
<b>Tempo (min.)</b>	<b>0</b>	<b>63</b>	<b>147</b>	<b>255</b>	<b>382</b>	<b>509</b>
Dente N° 3	+0,36	87,45	118,36	175,64	229,91	256,55
Dente N° 4	-0,27	90,64	132,09	200,09	224,55	266,55
Dente N° 5	-0,09	69,64	120,00	192,64	230,36	277,00
Dente N° 9	+0,27	87,64	132,91	179,36	216,82	271,09
Dente N° 10	-0,09	106,73	133,00	205,64	242,18	289,27
Dente N° 11	+0,36	75,64	130,00	185,18	214,00	248,55
Desgaste médio do aço AISI D-6	+0,09	86,29	127,73	189,76	226,30	268,17
Material das ferramentas stellite - 1						
	Percurso real de corte em km					
	0	16	37,5	64,3	96,5	128,6
<b>Tempo (min.)</b>	<b>0</b>	<b>63</b>	<b>147</b>	<b>255</b>	<b>382</b>	<b>509</b>
Dente N° 1	-0,36	32,09	64,82	107,73	128,36	148,00
Dente N° 2	+0,27	29,91	69,00	96,36	129,45	170,64
Dente N° 6	-0,45	32,18	61,36	101,91	128,45	167,55
Dente N° 7	+0,36	25,27	59,36	98,00	114,91	163,18
Dente N° 8	-0,18	32,36	64,09	94,91	115,45	152,73
Dente N° 12	0,00	32,82	62,64	97,09	120,73	157,27
Desgaste médio do stellite -1	-0,06	30,77	63,55	99,33	122,89	159,89
Comprimento e largura dos corpos de prova. (mm)		2056	2046	2064	2058	2070
		53,9	50,4	52,2	51,4	51,4
N° de processamentos		390	560	680	820	81,4
Umidade média dos corpos de prova %		34,5	32,1	32,5	32,1	32,8

Ângulo de cunha das ferramentas  $\beta = 48^\circ 30'$

Ângulo de saída das ferramentas  $\gamma = 32^\circ$

Ângulo de folga das ferramentas  $\alpha = 9,5^\circ$

Rotações da fresa por minuto em vazio 6300

Velocidade tangencial média das ferramentas em corte 50,48 m/s

Umidade percentual média da madeira nos ensaios 32,8

## FOLHA DE DADOS E DESGASTES DAS FERRAMENTAS

Rotação da fresa 6220 rpm

Tabela 4.4- Progressão dos desgastes, em microns-metro, em função do percurso de corte dos dentes da fresa, na usinagem da madeira de “Eucalipto Grandis” no estado saturado de água, desgastes esses desgastes esses medidos na região central das arestas de corte, entre as posições 0,4 a 1,4 mm do vértice.

Material das ferramentas aço AISI D-6					
	Percurso real de corte em km				
	0	16	37,5	64,3	96,5
<b>Tempo (min.)</b>	<b>0</b>	<b>63</b>	<b>147</b>	<b>254</b>	<b>382</b>
Dente N° 3	-0,09	96,55	131,36	182,45	240,82
Dente N° 4	0,36	101,82	140,00	196,82	237,27
Dente N° 5	0,00	98,27	141,91	189,91	230,27
Dente N° 9	0,27	100,09	148,18	201,18	241,64
Dente N° 10	0,27	93,64	131,64	194,00	247,09
Dente N° 11	0,45	109,18	144,55	199,18	248,55
Desgaste médio do aço AISI D-6	0,21	99,92	139,61	193,93	240,94
Material das ferramentas stellite - 1					
	Percurso real de corte em km				
	0	16	37,5	64,3	96,5
<b>Tempo (min.)</b>	<b>0</b>	<b>63</b>	<b>147</b>	<b>254</b>	<b>382</b>
Dente N° 1	-0,36	39,73	69,55	108,09	128,82
Dente N° 2	0,09	51,45	74,64	109,64	137,18
Dente N° 6	0,27	45,36	66,27	104,64	141,00
Dente N° 7	0,27	46,18	79,73	105,00	138,73
Dente N° 8	0,18	44,55	53,18	97,36	140,18
Dente N° 12	0,00	43,55	71,64	105,27	134,64
Desgaste médio do stellite -1	0,08	45,14	69,17	105,00	136,76
Comprimento e largura dos corpos de prova. (mm)		2325 55,2	2361 52,8	2303 53,6	2305 53,1
N° de processamentos		336	408	584	706
Umidade média dos corpos de prova %		40,9	39,9	39,9	41,3

Ângulo de cunha das ferramentas  $\beta = 48^{\circ} 30'$

Ângulo de saída das ferramentas  $\gamma = 32^{\circ}$

Ângulo de folga das ferramentas  $\alpha = 9,5^{\circ}$

Rotações da fresa por minuto em vazio 6300

Velocidade tangencial média das ferramentas em corte 50,48 m/s

Umidade percentual média da madeira nos ensaios 40,5

Tabela 4.5- Dados de desgaste das ferramentas em microns x minuto na usinagem da madeira de Eucalipto saturado de água.

Material stellite 1						
Tempo (min.)	3136 rpm	Regre. 3	4320 rpm	Regre. 4.3	6220 rpm	Regre. 6
0	-0.06	-2.4	0.04	-5.7	0.07	-9.2
7		8.5		8.8		8.9
13		13.0		14.8		16.4
34		22.0		26.7		31.2
63	27.9	31.1		38.8	37.95	46.2
68		32.5	34.22	40.7		48.5
101		39.9		50.5		60.8
147	47.2	48.8		62.4	66.36	75.6
153		49.7	60.57	63.6		77.1
201		57.4		73.8		89.8
252	66.44	64.5	81.75	83.3		101.7
255		64.9		83.8	102.17	102.3
335		74.8		97.0		118.7
379	78.67	79.7		103.6		126.8
382		80.0	104.6	104.0	129.88	127.3
456		87.6		114.1		139.9
504		92.2	124.83	120.3		
505	93.86	92.4		120.4		
509						
Equações de regressão d = desgaste, t = tempo, r = coeficiente de correlação s = desvio padrão						
3136 rpm	d = - 2.38 + 4.215 * raiz (t)			r = 0.9979	s = 2.51	
4320 rpm	d = - 5.74 + 5.613 * raiz (t)			r = 0.9949	s = 7.74	
6220 rpm	d = -9.22 + 6.987 * raiz (t)			r = 0,9852	s = 9.74	

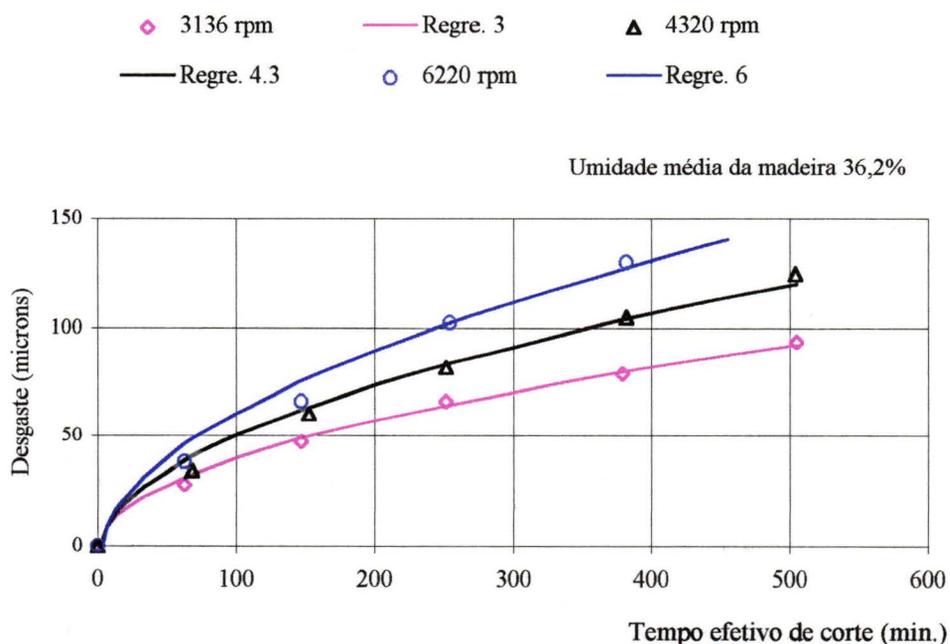


Figura 4.1- Desgaste das ferramentas de stellite 1 na usinagem do Eucalipto saturado

Tabela 4.6- Dados de desgaste das ferramentas em microns x km na usinagem da madeira de Eucalipto saturado de água.							
Material stellite 1							
Perc. (km)	3136 rpm	Regre. 3	4320 rpm	Regre. 4.3	6220 rpm	Regre. 6	R. geral
0.0	0	-2.4	0.04	-5.8	-0.06	-9.3	-8.0
3.0		18.1		17.5		14.8	15.2
8.0	27.9	31.1		32.2		30.1	30.0
12.1		38.6	34.22	40.8		39.0	38.6
16.1		45.0		48.0	30.77	46.4	45.8
18.7	47.2	48.7		52.2		50.8	50.0
26.8		58.8	60.57	63.6		62.6	61.4
32.1	66.44	64.6		70.2		69.4	68.0
37.5		70.0		76.4	63.55	75.8	74.1
44.2		76.2	81.75	83.4		83.1	81.2
48.2	78.67	79.7		87.3		87.2	85.1
64.3	93.86	92.4		101.8	99.33	102.2	99.6
67.0		94.3	104.58	104.0		104.5	101.8
88.4			124.86	120.3		121.4	118.1
96.5				125.9	123	127.2	123.7
Equações de regressão		d = desgaste, p= percurso, r= coeficiente de correlação					
s = desvio padrão							
3136 rpm	d = - 2.38 + 11.814* raiz (p)			r = 0.9980		s = 2.48	
4320 rpm	d = - 5.77 + 13.407* raiz (p)			r = 0.9948		s = 5.21	
6220 rpm	d = - 9.32 + 13.901*raiz (p)			r = 0.9849		s = 9.89	
R. geral	d = - 8.0 + 13.411* raiz(p)			r = 0.9886		s = 6.51	

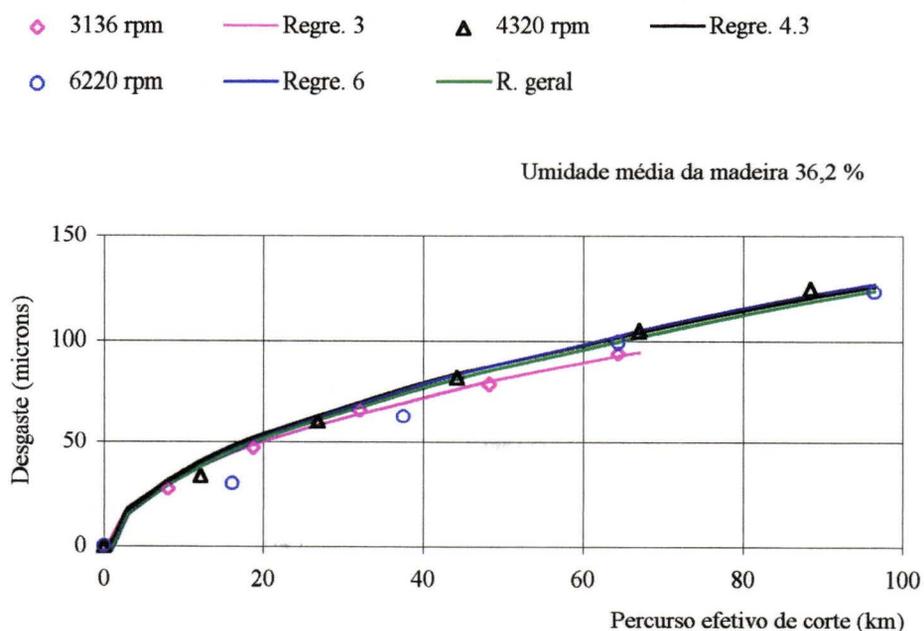


Figura 4.2- Desgaste das ferramentas de stellite 1 na usinagem do Eucalipto saturado

Tabela 4.7- Dados de desgaste das ferramentas em microns x minuto na usinagem da madeira de Eucalipto saturado de água.						
Material aço AISI tipo D-6						
Tempo(min.)	3136 rpm	Regre. 3	4320 rpm	Regre. 4.3	6220 rpm	Regre. 6
0	-0.15	-4.4	0.03	-3.2	0.15	-2.4
7		15.5		24.8		28.5
13		23.7		36.4		41.4
34		40.1		59.4		66.8
63	46.18	56.6		82.6	93.11	92.5
68		59.1	78.53	86.2		96.5
101		72.6		105.2		117.5
147	92.8	88.9		128.1	133.67	142.8
153		90.5	131.44	130.4		145.5
201		104.5		150.1		167.2
214		108.1		155.1		172.8
252	124.3	117.5	171.27	168.4		187.5
255		118.2		169.3	191.84	188.5
335		136.2		194.7		216.6
379	135.1	145.2		207.3		230.6
382		145.7	210.06	208.1	233.61	231.4
386		146.5		209.2		232.6
469		161.9		230.9		256.7
504		168.0	237.95	239.5		
505	173.6	168.2		239.8		
509		168.9		240.8		
Equações de regressão d = desgaste, t = tempo, r= coeficiente de correlação s = desvio padrão						
3136 rpm	d = - 4.36 + 7.679 * raiz (t)			r = 0.9919	s = 9.01	
4320 rpm	d = - 3.16 + 10.809 * raiz (t)			r = 0.9990	s = 4.54	
6220 rpm	d = - 2.43 + 11.966 * raiz (t)			r = 0.9971	s = 7.35	

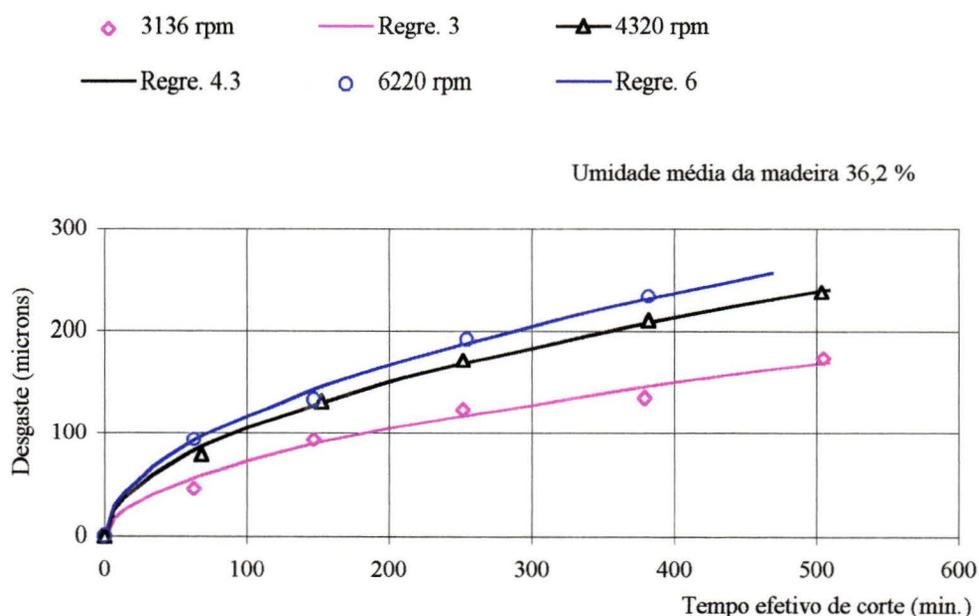


Figura 4.3- Desgaste das ferramentas de aço AISI D-6 na usinagem do Eucalipto saturado

Tabela 4.8- Dados de desgaste das ferramentas em microns x km na usinagem da madeira de Eucalipto saturado de água.							
Material aço AISI tipo D-6							
Perc. (km)	3136 rpm	Regre. 3	4320 rpm	Regre. 4.3	6220 rpm	Regre. 6	R. geral
0.0	-0.15	-4.3	0.03	-3.2	0.06	-2.6	-6.1
3.0		32.9		41.1		38.6	35.5
8.0	46.18	56.7		69.4		64.9	61.9
12.1		70.4	78.53	85.7		80.1	77.2
16.1		82.0		99.5	93.1	92.8	90.1
18.7	92.8	88.7		107.5		100.3	97.7
26.8		107.1	131.44	129.4		120.6	118.1
32.1	124.3	117.6		141.9		132.3	129.9
37.5		127.5		153.7	133.67	143.2	140.9
44.2		138.8	171.27	167.1		155.7	153.5
48.2	135.1	145.1		174.7		162.7	160.6
64.3	173.65	168.3		202.2	191.84	188.3	186.4
67.0		171.8	210.06	206.4		192.3	190.3
88.4			237.95	237.7		221.3	219.6
96.5				248.4	233.61	231.2	229.6
Equações de regressão		d = desgaste, p= percurso, r= coeficiente de correlação					
s = desvio padrão							
3136 rpm	d = -4.33 + 21.520 * raiz(p)			r = 0.9920		s = 8.96	
4320 rpm	d = - 3.24 + 25.816 * raiz(p)			r = 0.9989		s = 4.38	
6220 rpm	d = - 2.63 + 23.810* raiz(p)			r = 0.9969		s = 7.53	
R. geral	d = -6.11 + 24.001* raiz (p)			r = 0.9886		s = 12.89	

- ◆ 3136 rpm    — Regre. 3    ▲ 4320 rpm    — Regre. 4.3  
 ○ 6220 rpm    — Regre. 6    — R. geral

Umidade média da madeira 36,2 %

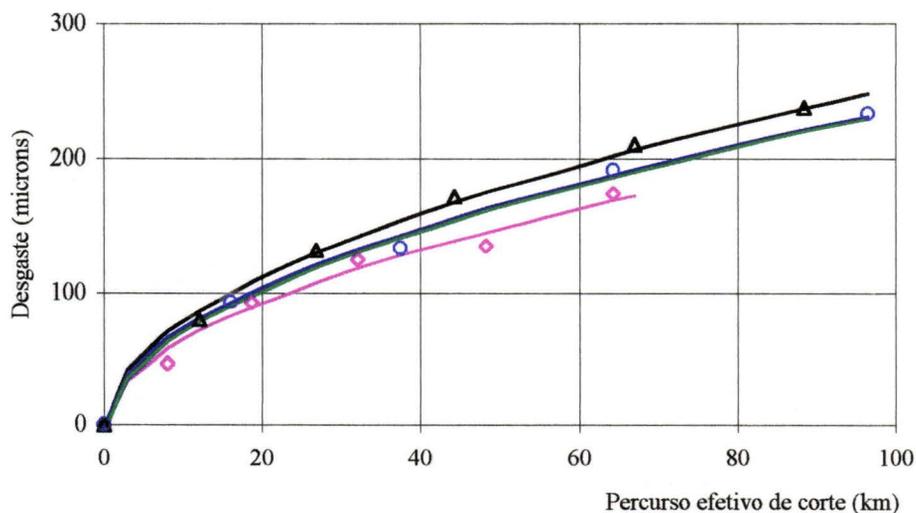


Figura 4.4- Desgaste das ferramentas de aço AISI D-6 na usinagem do Eucalipto saturado

Tabela 4.9- Dados de desgaste das ferramentas em microns x minuto na usinagem da madeira de Eucalipto saturado de água.

Material stellite 1								
Tempo (min.)	3136 rpm	Regre. 3	4320 rpm	Regre. 4.3	6220 rpm	Regre. 6	6220 rpm	Regre. 6(2)
0	-0.06	-2.4	0.05	-5.7	-0.06	-13.1	0.08	-5.8
7		8.5		8.8		5.3		12.2
13		13.0		14.8		12.9		19.6
34		22.0		26.7		28.0		34.4
63	27.9	31.1		38.8	30.77	43.3	45.14	49.2
68		32.5	34.22	40.7		45.6		51.5
101		39.9		50.5		58.1		63.7
147	47.2	48.8		62.4	63.55	73.1	69.17	78.4
153		49.7	60.58	63.6		74.7		79.9
201		57.4		73.8		87.6		92.5
252	66.44	64.5	81.76	83.3		99.7		104.2
255		64.9		83.8	99.33	100.2	105	104.8
335		74.8		97.0		116.9		121.1
379	78.58	79.7		103.6		125.2		129.2
382		80.0	104.66	104.0	123	125.7	136.76	129.7
456		87.6		114.1		138.5		142.2
504		92.2	124.86	120.3		146.4		
505	93.86	92.4		120.4		146.6		
509		92.7			159.89	147.2		
Equações de regressão		d = desgaste, t = tempo, r = coeficiente de correlação						
3136 rpm	$d = - 2.38 + 4.215 * \text{raiz}(t)$				$r = 0.9979$			
4320 rpm	$d = - 5.74 + 5.613 * \text{raiz}(t)$				$r = 0.9949$			
6220 rpm	$d = -13.12 + 7.105 * \text{raiz}(t)$				$r = 0.9832$			
6220 rpm2	$d = -5.76 + 6.931 * \text{raiz}(t)$				$r = 0.9917$			

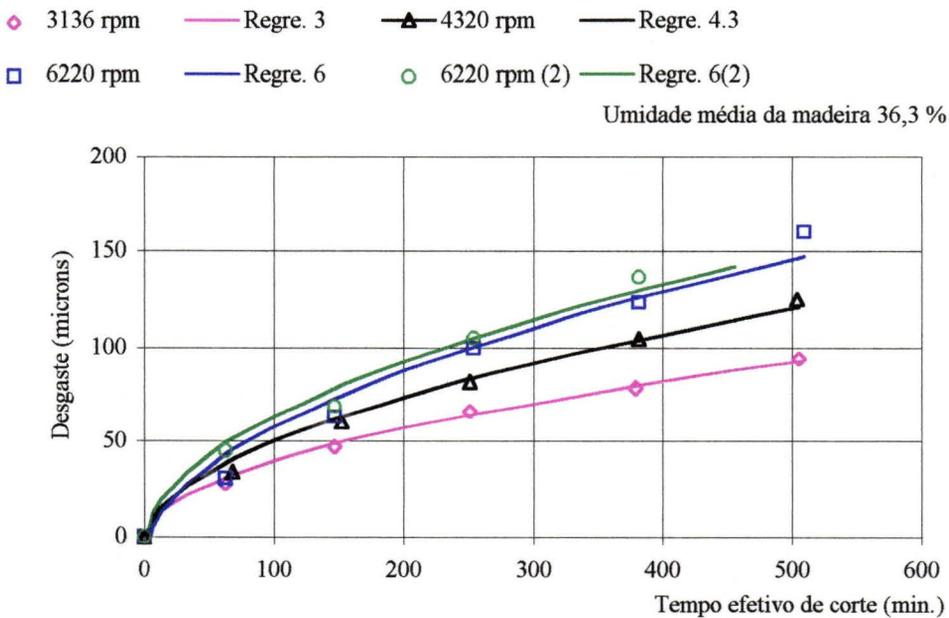


Figura 4.5- Desgaste das ferramentas de stellite 1 na usinagem do Eucalipto saturado

**Tabela 4.10- Dados de desgaste das ferramentas em microns x km na usinagem da madeira de Eucalipto saturado de água.**

<b>Material stellite 1</b>								
Perc. (km)	3136 rpm	Regre. 3	4320 rpm	Regre. 4.3	6220 rpm	Regre. 6	6220 rpm	Regre. 6(2)
0.0	-0.06	-2.4	0.04	-5.8	-0.06	-13.2	0.07	-5.8
3.0		18.1		17.5		11.3		18.0
8.0	27.9	31.1		32.2		26.9		33.2
12.0		38.5	34.22	40.7		35.8		41.9
16.0		44.9		47.9	30.77	43.3	45.13	49.3
18.7	47.2	48.7		52.2		47.9		53.7
26.8		58.8	60.57	63.6		60.0		65.5
32.1	66.44	64.6		70.2		66.9		72.2
37.5		70.0		76.4	63.55	73.4	69.17	78.6
44.2		76.2	81.75	83.4		80.8		85.8
48.2	78.67	79.7		87.3		85.0		89.9
64.3	93.86	92.4		101.8	99.33	100.2	105	104.7
67.0		94.3	104.58	104.0		102.5		106.9
88.4			124.86	120.3		119.8		123.7
96.5				125.9	123	125.7	136.76	129.5
128.6					159.89	147.2		150.4
<b>Equações de regressão</b> d = desgaste, p= percurso, r= coeficiente de correlação								
3136 rpm	d = -2.38 + 11.814*raiz(p)				r = 0.9980			
4320 rpm	d = - 5.77 + 13.407* raiz (p)				r = 0.9948			
6220rpm	d = -13.22 + 14.140*raiz (p)				r = 0.9828			
6220 rpm	d = -5.84 + 13.779*raiz(p)				r = 0.9914			
R. geral	d = -7.56 + 13.497*raiz(p)				r = 0.9873			

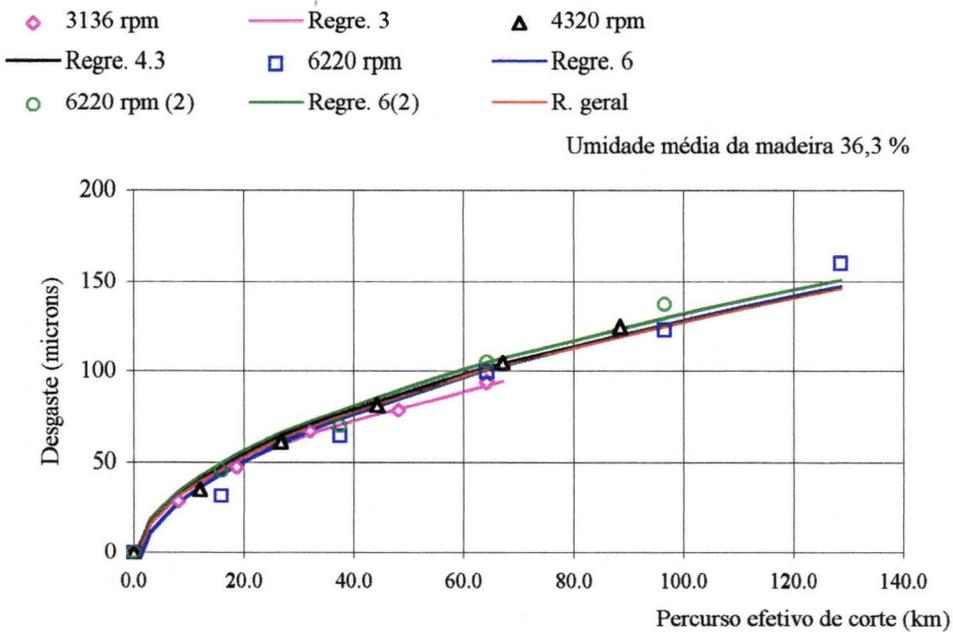


Figura 4.6- Desgaste das ferramentas de stellite 1 na usinagem do Eucalipto saturado

Tabela 4.11- Dados de desgaste das ferramentas em microns x minuto na usinagem da madeira de Eucalipto saturado de água.

Material aço AISI tipo D-6								
Tempo(min.)	3136 rpm	Regre. 3	4320 rpm	Regre. 4.3	6220 rpm	Regre. 6	6220 rpm	Regre. 6(2)
0	-0.15	-4.4	0.01	-3.2	-0.09	-5.8	0.21	-0.5
7		15.5		24.8		25.1		31.0
13		23.8		36.4		37.9		44.1
34		40.1		59.4		63.3		70.1
63	45.96	56.7		82.6	86.29	89.0	99.92	96.2
68		59.2	78.53	86.2		92.9		100.3
101		72.7		105.2		113.9		121.7
147	92.83	89.0		128.1	127.73	139.2	139.61	147.5
153		90.7	131.52	130.4		141.8		150.2
201		104.6		150.1		163.5		172.3
214		108.2		155.1		169.0		178.0
252	124.3	117.7	171.27	168.4		183.7		193.0
255		118.3		169.3	189.76	184.7	193.93	194.0
335		136.4		194.7		212.7		222.6
379	135.11	145.4		207.3		226.7		236.9
382		145.9	210.06	208.1	226.3	227.5	240.94	237.7
386		146.7		209.2		228.8		239.0
469		162.1		230.9		252.8		
504		168.2	237.95	239.5		262.2		
505	173.65	168.4		239.8		262.6		
509		169.1			268.17	263.6		

Equações de regressão d = desgaste, t = tempo, r= coeficiente de correlação

3136 rpm  $d = -4.4276 + 8.8964 * \text{raiz}(t)$   $r = 0.9920$

4320 rpm  $d = -3.1585 + 12.5056 * \text{raiz}(t)$   $r = 0.9979$

6220 rpm  $d = -2.2721 + 13.8251 * \text{raiz}(t)$   $r = 0.9984$

6220 rpm 2  $d = -0.5273 + 14.106 * \text{raiz}(t)$   $r = 0.9987$



Umidade média da madeira 36,3 %

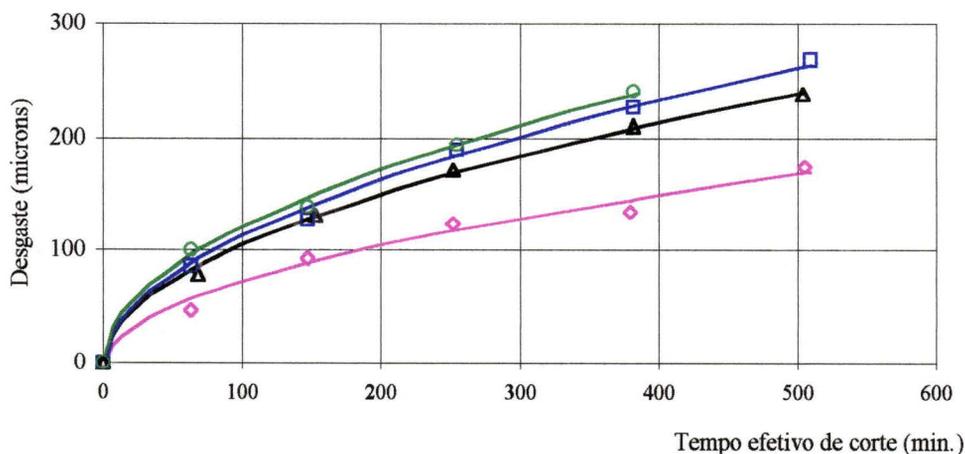


Figura 4.7- Desgaste das ferramentas de aço AISI D-6 na usinagem do Eucalipto saturado

**Tabela 4.12- Dados de desgaste das ferramentas em microns x km na usinagem da madeira de Eucalipto saturado de água.**

<b>Material aço AISI tipo D-6</b>								
Perc. (km)	3136 rpm	Regre. 3	4320 rpm	Regre. 4.3	6220 rpm	Regre. 6	6220 rpm	Regre. 6(2)
0.0	-0.15	-4.3	0.03	-3.2	-0.09	-6.0	0.21	-0.4
3.0		32.9		41.5		35.2		41.5
8.0	46.18	56.7		70.0		61.4		68.2
12.0		70.2	78.53	86.2		76.3		83.5
16.0		81.8		100.0	86.29	89.1	99.92	96.4
18.7	92.8	88.7		108.4		96.8		104.3
26.8		107.1	131.44	130.4		117.0		124.9
32.1	124.3	117.6		143.0		128.7		136.8
37.5		127.5		154.9	127.73	139.6	139.6	147.9
44.2		138.8	171.27	168.4		152.0		160.6
48.2	135.1	145.1		176.1		159.1		167.7
64.3	173.65	168.3		203.8	189.76	184.6	193.92	193.7
67.0		171.8	210.06	208.1		188.5		197.7
88.4			237.95	239.5		217.5		227.3
96.5				250.3	226.27	227.4	240.94	237.4
128.6					268.17	263.5		274.2
<b>Equações de regressão d = desgaste, p= percurso, r= coeficiente de correlação</b>								
3136 rpm	$d = -4.33 + 21.520 * \text{raiz}(p)$					$r = 0.9920$		
4320 rpm	$d = -3.24 + 21.520 * \text{raiz}(p)$					$r = 0.9989$		
6220 rpm	$d = -5.96 + 23.760 * \text{raiz}(p)$					$r = 0.9976$		
6220 rpm	$d = -0.4 + 24.207 * \text{raiz}(p)$					$r = 0.9991$		
R geral	$d = -4.96 + 24.137 * \text{raiz}(p)$					$r = 0.9904$		

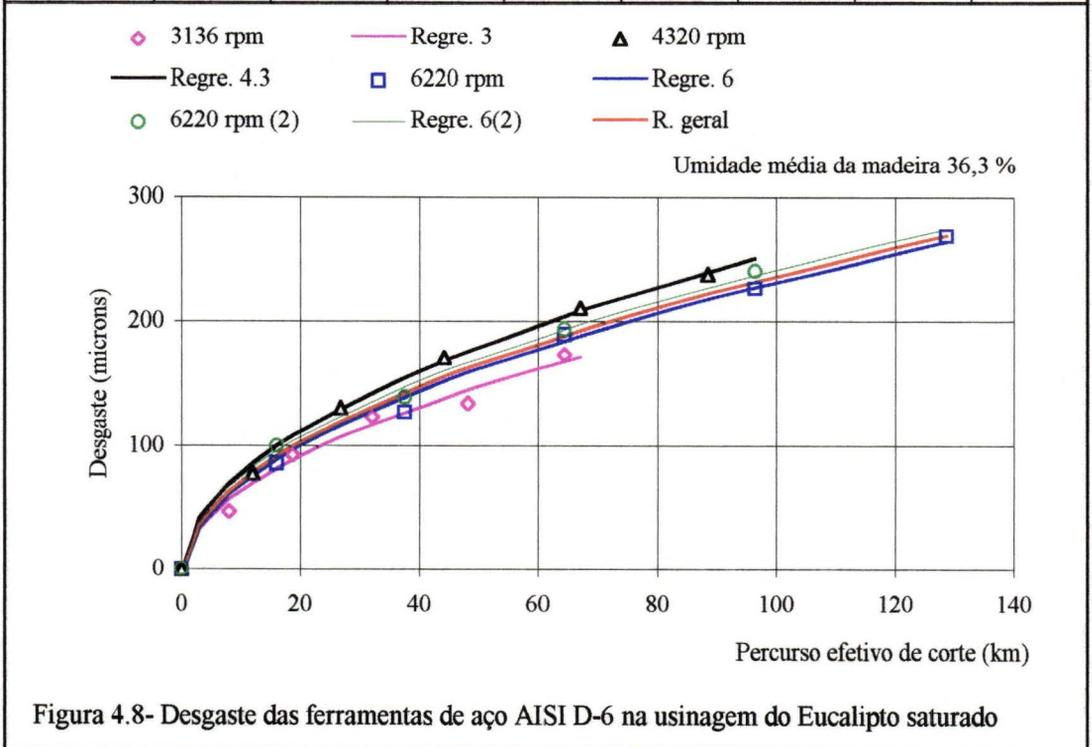


Figura 4.8- Desgaste das ferramentas de aço AISI D-6 na usinagem do Eucalipto saturado

Tabela 4.13- Dados das velocidades de usinagem e dos tempos correspondentes ao desgaste de 100 microns nas ferramentas de aço AISI tipo D-6 e de stellite 1 na usinagem da madeira de Eucalipto saturada de água.					
RPM	V (m/min)	T (min.) AISI D-6	T (min.) Regressão	T (min.) stellite 1	T (min.) Regressão
	3100		72.1		245.4
6220	3028.8	73.3	72.5	244.4	248.8
	3000		72.7		250.2
	2800		74.3		262.2
	2600		76.8		278.0
	2400		80.8		299.7
	2200		87.4		329.9
4320	2103.6	91.1	92.1	355	348.9
	2000		98.8		373.5
	1900		107.6		402.6
	1800		119.6		438.6
	1700		136.5		483.5
	1600		160.4		540.4
3136	1527.1	184.7	184.5	590	591.8
	1500		195.4		613.5
Equações de regressão usadas no cálculo do tempo de usinagem, para 100 microns de desgaste.					
d = desgaste, t = tempo, r= coeficiente de correlação					
AISI D-6	3136 rpm	d = - 4.36 + 7.679 * raiz (t)			r = 0.9919
AISI D-6	4320 rpm	d = - 3.16 + 10.809 * raiz (t)			r = 0.9990
AISI D-6	6220 rpm	d = - 2.4 + 11.966 * raiz (t)			r = 0.9971
stellite 1	3136 rpm	d = - 2.38 + 4.215 * raiz (t)			r = 0.9979
stellite 1	4320 rpm	d = - 5.74 + 5.613* raiz (t)			r = 0.9949
stellite 1	6220 rpm	d = -9.22 + 6.987 * raiz(t)			r = 0,9852

#### Madeira saturada de água

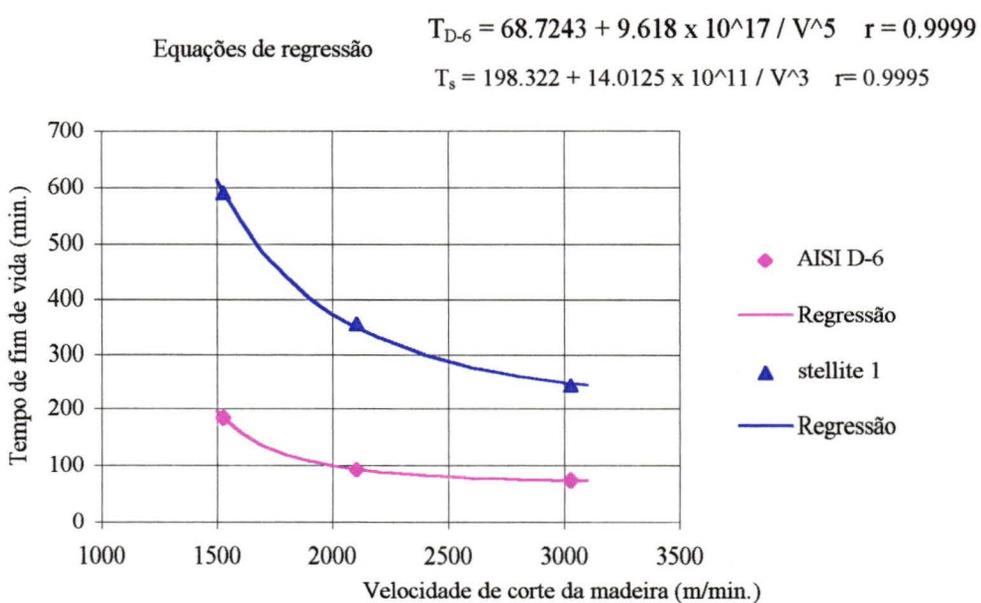


Figura 4.9- Tempo de vida x velocidade de corte para 100 microns de desgaste

Tabela 4.14 - Dados das velocidades de usinagem e dos percursos de corte correspondentes ao desgaste de 100 microns nas ferramentas de aço AISI tipo D-6 e de stellite 1 na usinagem da madeira de Eucalipto saturada de água.

RPM	V. (m/min.)	Perc. (km) AISI D-6	Perc. (km) stellite 1
6220	3028.8	18.6	61.8
4320	2103.6	16.2	62.2
3136	1527.1	23.5	75.1

Equações de regressão usadas no cálculo do percurso de corte para 100 microns de desgaste.

d = desgaste, p= percurso, r= coeficiente de correlação

AISI D-6	3136 rpm	$d = -4.33 + 21.520 * \text{raiz}(p)$	$r = 0.9920$
AISI D-6	4320 rpm	$d = -3.24 + 25.616 * \text{raiz}(p)$	$r = 0.9989$
AISI D-6	6220 rpm	$d = -2.63 + 23.810 * \text{raiz}(p)$	$r = 0.9969$
stellite 1	3136 rpm	$d = -2.38 + 11.814 * \text{raiz}(p)$	$r = 0.9980$
stellite 1	4320 rpm	$d = -5.77 + 13.407 * \text{raiz}(p)$	$r = 0.9948$
stellite 1	6220 rpm	$d = -9.32 + 13.901 * \text{raiz}(p)$	$r = 0.9852$

#### Madeira saturada de água

Equações de regressão

$$P_s = 1E-05V^2 - 0.0754V + 156.21 \quad r = 1$$

$$P_{D6} = 1E-05V^2 - 0.0495V + 75.474 \quad r = 1$$

◆ AISI D-6      ▲ stellite 1

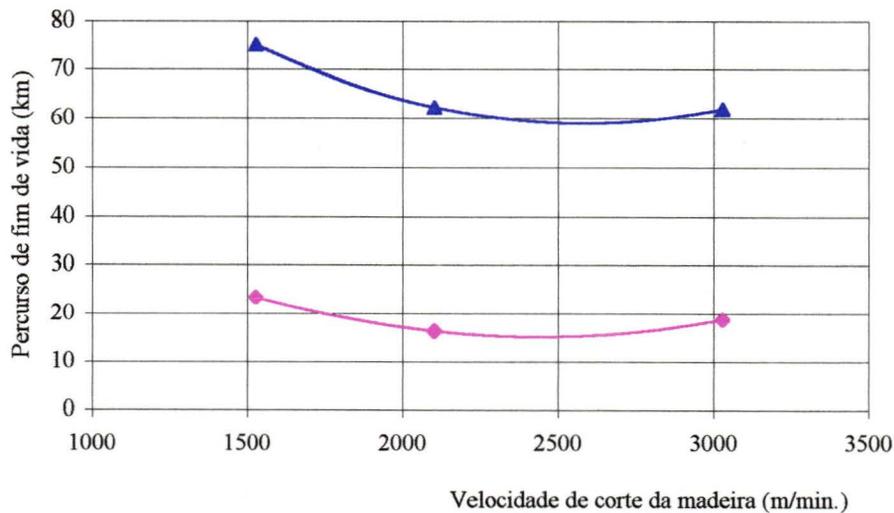


Figura. 4.10- Percurso de corte de fim de vida x velocidade de corte para 100 microns de desgaste

## FOLHA DE DADOS E DESGASTES DAS FERRAMENTAS

Rotação da fresa 3136 rpm

Tabela 4.15- Progressão dos desgastes, em microns-metro, em função do percurso de corte dos dentes da fresa, na usinagem da madeira de "Eucalipto Grandis" no estado seca ao ar, desgastes esses medidos na região central das arestas de corte, entre as posições 0,4 a 1,4 mm do vértice.

Material das ferramentas aço AISI D-6						
	Percurso real de corte em km					
	0	8	18,7	37,5	70	116,6
<b>Tempo (min.)</b>	<b>0</b>	<b>63</b>	<b>147</b>	<b>295</b>	<b>548</b>	<b>917</b>
Dente N° 3	0,30	31,45	42,82	49,73	88,55	136,73
Dente N° 4	2,60	41,36	55,09	73,63	108,09	131,64
Dente N° 5	1,10	41,45	57,64	65,73	111,63	143,36
Dente N° 9	0,30	33,82	49,18	59,27	94,27	135,64
Dente N° 10	0,40	46,45	58,55	71,00	97,55	138,55
Dente N° 11	0,10	37,09	49,73	59,18	111,64	139,27
<b>Desgaste médio do aço AISI D-6</b>	<b>0,80</b>	<b>38,61</b>	<b>52,17</b>	<b>63,09</b>	<b>101,95</b>	<b>137,53</b>
Material das ferramentas stellite - 1						
	Percurso real de corte em km					
	0	8	18,7	37,5	70	116,6
<b>Tempo (min.)</b>	<b>0</b>	<b>63</b>	<b>147</b>	<b>295</b>	<b>548</b>	<b>917</b>
Dente N° 1	-0,55	45,27	53,55	61,45	74,55	106,73
Dente N° 2	0,36	35,00	43,91	53,18	73,00	101,54
Dente N° 6	0,18	39,82	47,36	63,09	74,18	95,64
Dente N° 7	0,27	29,18	45,00	57,73	76,18	93,63
Dente N° 8	0,18	29,27	43,64	51,36	77,45	111,27
Dente N° 12	0,18	44,27	59,27	66,00	81,73	103,55
<b>Desgaste médio do stellite-1</b>	<b>0,11</b>	<b>37,13</b>	<b>48,79</b>	<b>58,80</b>	<b>76,18</b>	<b>102,06</b>
Comprimento e largura dos corpos de prova. (mm)		2049,7	2036	2032	2059	2046
N° de processamentos		49,2	48,6	48,8	50,7	48,9
		217	291	510	828	1260
Umidade média dos corpos de prova %		13	13,1	11,5	13,9	14,2

Ângulo de cunha das ferramentas  $\beta = 48^{\circ} 30'$

Ângulo de saída das ferramentas  $\gamma = 32^{\circ}$

Ângulo de folga das ferramentas  $\alpha = 9,5^{\circ}$

Rotações da fresa por minuto em vazio - 3170

Velocidade tangencial média das ferramentas em corte - 25,45 m/s

Umidade percentual média da madeira nos ensaios 13,1

## FOLHA DE DADOS E DESGASTES DAS FERRAMENTAS

Rotação da fresa 4320 rpm

Tabela 4.16- Progressão dos desgastes, em microns-metro, em função do percurso de corte dos dentes da fresa, na usinagem da madeira de "Eucalipto Grandis" no estado seca ao ar, desgastes esses medidos na região central das arestas de corte, entre as posições 0,4 a 1,4 mm do vértice.

Material das ferramentas aço AISI D-6						
	Percurso real de corte em km					
	0	13,4	29,5	64,6	99,1	134
<b>Tempo (min.)</b>	<b>0</b>	<b>76</b>	<b>168</b>	<b>369</b>	<b>565</b>	<b>764</b>
Dente N° 3	0,05	34,09	47,55	86,18	106,45	118,82
Dente N° 4	0,18	36,64	53,00	90,91	103,36	127,27
Dente N° 5	0,00	35,54	47,82	89,00	107,91	127,91
Dente N° 9	0,09	31,73	48,82	83,45	103,82	121,55
Dente N° 10	0,55	24,27	47,82	88,55	102,00	125,27
Dente N° 11	0,09	39,45	52,91	85,73	108,18	123,00
Desgaste médio do aço AISI D-6	+0,18	33,62	49,65	87,30	105,29	123,97
Material das ferramentas stellite - 1						
	Percurso real de corte em km					
	0	13,4	29,5	64,6	99,1	134
<b>Tempo (min.)</b>	<b>0</b>	<b>76</b>	<b>168</b>	<b>369</b>	<b>565</b>	<b>764</b>
Dente N° 1	0,55	24,45	40,18	64,82	80,64	97,82
Dente N° 2	0,09	25,18	40,36	74,64	84,09	97,00
Dente N° 6	-0,36	23,82	39,00	69,09	85,18	94,55
Dente N° 7	0,27	25,00	42,82	72,64	83,91	94,00
Dente N° 8	-0,18	23,55	39,45	70,45	88,00	96,73
Dente N° 12	0,27	32,36	43,09	61,27	84,18	94,82
Desgaste médio do stellite-1	-0,11	25,73	40,82	68,82	84,33	95,82
Comprimento e largura dos corpos de prova. (mm)		2053	2054	2059	2052	2075
N° de processamentos		51,3	49,0	50,3	50,1	50,5
		342	430	912	912	897
Umidade média dos corpos de prova %		14,0	15,2	14,0	13,4	14,0

Ângulo de cunha das ferramentas  $\beta = 48^{\circ} 30'$

Ângulo de saída das ferramentas  $\gamma = 32^{\circ}$

Ângulo de folga das ferramentas  $\alpha = 9,5^{\circ}$

Rotações da fresa por minuto em vazio 4400

Velocidade tangencial média das ferramentas em corte 35,06 m/s

Umidade percentual média da madeira nos ensaios 14,1

## FOLHA DE DADOS E DESGASTES DAS FERRAMENTAS

Rotação da fresa 5320 rpm

Tabela 4.17- Progressão dos desgastes, em microns-metro, em função do percurso de corte dos dentes da fresa, na usinagem da madeira de “Eucalipto Grandis” no estado seca ao ar, desgastes esses medidos na região central das arestas de corte, entre as posições 0,4 a 1,4 mm do vértice.

Material das ferramentas aço AISI D-6					
	Percurso real de corte em km				
	0	20,1	46,9	80,4	113,9
<b>Tempo (min.)</b>	<b>0</b>	<b>94</b>	<b>220</b>	<b>378</b>	<b>533</b>
Dente N° 3	-0,03	45,18	71,91	104,36	127,55
Dente N° 4	-0,18	40,55	82,91	108,45	128,09
Dente N° 5	0,00	47,73	87,18	104,91	123,55
Dente N° 9	0,00	45,09	71,09	88,64	125,45
Dente N° 10	-0,18	54,55	80,73	108,63	131,09
Dente N° 11	0,55	53,18	77,45	100,64	138,36
Desgaste médio do aço AISI D-6	0,03	47,71	78,55	102,61	129,02
Material das ferramentas stellite - 1					
	Percurso real de corte em km				
	0	20,1	46,9	80,4	113,9
<b>Tempo (min.)</b>	<b>0</b>	<b>94</b>	<b>220</b>	<b>378</b>	<b>533</b>
Dente N° 1	-0,02	26,73	61,27	94,91	113,73
Dente N° 2	0,00	44,73	71,82	94,36	116,55
Dente N° 6	-0,27	43,64	63,73	95,18	117,64
Dente N° 7	-0,36	50,00	83,91	97,18	118,91
Dente N° 8	-0,27	44,64	73,36	98,45	121,27
Dente N° 12	0,09	48,36	79,45	97,91	125,09
Desgaste médio do stellite-1	-0,14	43,02	72,26	96,33	118,86
Comprimento e largura dos corpos de prova. (mm)		2044 57,3	2069 56,8	2267 55,8	2230 55,5
N° de processamentos		464	613	712	720
Umidade média dos corpos de prova %		12,7	13,6	17,1	15,6

Ângulo de cunha das ferramentas  $\beta = 48^{\circ} 30'$

Ângulo de saída das ferramentas  $\gamma = 32^{\circ}$

Ângulo de folga das ferramentas  $\alpha = 9,5^{\circ}$

Rotações da fresa por minuto em vazio 5426

Velocidade tangencial média das ferramentas em corte 42,62 m/s

Umidade percentual média da madeira nos ensaios 14,8

## FOLHA DE DADOS E DESGASTES DAS FERRAMENTAS

Rotação da fresa 6220 rpm

Tabela 4.18- Progressão dos desgastes, em microns-metro, em função do percurso de corte dos dentes da fresa, na usinagem da madeira de “Eucalipto Grandis” no estado seca ao ar, desgastes esses medidos na região central das arestas de corte, entre as posições 0,4 a 1,4 mm do vértice.

Material das ferramentas aço AISI D-6					
	Percurso real de corte em km				
	0	20,1	40,2	67	107
<b>Tempo (min.)</b>	<b>0</b>	<b>79</b>	<b>159</b>	<b>265</b>	<b>425</b>
Dente N° 3	-0,09	38,73	75,36	91,82	110,00
Dente N° 4	0,00	39,36	77,36	105,55	120,09
Dente N° 5	0,36	43,18	94,82	113,09	128,73
Dente N° 9	0,27	52,73	92,45	113,55	131,09
Dente N° 10	0,55	41,09	67,91	96,00	121,91
Dente N° 11	-0,36	43,45	104,91	126,00	137,73
Desgaste médio do aço AISI D-6	0,12	43,09	85,47	107,67	124,92
Material das ferramentas stellite - 1					
	Percurso real de corte em km				
	0	20,1	40,2	67	107
<b>Tempo (min.)</b>	<b>0</b>	<b>79</b>	<b>159</b>	<b>265</b>	<b>425</b>
Dente N° 1	-0,36	41,64	93,18	107,00	116,82
Dente N° 2	-0,45	33,27	65,82	98,18	114,45
Dente N° 6	-0,27	34,73	64,64	101,18	117,45
Dente N° 7	0,18	40,55	79,82	109,45	122,18
Dente N° 8	0,18	41,27	92,73	98,54	116,18
Dente N° 12	0,27	30,91	65,82	81,91	102,00
Desgaste médio do stellite-1	-0,08	37,06	77,00	99,38	114,85
Comprimento e largura dos corpos de prova. (mm)		2046,7 48,2	2070,0 49,6	2066,0 48,2	2051,3 50,0
N° de processamentos		550	527	723	1056
Umidade média dos corpos de prova %		12,4	13,2	13,2	14,3

Ângulo de cunha das ferramentas  $\beta = 48^\circ 30'$

Ângulo de saída das ferramentas  $\gamma = 32^\circ$

Ângulo de folga das ferramentas  $\alpha = 9,5^\circ$

Rotações da fresa por minuto em vazio 6300

Velocidade tangencial média das ferramentas em corte 50,48 m/s

Umidade percentual média da madeira nos ensaios 13,3

Tabela 4.19- Dados de desgaste das ferramentas em microns x minuto na usinagem da madeira Eucalipto seca.								
Material stellite 1								
T (min.)	3320 rpm	Regre. 3	4320 rpm	Regre. 4	5320 rpm	Regre. 5	6220 rpm	Regre. 6
0	0.12	5.9	0.09	-2.7	-0.138	-2.9	-0.75	-3.3
13		17.5		10.4		15.9		18.3
34		24.2		18.1		26.8		30.9
63	37.13	31.0		25.8		37.9		43.5
76		33.5	25.73	28.7		42.0		48.3
79		34.0		29.2		42.8	37.06	49.2
94		36.5		32.1	43.02	46.9		53.9
147	48.79	44.3		40.9		59.5		68.4
159		45.8		42.7		62.0	77	71.2
168		46.8	40.82	43.8		63.6		73.1
220		52.8		50.6	72.26	73.3		84.2
252		56.1		54.3		78.7		90.4
265		57.4		55.8		80.9	99.37	92.9
295	58.8	60.2		59.0		85.4		98.1
369		66.6	68.82	66.3		95.8		110.0
378		67.4		67.1	96.32	97.1		111.5
425		71.1		71.4		103.1	114.85	118.4
504		76.9		78.0		112.5		129.2
533		79.0		80.3	118.86	115.9		133.0
548	76.18	80.0		81.4		117.5		134.9
565		81.2	84.33	82.7				
764		93.4	95.82	96.6				
917	102.06	101.7		106.1				
Equações de regressão			d = desgaste, t = tempo, r= coeficiente de correlação					
					s = desvio padrão			
3136 rpm	d = 5.87 + 3.166* raiz(t)		r = 0.9910		s = 5.20			
4320 rpm	d = - 2.72 + 3.594 * raiz(t)		r = 0.9975		s = 2.91			
5320 rpm	d = - 2.94 + 5.145 * raiz(t)		r = 0.9980		s = 3.43			
6220 rpm	d = - 3.31+ 5.904 * raiz(t)		r = 0.9859		s = 9.08			

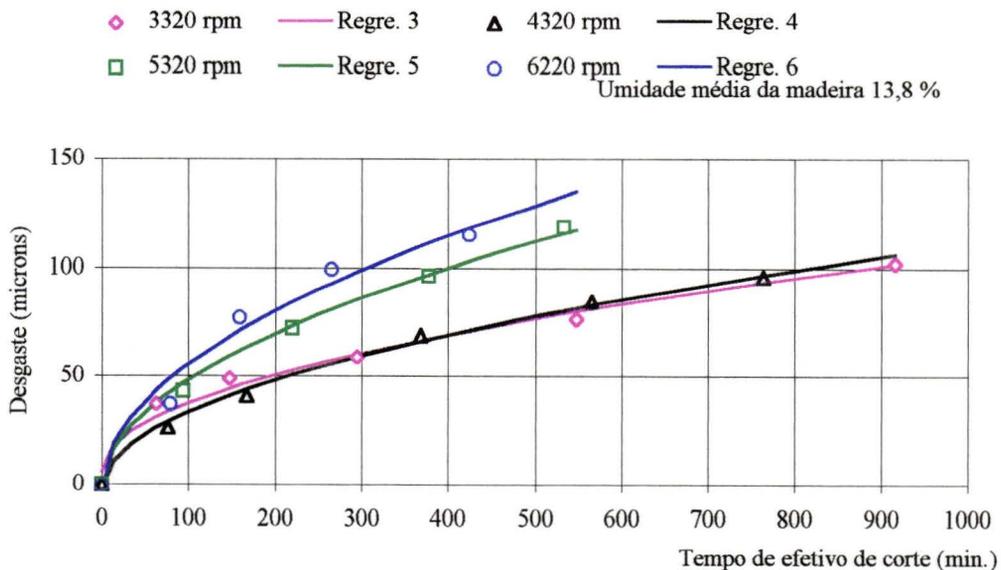


Figura 4.11- Desgaste das ferramentas de stellite 1 na usinagem do Eucalipto seco

Tabela 4.20- Desgaste das ferramentas de stellite 1 em microns x km na usinagem da madeira Eucalipto seca.								
Material stellite 1								
Perc. (km)	3136 rpm	Regre. 3	4320 rpm	Regre. 4.3	5320 rpm	Regre. 5	6220 rpm	Regre. 6
0.0	0.12	5.9	0.09	-2.7	-0.138	-2.9	-0.75	-3.4
3.0		21.3		12.1		16.4		17.0
8.0	37.13	31.0		21.6		28.7		29.9
13.4		38.4	25.73	28.7		37.8		39.6
18.7	48.79	44.2		34.4		45.2		47.5
20.1		45.7		35.7	43.02	47.0	37.06	49.3
29.5		54.1	40.82	43.9		57.6		60.5
37.5	58	60.2		49.8		65.3		68.6
40.2		62.1		51.7		67.7	77	71.2
46.9		66.6		56.0	72.26	73.4		77.1
53.6		70.8		60.1		78.6		82.7
64.6		77.2	68.82	66.2		86.6		91.1
67.0		78.5		67.5		88.3	99.37	92.9
70.0	76.18	80.1		69.1		90.3		95.0
80.4		85.4		74.2	96.32	97.0		102.1
99.1		94.2	84.33	82.7		108.0		113.7
107.0		97.6		86.1		112.3	114.85	118.3
113.9		100.6		88.9	118.86	116.0		122.1
116.6	102.06	101.7		89.9		117.4		
134.0		108.6	95.82	96.6				
Equações de regressão			d = desgaste, p= percurso, r= coeficiente de correlação					
				s = desvio padrão				
3136 rpm	d = 5.89 + 8.870 * raiz(p)		r = 0.9909		s = 5.24			
4320 rpm	d = -2.74 + 8.584 * raiz(p)		r = 0.9974		s = 3.00			
5320 rpm	d = -2.94 + 11.141 * raiz(p)		r = 0.9980		s = 3.63			
6220 rpm	d = -3.41 + 11.763 * raiz(p)		r = 0.9858		s = 9.08			

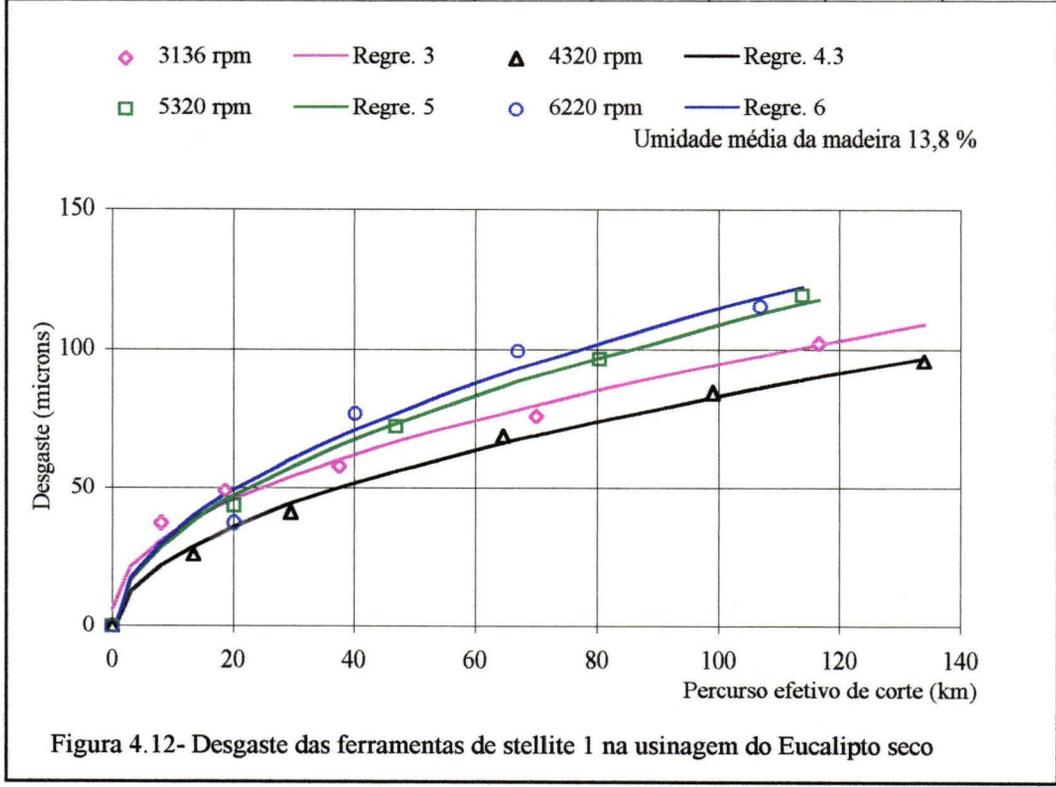


Figura 4.12- Desgaste das ferramentas de stellite 1 na usinagem do Eucalipto seco



Tabela 4.22- Dados de desgaste das ferramentas em microns x km na usinagem da madeira								
Eucalipto seco.								
Material aço AISI tipo D-6								
Perc. (km)	3136 rpm	Regre. 3	4320 rpm	Regre. 4.3	5320 rpm	Regre. 5.3	6220 rpm	Regre. 6.2
0.0	0.8	-0.9	0.24	-4.0	0.027	-2.6	0.12	-2.4
3.0		20.5		15.0		18.2		19.7
8.0	38.6	34.0		27.1		31.4		33.7
13.4		44.2	33.62	36.1		41.2		44.2
18.7	52.17	52.4		43.4		49.2		52.6
20.1		54.3		45.1	47.71	51.1	43.09	54.6
29.5		66.0	49.65	55.5		62.4		66.6
37.5	63.09	74.5		63.1		70.8		75.5
40.2		77.2		65.5		73.3	83.8	78.2
46.9		83.4		71.0	78.55	79.4		84.7
53.6		89.3		76.2		85.1		90.7
64.6		98.1	87.3	84.1		93.6		99.8
67.0		99.9		85.7		95.4	107.66	101.7
70.0	101.95	102.1		87.7		97.6		104.0
80.4		109.5		94.3	102.61	104.8		111.6
99.1		121.7	105.29	105.1		116.6		124.2
107.0		126.5		109.4		121.3	124.93	129.1
113.9		130.5		112.9	129.01	125.2		133.3
116.6	137.53	132.0		114.3		126.7		
134.0		141.6	123.97	122.8		136.0		
Equações de regressão		d = desgaste, p= percurso, r= coeficiente de correlação						
		s = desvio padrão						
3136 rpm	d = -0.87 + 112.310*raiz(p)		r = 0,9920			s = 6.77		
4224 rpm	d = -399 + 10.957*raiz(p)		r = 0.9981			s = 4.08		
5320 rpm	d = -2.59 + 11.975*raiz(p)		r = 0.9980			s = 3.58		
6220 rpm	d = -2.36 + 12.709*raiz(p)		r = 0.9860			s = 9.00		

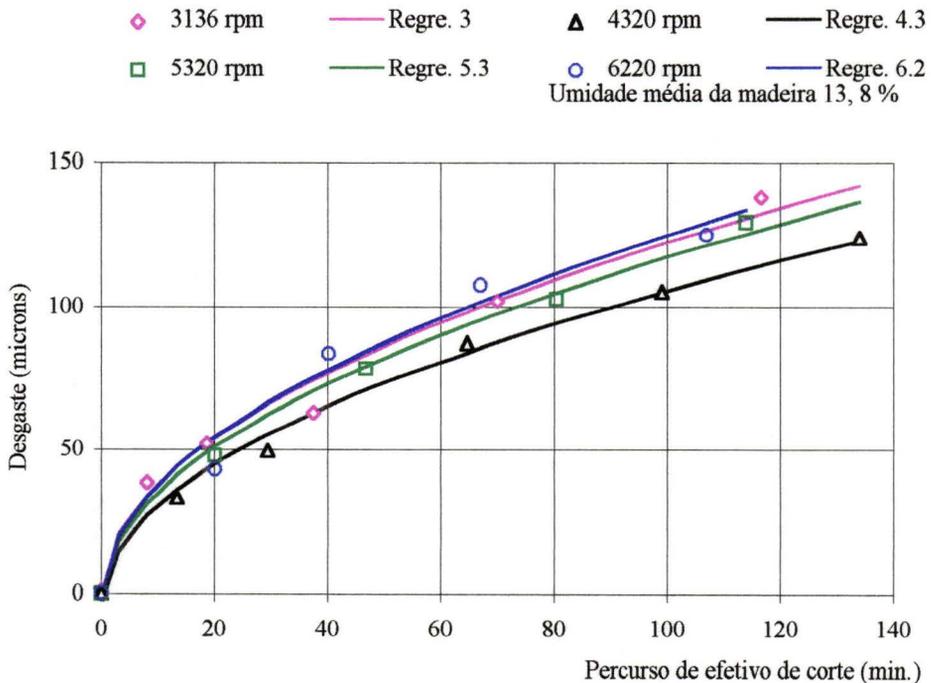


Figura 4.14- Desgaste das ferramentas de aço AISI D-6 na usinagem do Eucalipto seco

Tabela 4.23- Dados das velocidades efetivas de corte e dos tempos correspondentes ao desgaste de 100 microns nas ferramentas de aço AISI tipo D-6 e de stellite 1 na usinagem da madeira Eucalipto seca.				
RPM	Veloc. (m/ min.)	T (min.) AISI D-6	T (min.) stellite 1	
6220	3028.8	256.9	306.2	
5320	2557.1	344.1	400.3	
4320	2103.6	513.6	816.9	
3136	1527.1	527.3	884	
Equações de regressão usadas no cálculo do tempo de usinagem, para 100 microns de desgaste.				
d = desgaste, t = tempo, r= coeficiente de correlação				
AISI D-6	3136 rpm	$d = -0.88 + 4.393 * \text{raiz}(t)$		$r = 0.9920$
AISI D-6	4320 rpm	$d = -3.95 + 4.587 * \text{raiz}(t)$		$r = 0.9970$
AISI D-6	5320 rpm	$d = -2.58 + 5.530 * \text{raiz}(t)$		$r = 0.9980$
AISI D-6	6220 rpm	$d = -2.24 + 6.379 * \text{raiz}(t)$		$r = 0.9891$
stellite 1	3136 rpm	$d = 5.87 + 3.166 * \text{raiz}(t)$		$r = 0.9910$
stellite 1	4320 rpm	$d = -2.72 + 3.594 * \text{raiz}(t)$		$r = 0.9975$
stellite 1	5320 rpm	$d = -2.94 + 5.145 * \text{raiz}(t)$		$r = 0.9980$
stellite 1	6220 rpm	$d = -3.31 + 5.904 * \text{raiz}(t)$		$r = 0.9859$

### Madeira seca

Equações de regressão

$$T_s = -9E-05V^2 - 0.0166V + 1148.6 \quad r = 0.9473$$

$$T_{D-6} = -1E-04V^2 + 0.2563V + 376.99 \quad r = 0.9691$$

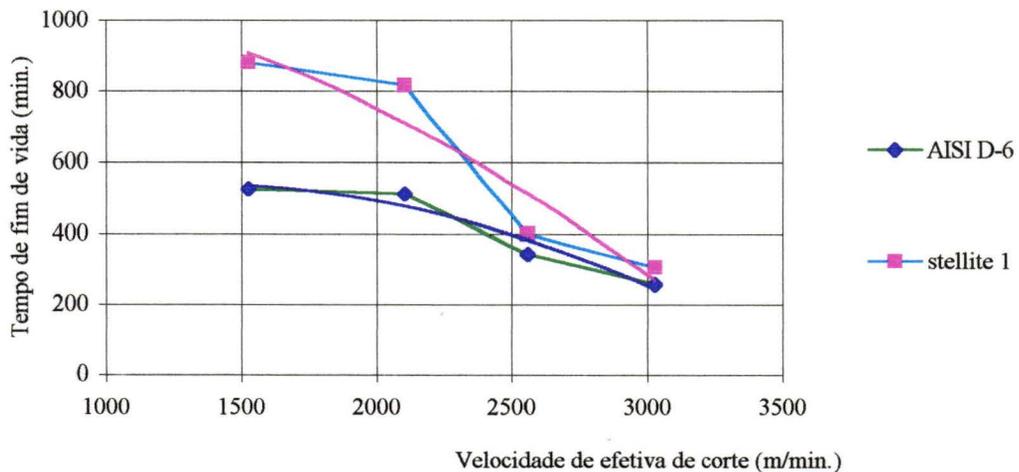


Figura 4.15- Tempo de vida x velocidade efetiva de corte para 100 microns de desgaste

Tabela 4.24- Dados das velocidades efetivas de corte e dos percursos efetivos de corte correspondentes ao desgaste de 100 microns nas ferramentas de aço AISI tipo D-6 e de stellite 1 na usinagem da madeira Eucalipto seca.				
RPM	Veloc. (m/ min.)	Perc. (km)		
		AISI D-6	stellite 1	
6220	3028.8	64.9	77.3	
5320	2557.1	76.4	85.4	
4320	2103.6	90.1	143.3	
3136	1527.1	67.1	115.5	
Equações de regressão usadas no cálculo do percurso efetivos de corte, para 100 microns de desgaste.				
d = desgaste, p= percurso, r= coeficiente de correlação				
AISI D-6	3136 rpm	d = -0.87+ 12.310*raiz(p)		r = 0,9920
AISI D-6	4224 rpm	d= -3.99 + 10.957*raiz(p)		r = 0,9970
AISI D-6	5320 rpm	d= -2.59 + 11.975*raiz(p)		r = 0.9981
AISI D-6	6220 rpm	d= -2.36 + 12.709*raiz(p)		r = 0.9880
stellite 1	3136 rpm	d = 5.89 + 8.870 *raiz(p)		r = 0.9909
stellite 1	4320 rpm	d = -2.74 + 8.584 * raiz(p)		r = 0.9974
stellite 1	5320 rpm	d = -2.94 + 11.141 * raiz(p)		r = 0.9980
stellite 1	6220 rpm	d = -3.41 + 11.763 * raiz(p)		r = 0.9858

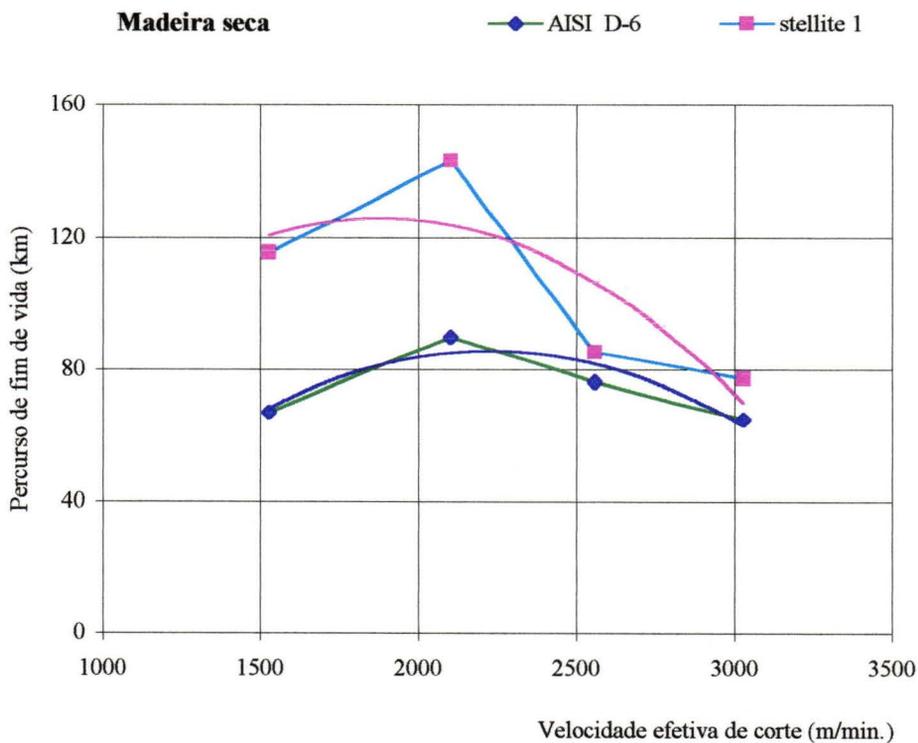


Figura 4.16- Percorso de corte x velocidade efetiva de corte para 100 microns de desgaste

Tabela 4.25- Dados das velocidades efetivas de corte e dos tempos correspondentes ao desgaste de 100 microns nas ferramentas de aço AISI tipo D-6 e de stellite 1 na usinagem da madeira de Eucalipto saturada de água (verde) e seca.

	T (min.)	T (min.)	T (min.)	T (min.)	T (min.)	T (min.)	T (min.)	T (min.)
Veloc. (m/	AISI D-6	Regressão	stellite 1	Regressão	AISI D-6	Regressão	stellite 1	Regressão
3100		72.1		245.4		210.5		232.2
3028.8	73.3	72.5	244.4	248.8	256.9	235.9	306.2	272.7
3000		72.7		250.2		245.9		288.8
2800		74.3		262.2		310.6		396.5
2600		76.8		278.0		367.4		497.0
2557.1		77.5		282.1	344.1	378.5	400.3	517.7
2400		80.8		299.7		416.1		590.4
2200		87.4		329.9		456.9		676.5
2103.6	91.1	92.1	354.9	348.9	513.6	473.6	816.9	715.4
2000		98.8		373.5		489.6		755.4
1900		107.6		402.6		503.0		792.2
1800		119.6		438.6		514.3		827.1
1700		136.5		483.5		523.7		860.3
1600		160.4		540.4		531.1		891.6
1527.1	184.7	184.5	590	591.8	527.3	535.2	884	913.4
1500		195.4		613.5		536.4		921.2

Equações de regressão T= tempo , V = velocidade, r = coeficiente de correlação								
M. saturac	AISI D-6	$T_{D-6} = 68.7243 + 9.618 \times 10^{17} / V^{17}$			$r = 0.9999$			
	stellite 1	$T_s = 198.322 + 14.0125 \times 10^{11} / V^3$			$r = 0.0005$			
M. seca	AISI D-6	$T_{D-6} = -0.0001 \times V^2 + 0.2563 \times V + 376.9$			$r = 0.9473$			
	stellite 1	$T_s = -0.00009 \times V^2 - 0.0166 \times V + 1148$			$r = 0.9681$			

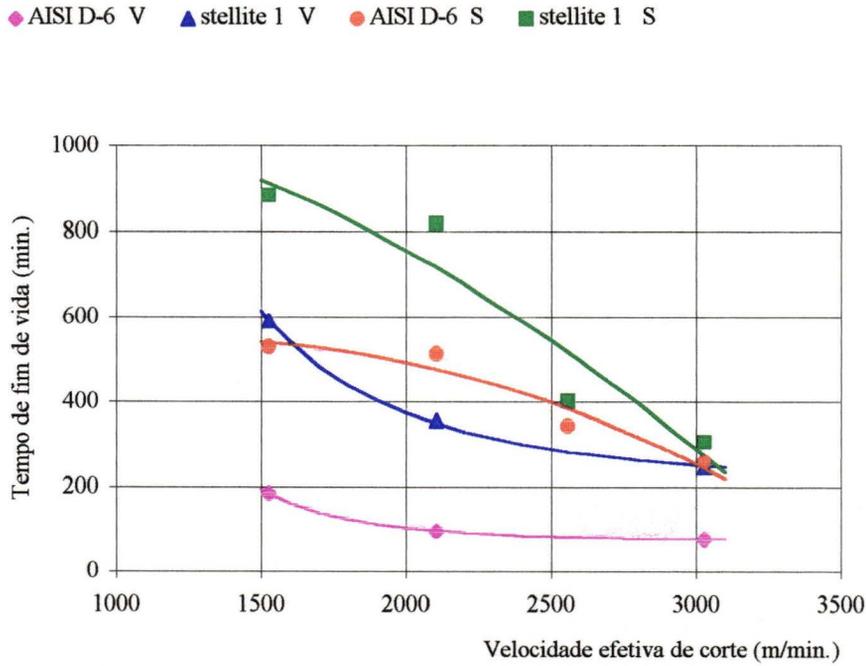


Figura 4.17- Tempo de vida x velocidade efetiva de corte para 100 microns de desgaste

Tabela 4.26- Dados das velocidades efetivas de corte e dos percursos de corte correspondentes ao desgaste de 100 microns nas ferramentas de aço AISI tipo D-6 e de stellite 1 na usinagem da madeira de Eucalipto saturada de água (verde) e seca ao ar.

RPM	Veloc. (m/min.)	Perc. (km) AISI D-6	Perc. (km) stellite 1	Perc. (km) AISI D-6 S	Perc. (km) stellite 1 S
6220	3028.8	18.6	61.8	64.9	77.3
5320	2557.1			73.4	85.4
4320	2103.6	16.2	62.2	90.1	143.3
3136	1527.1	23.5	75.1	67.1	115.3
Equações de regressão		P= percurso, V= velocidade, r = coeficiente de correlação			
M. saturac	stellite 1	$P_s = 0.00001.V^2 - 0.0754.V + 156.21$		$r = 1.0000$	
	AISI D-6	$P_{D-6} = 0.00001.V^2 - 0.0495.V + 75.474$		$r = 1.0000$	
M. seca	stellite 1	$P_s = -0.00004 \times V^2 + 0.1605 \times V - 25.1$		$r = 0.8167$	
	AISI D-6	$P_{D-6} = -0.00003 \times V^2 + 0.1441 \times V - 75.1$		$r = 0.8674$	

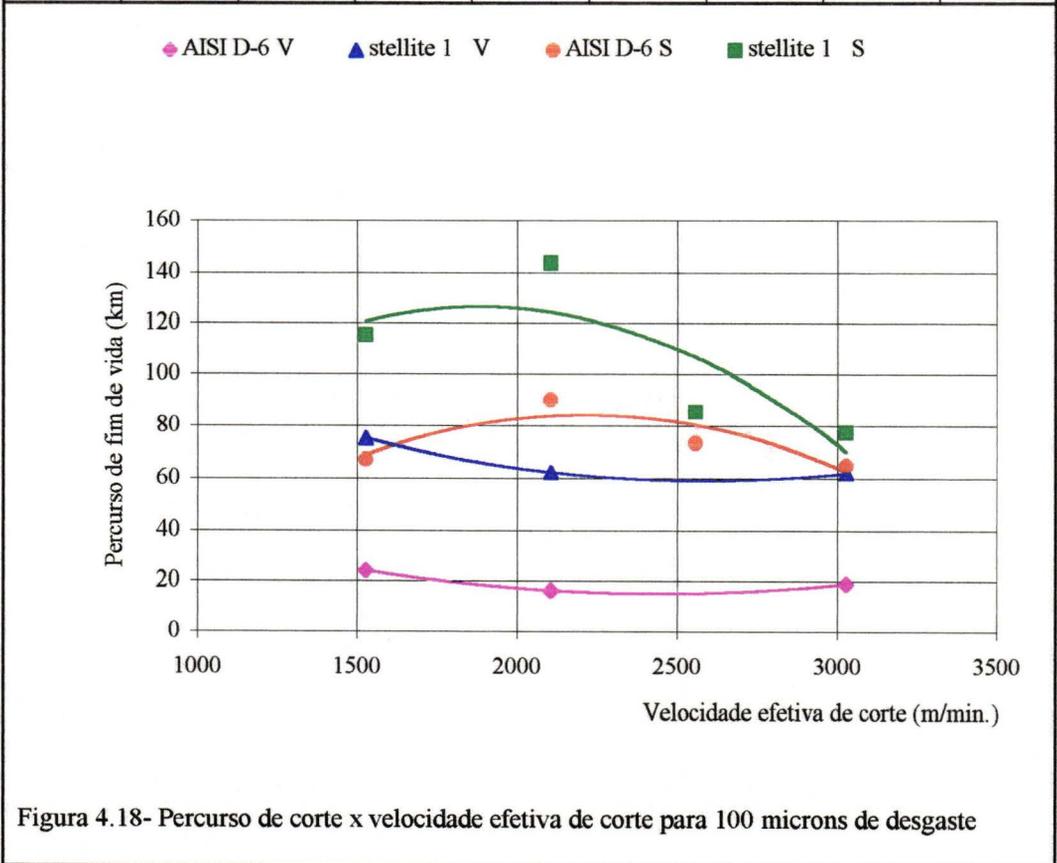


Figura 4.18- Percurso de corte x velocidade efetiva de corte para 100 microns de desgaste

Tabela 4.27- Dados dos valores médios dos desgastes (mm) de todos os dentes para os diversos percursos efetivos de corte.

Material	stellite 1	3136 rpm	Umidade 37,8 %				
P. de med. (mm)	00 km	08 km	18.7 km	32.1 km	48.2 km	64.3km	
0	-0.0093	-0.0707	-0.1072	-0.1492	-0.1665	-0.1788	
0.1	-0.0075	-0.0637	-0.101	-0.142	-0.1563	-0.168	
0.2	-0.0055	-0.0577	-0.0962	-0.1333	-0.1492	-0.1562	
0.3	-0.0037	-0.0525	-0.0898	-0.1235	-0.1413	-0.1473	
0.4	-0.0025	-0.0483	-0.0845	-0.112	-0.1340	-0.1387	
0.5	-0.0015	-0.0447	-0.0792	-0.1032	-0.1243	-0.1338	
0.6	-0.001	-0.0408	-0.0718	-0.0907	-0.1172	-0.1277	
0.7	-0.0003	-0.0372	-0.0655	-0.0793	-0.1045	-0.1202	
0.8	0.0003	-0.033	-0.058	-0.0672	-0.0933	-0.1097	
0.9	0.0003	-0.0293	-0.0485	-0.0527	-0.0792	-0.0993	
1	0.0008	-0.024	-0.0388	-0.0418	-0.0667	-0.0872	
1.1	0.0008	-0.0187	-0.0307	-0.03	-0.0528	-0.072	
1.2	0.0008	-0.0143	-0.021	-0.0197	-0.0418	-0.0613	
1.3	0.0008	-0.0097	-0.0138	-0.0108	-0.0302	-0.0487	
1.4	0.0007	-0.0067	-0.0077	-0.0048	-0.0203	-0.034	
1.5	0.0005	-0.0045	-0.0028	-0.0008	-0.0115	-0.023	
1.6	0.0003	-0.0037	-0.0012	-0.0005	-0.0062	-0.0135	
1.7	-0.0002	-0.0015	-0.0003	-0.0005	-0.0035	-0.007	
1.8	-0.0005	-0.0013	-0.0005	-0.001	-0.0015	-0.0048	
1.9	-0.0015	-0.0013	-0.001	-0.0028	-0.0013	-0.0038	
2	-0.0048	-0.002	-0.0034	-0.0063	-0.0025	-0.0048	
2.1	-0.0066	-0.0094	-0.0074	-0.0123	-0.0048	-0.008	
2.2	-0.0078	-0.0084	-0.0116	-0.0155	-0.0090	-0.0105	
2.3	-0.0098	-0.0106	-0.0134	-0.0198	-0.0160	-0.014	
2.4	-0.0124	-0.0128	-0.0166	-0.0218	-0.0160	-0.014	
2.5	-0.0162	-0.0148	-0.0186	-0.0218	-0.0155	-0.0187	
Média(0.4-1.4)	-0.00007	-0.02788	-0.04723	-0.05565	-0.07858	-0.09387	

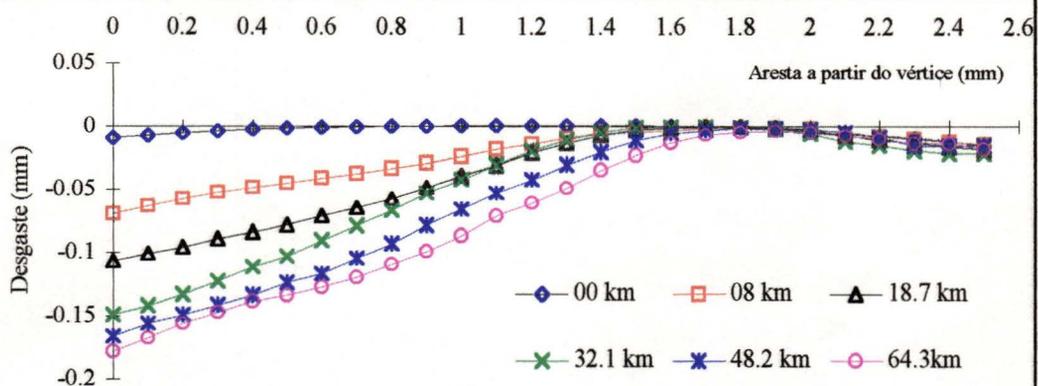


Figura 4.19-Desgaste das ferramentas de stellite 1 a 3136 rpm, usando Eucalipto saturado

Tabela 4.28- Dados dos valores médios dos desgastes (mm) de todos os dentes para os diversos percursos efetivos de corte.						
Material	aço AISI tipo D-6	3136 rpm	Umidade 37,8 %			
P. de med. (mm)	00km	08 km	18.7 km	32.1 km	48.2 km	64.3 km
0	-0.0107	-0.0773	-0.1508	-0.2203	-0.2517	-0.2813
0.1	-0.0093	-0.0755	-0.1477	-0.2138	-0.2427	-0.2677
0.2	-0.0065	-0.0732	-0.1435	-0.2065	-0.2315	-0.2535
0.3	-0.005	-0.0703	-0.14	-0.1983	-0.2193	-0.2413
0.4	-0.0033	-0.066	-0.1333	-0.1875	-0.206	-0.2308
0.5	-0.002	-0.0638	-0.1263	-0.174	-0.189	-0.2233
0.6	-0.0012	-0.0598	-0.1175	-0.16	-0.1728	-0.2157
0.7	-0.0007	-0.0537	-0.108	-0.145	-0.1552	-0.2065
0.8	-0.0002	-0.0492	-0.0965	-0.1275	-0.1345	-0.1988
0.9	0.0007	-0.042	-0.0843	-0.1073	-0.1168	-0.1818
1	0.001	-0.0358	-0.0725	-0.0913	-0.0962	-0.1667
1.1	0.001	-0.029	-0.0602	-0.0737	-0.0813	-0.1483
1.2	0.0012	-0.0223	-0.047	-0.058	-0.0647	-0.131
1.3	0.0012	-0.016	-0.0355	-0.0447	-0.0503	-0.1142
1.4	0.0013	-0.0115	-0.0265	-0.0317	-0.04	-0.093
1.5	0.0015	-0.0067	-0.0195	-0.0227	-0.0295	-0.0798
1.6	0.0017	-0.0038	-0.014	-0.016	-0.0225	-0.0617
1.7	0.0017	-0.0018	-0.0098	-0.0095	-0.0142	-0.049
1.8	0.0015	0.0002	-0.0053	-0.005	-0.0077	-0.0367
1.9	0.0015	0.0003	-0.0023	-0.0018	-0.003	-0.0252
2	0.0017	0.0003	-0.001	-0.0002	-0.0007	-0.017
2.1	0.0013	0.0005	-0.0005	0.0002	0.0005	-0.0103
2.2	0.0012	0.0005	-0.0005	0.0002	0.0005	-0.0045
2.3	0.0005	0.0006	-0.001	0.0002	0.0004	-0.001
2.4	0.0003	0.0003	-0.0013	0.0003	0.0003	0.0003
2.5	0.0002	-0.0003	-0.0013	0.0003	0	0
2.7	-0.0012	-0.0013	-0.0013	0.0003	0	-0.0003
2.9	-0.0025	-0.0023	-0.0013	-0.0005	-0.0008	-0.0005
Média(0.4-1.4)	-0.00009	-0.04083	-0.08251	-0.10915	-0.11880	-0.17365

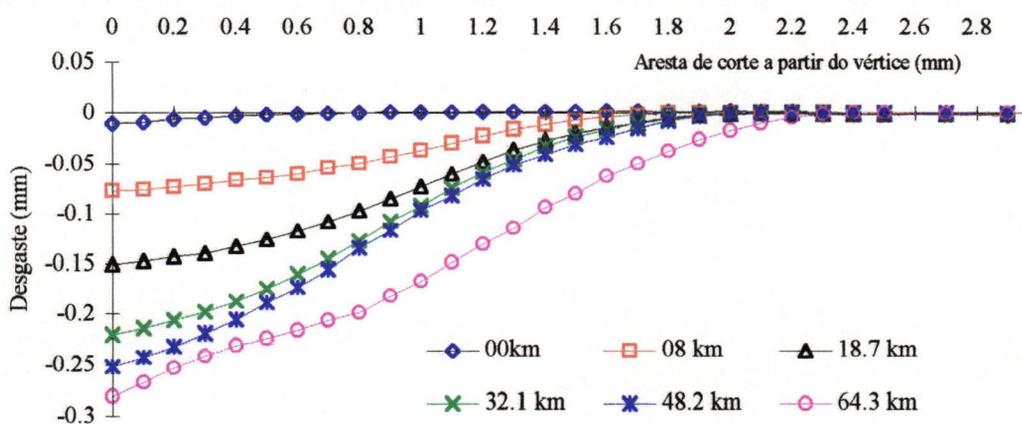


Figura 4.20-Desgaste das ferramentas de aço AISI D-6 a 3136 rpm, usando Eucalipto saturad

Tabela 4.29- Dados dos valores médios dos desgastes (mm) de todos os dentes para os diversos percursos efetivos de corte.							
Material	stellite 1	4320 rpm	Umidade 34,1 %				
P. de med. (mm)	0 km	12 km	26.8 km	44.2 km	67 km	88.4 km	
0	-0.036	-0.1017	-0.1345	-0.1655	-0.1984	-0.2306	
0.1	-0.028	-0.094	-0.1273	-0.1532	-0.1817	-0.2187	
0.2	-0.0198	-0.0808	-0.1148	-0.139	-0.1681	-0.2059	
0.3	-0.013	-0.0697	-0.1037	-0.1277	-0.1566	-0.1945	
0.4	-0.0086	-0.0603	-0.093	-0.1178	-0.1464	-0.1829	
0.5	-0.0045	-0.0513	-0.0857	-0.1095	-0.1376	-0.1728	
0.6	-0.002	-0.0447	-0.0778	-0.1035	-0.1288	-0.1624	
0.7	-0.0001	-0.0408	-0.072	-0.0963	-0.1215	-0.1515	
0.8	0.001	-0.036	-0.0667	-0.0908	-0.1143	-0.1377	
0.9	0.002	-0.0325	-0.0612	-0.0832	-0.1066	-0.1279	
1	0.0022	-0.0293	-0.0555	-0.0765	-0.098	-0.1158	
1.1	0.0024	-0.0252	-0.0493	-0.0687	-0.0891	-0.1011	
1.2	0.0024	-0.0223	-0.0425	-0.0605	-0.0799	-0.0875	
1.3	0.0024	-0.0185	-0.0342	-0.0507	-0.07	-0.0732	
1.4	0.0024	-0.0155	-0.0285	-0.0418	-0.0591	-0.0604	
1.5	0.0024	-0.0127	-0.022	-0.0335	-0.0478	-0.0474	
1.6	0.0019	-0.0092	-0.0168	-0.0268	-0.0378	-0.0357	
1.7	0.0015	-0.0078	-0.0112	-0.0182	-0.0279	-0.0246	
1.8	0.0014	-0.006	-0.0068	-0.0115	-0.0187	-0.0169	
1.9	0.0007	-0.0038	-0.0035	-0.0067	-0.0119	-0.0108	
2	0.0002	-0.0035	-0.0027	-0.003	-0.0074	-0.0064	
2.1	-0.0008	-0.003	-0.0012	-0.0022	-0.0043	-0.0039	
2.2	-0.0016	-0.0037	-0.0012	-0.0017	-0.0025	-0.0033	
2.3	-0.003	-0.0033	-0.0023	-0.0012	-0.0022	-0.0019	
2.4	-0.0051	-0.007	-0.004	-0.0035	-0.0072	-0.0077	
2.5	-0.009	-0.0075	-0.004	-0.0035	-0.0072	-0.0077	
2.6	-0.0121	-0.0075	-0.005	-0.0045	-0.0072	-0.0083	
2.7	-0.0141	-0.007	-0.006	-0.005	-0.0083	-0.0083	
2.8	-0.0161	-0.0085	-0.0075	-0.006	-0.0083	-0.0109	
2.9	-0.0183	-0.01	-0.0105	-0.006	-0.0099	-0.0128	
3	-0.0186	-0.0125	-0.0125	-0.01	-0.0111	-0.0128	
Média(0.4-1.4)	-0.00004	-0.03422	-0.06058	-0.08175	-0.10466	-0.12484	

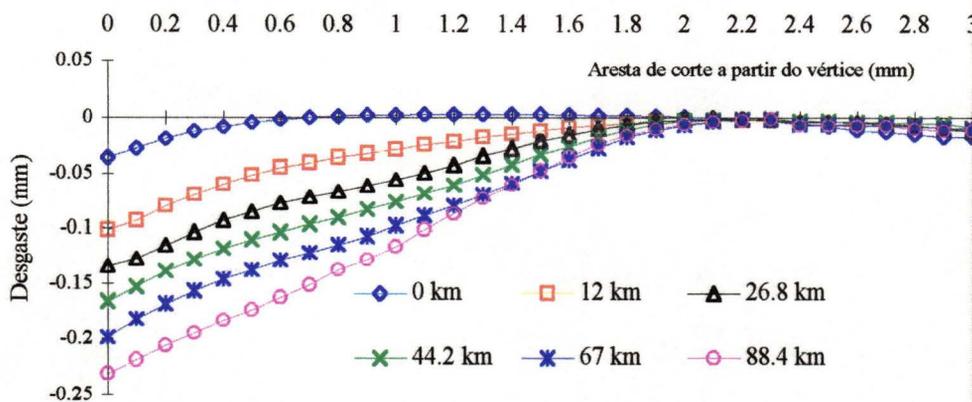


Figura 4.21- Desgaste das ferramentas de stellite 1 a 4320 rpm, usando Eucalipto saturado

Tabela 4.30- Dados dos valores médios dos desgastes (mm) de todos os dentes para os diversos percursos efetivos de corte.

Material	aço AISI tipo D-6	4320 rpm	Umidade 34,1 %			
P. de med. (mm)	0 km	12 km	26.8 km	44.2 km	67 km	88.4 km
0	-0.0257	-0.1053	-0.1847	-0.2468	-0.3093	-0.3482
0.1	-0.019	-0.1015	-0.1778	-0.237	-0.294	-0.3302
0.2	-0.0119	-0.0978	-0.1728	-0.2287	-0.2807	-0.3177
0.3	-0.0069	-0.0965	-0.1685	-0.2233	-0.269	-0.3062
0.4	-0.0039	-0.095	-0.1653	-0.2182	-0.2617	-0.3
0.5	-0.0027	-0.0928	-0.1597	-0.2108	-0.2545	-0.2933
0.6	-0.0012	-0.091	-0.1565	-0.2045	-0.2492	-0.2845
0.7	-0.0002	-0.088	-0.1515	-0.197	-0.2408	-0.274
0.8	0.0003	-0.0855	-0.1443	-0.1873	-0.229	-0.2602
0.9	0.0005	-0.0817	-0.1348	-0.1762	-0.2175	-0.2443
1	0.0006	-0.0775	-0.1272	-0.1637	-0.2042	-0.2283
1.1	0.0008	-0.0702	-0.1187	-0.1518	-0.186	-0.2103
1.2	0.0013	-0.0662	-0.108	-0.1397	-0.1723	-0.1937
1.3	0.0021	-0.0613	-0.0965	-0.1238	-0.1563	-0.1725
1.4	0.0021	-0.0547	-0.0842	-0.111	-0.1392	-0.1563
1.5	0.0021	-0.0468	-0.0745	-0.092	-0.1177	-0.1332
1.6	0.0018	-0.0402	-0.0652	-0.0813	-0.1003	-0.1113
1.7	0.0016	-0.0352	-0.0542	-0.0658	-0.0835	-0.0912
1.8	0.0018	-0.0302	-0.047	-0.0543	-0.0683	-0.074
1.9	0.0016	-0.0232	-0.0368	-0.0425	-0.0545	-0.0595
2	0.0015	-0.0185	-0.0283	-0.032	-0.0415	-0.045
2.1	0.0013	-0.0128	-0.0212	-0.0232	-0.0305	-0.0325
2.2	0.0011	-0.0083	-0.0148	-0.0162	-0.0205	-0.0233
2.3	0.0011	-0.005	-0.0097	-0.0102	-0.0118	-0.0152
2.4	0.0011	-0.002	-0.0068	-0.0058	-0.007	-0.0097
2.5	0.0008	-0.0007	-0.0028	-0.0032	-0.0025	-0.0055
2.6	0.0008	0.0007	-0.0017	-0.0012	-0.0005	-0.0028
2.7	0.0005	0.0012	-0.0008	-0.0003	0.001	-0.002
2.8	-0.0005	0.0012	-0.0003	-0.0003	0.001	-0.0013
2.9	-0.0009	0.001	-0.0012	-0.0005	0.001	-0.0012
3	-0.001	0.0005	-0.0017	-0.0015	0.0005	-0.0002
3.1	-0.0017	-0.0003	-0.0022	-0.0022	-0.0003	-0.0008
3.2	-0.002	-0.001	-0.0022	-0.0023	-0.0013	-0.002
3.3	-0.0025	-0.002	-0.0025	-0.003	-0.0023	-0.0027
3.4	-0.0025	-0.0023	-0.0028	-0.0037	-0.003	-0.0035
3.5	-0.0025	-0.0023	-0.0027	-0.0038	-0.0037	-0.004
Média(0.4-1.4)	-0.00003	-0.07854	-0.13152	-0.17127	-0.21006	-0.23795

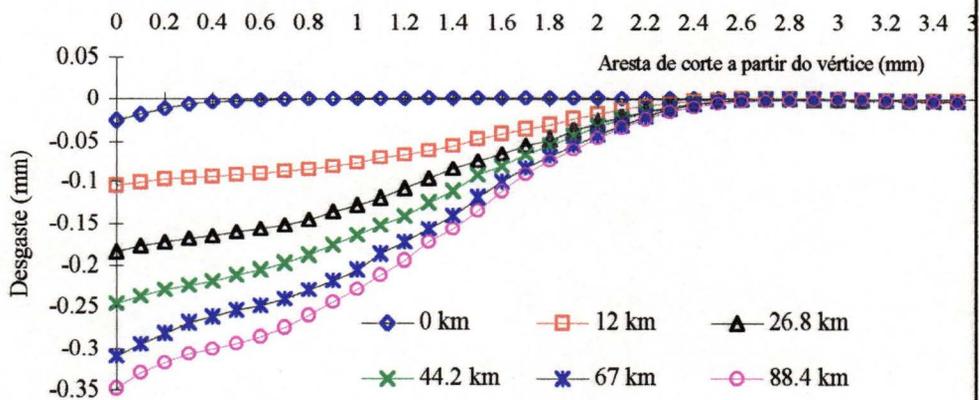


Figura 4.22- Desgaste das ferramentas de aço AISI D-6 a 4320 rpm, usando Eucalipto saturad

Tabela 4.31- Dados dos valores médios dos desgastes (mm) de todos os dentes para os diversos percursos efetivos de corte.							
Material	stellite 1	6220 rpm	Umidade 32,8 %				
P. de med. (mm)	0 Km	16 Km	37.5 Km	64.3 Km	96.5 Km	128.6 km	
0	-0.0393	-0.0935	-0.14	-0.187	-0.214	-0.2563	
0.1	-0.0325	-0.0822	-0.13	-0.1788	-0.2055	-0.2468	
0.2	-0.0247	-0.0718	-0.1188	-0.1653	-0.1907	-0.2297	
0.3	-0.0167	-0.0628	-0.1055	-0.1523	-0.1763	-0.2158	
0.4	-0.0118	-0.0543	-0.095	-0.1395	-0.1643	-0.2043	
0.5	-0.008	-0.0487	-0.0867	-0.1265	-0.1538	-0.1937	
0.6	-0.0048	-0.0422	-0.0792	-0.1192	-0.1455	-0.1828	
0.7	-0.002	-0.0357	-0.0722	-0.1107	-0.1353	-0.1758	
0.8	0.0003	-0.0322	-0.0657	-0.1027	-0.1293	-0.1683	
0.9	0.0023	-0.029	-0.0607	-0.0972	-0.1218	-0.1602	
1	0.0037	-0.026	-0.0577	-0.092	-0.114	-0.1512	
1.1	0.0048	-0.0222	-0.0525	-0.0853	-0.1077	-0.1423	
1.2	0.0052	-0.0187	-0.0473	-0.0787	-0.1015	-0.1352	
1.3	0.0055	-0.0157	-0.0432	-0.0732	-0.0927	-0.127	
1.4	0.0055	-0.014	-0.039	-0.0678	-0.0858	-0.118	
1.5	0.0052	-0.0125	-0.0348	-0.0607	-0.0768	-0.1065	
1.6	0.0047	-0.0097	-0.0285	-0.052	-0.0687	-0.0928	
1.7	0.0045	-0.006	-0.0228	-0.0453	-0.0595	-0.0807	
1.8	0.0052	-0.0022	-0.017	-0.0343	-0.0518	-0.0697	
1.9	0.0057	0.0002	-0.0117	-0.0277	-0.0435	-0.058	
2	0.0057	0.0003	-0.0085	-0.0237	-0.0362	-0.0492	
2.1	0.0057	0.0013	-0.0053	-0.0185	-0.0285	-0.0355	
2.2	0.0057	0.0033	-0.0023	-0.012	-0.0183	-0.0222	
2.3	0.0057	0.0047	0.0013	-0.0058	-0.0103	-0.0125	
2.4	0.0052	0.0048	0.0035	-0.0002	-0.0028	-0.0067	
2.5	0.0048	0.0047	0.004	0.0027	0.0015	-0.0007	
2.6	0.004	0.0043	0.0038	0.0033	0.0035	0.0028	
2.7	0.0035	0.004	0.0036	0.0036	0.004	0.0034	
2.8	0.0028	0.004	0.0042	0.0038	0.0042	0.0042	
2.9	0.0025	0.0038	0.0044	0.004	0.004	0.004	
3	0.0018	0.0038	0.0036	0.004	0.003	0.003	
Média(0.4-1.4)	0.00006	-0.03079	-0.06356	-0.09935	-0.12288	-0.15989	

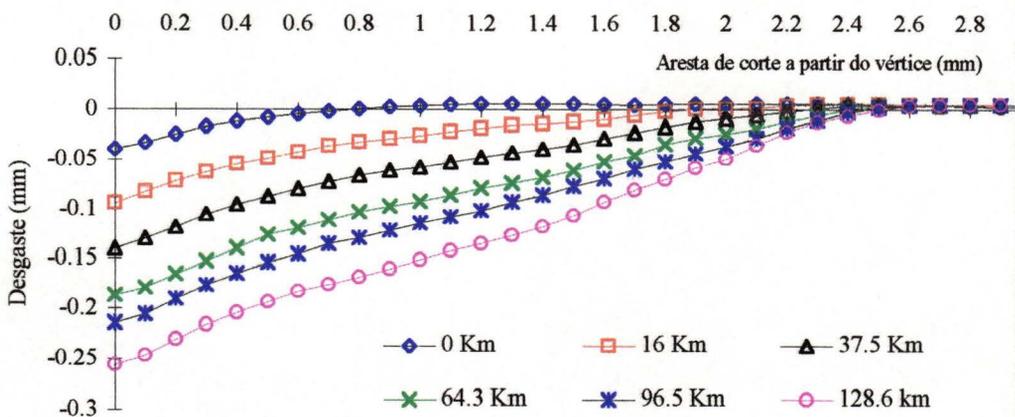


Figura 4.23- Desgaste das ferramentas de stellite 1 a 6220 rpm, usando Eucalipto saturado

Tabela 4.32- Dados dos valores médios dos desgastes (mm) de todos os dentes para os diversos percursos efetivos de corte.

Material	aço AISI tipo D-6 6220 rpm Umidade 32,8 %					
P. de med. (mm)	0 Km	16 Km	37.5 Km	64.3 Km	96.5 Km	128.6 Km
0	-0.0328	-0.1347	-0.1713	-0.2442	-0.2837	-0.3362
0.1	-0.025	-0.1267	-0.163	-0.238	-0.2755	-0.3252
0.2	-0.0183	-0.116	-0.1608	-0.2282	-0.2632	-0.3123
0.3	-0.0122	-0.1095	-0.1542	-0.224	-0.2557	-0.3005
0.4	-0.0077	-0.1052	-0.1508	-0.2202	-0.2513	-0.2937
0.5	-0.005	-0.1027	-0.1483	-0.2145	-0.2482	-0.2887
0.6	-0.0017	-0.1015	-0.1447	-0.2102	-0.2445	-0.287
0.7	0	-0.0978	-0.1407	-0.206	-0.2408	-0.2843
0.8	0.0012	-0.0937	-0.1358	-0.2012	-0.2382	-0.2817
0.9	0.0017	-0.0908	-0.1325	-0.1945	-0.2327	-0.2763
1	0.002	-0.0848	-0.127	-0.1882	-0.2268	-0.2693
1.1	0.002	-0.0773	-0.1192	-0.1778	-0.2183	-0.2618
1.2	0.0022	-0.0708	-0.1113	-0.1688	-0.2075	-0.2485
1.3	0.0022	-0.0655	-0.1032	-0.16	-0.1963	-0.2343
1.4	0.0022	-0.059	-0.0915	-0.146	-0.1847	-0.2242
1.5	0.0023	-0.05	-0.0812	-0.1308	-0.1697	-0.2032
1.6	0.002	-0.0428	-0.0688	-0.1158	-0.1528	-0.1857
1.7	0.002	-0.0363	-0.0548	-0.1002	-0.1402	-0.1662
1.8	0.0022	-0.0273	-0.0462	-0.086	-0.1223	-0.1455
1.9	0.0022	-0.0213	-0.0373	-0.0753	-0.1053	-0.1227
2	0.0022	-0.0142	-0.0272	-0.0597	-0.0905	-0.1065
2.1	0.0022	-0.0088	-0.0198	-0.0483	-0.0755	-0.0825
2.2	0.0022	-0.0055	-0.0123	-0.038	-0.0583	-0.0648
2.3	0.0022	-0.0028	-0.0067	-0.0283	-0.0418	-0.0505
2.4	0.0022	-0.0008	-0.003	-0.0202	-0.031	-0.0382
2.5	0.002	0.0005	-0.0012	-0.013	-0.0218	-0.0265
2.6	0.002	0.002	0	-0.0083	-0.0145	-0.018
2.7	0.002	0.0022	0.002	-0.0052	-0.0078	-0.0118
2.8	0.002	0.002	0.002	-0.003	-0.003	-0.0053
2.9	0.002	0.002	0.002	-0.001	0.0005	-0.0013
3	0.002	0.002	0.002	0.0005	0.002	0.0007
3.1	0.002	0.0022	0.002	0.0018	0.0027	0.0013
3.2	0.002	0.0022	0.002	0.0018	0.0027	0.0022
3.3	0.002	0.002	0.0018	0.0018	0.0022	0.0025
3.4	0.002	0.0018	0.0018	0.0018	0.0022	0.0023
3.5	0.002	0.0018	0.0017	0.0018	0.0018	0.0018
Média(0.4-1.4)	-0.00139	-0.09087	-0.13343	-0.19685	-0.23275	-0.2751

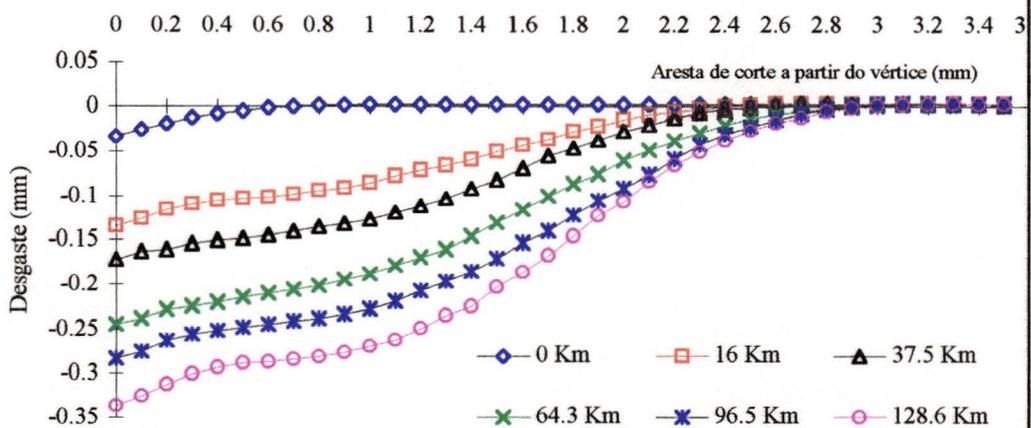


Figura 4.24- Desgaste das ferramentas de aço AISI D-6 a 6220 rpm, usando Eucalipto saturad

Tabela 4.33- Dados dos valores médios dos desgastes (mm) de todos os dentes para os diversos percursos efetivos de corte.						
Material	stellite 1	6220 rpm	Madeira saturada			Umidade 40 ,5 %
P. de med. (mm)	00 km	16 km	37.5 km	64.3 km	96.5 km	
0	-0.0338	-0.0905	-0.1263	-0.172	-0.2217	
0.1	-0.0288	-0.0875	-0.1218	-0.1675	-0.2168	
0.2	-0.0235	-0.076	-0.111	-0.1563	-0.2002	
0.3	-0.017	-0.07	-0.1025	-0.1463	-0.1893	
0.4	-0.0125	-0.0627	-0.0958	-0.1377	-0.1793	
0.5	-0.009	-0.0588	-0.0895	-0.131	-0.1697	
0.6	-0.0057	-0.0533	-0.0832	-0.1248	-0.161	
0.7	-0.003	-0.0495	-0.0785	-0.1172	-0.1537	
0.8	-0.0007	-0.047	-0.0728	-0.1108	-0.1463	
0.9	0.0015	-0.043	-0.0683	-0.1057	-0.1382	
1	0.0033	-0.0407	-0.0627	-0.0997	-0.1308	
1.1	0.0047	-0.0385	-0.0592	-0.0938	-0.124	
1.2	0.0062	-0.0372	-0.0553	-0.0873	-0.1143	
1.3	0.0068	-0.0348	-0.051	-0.078	-0.1015	
1.4	0.0075	-0.031	-0.0445	-0.069	-0.0855	
1.5	0.0077	-0.0287	-0.0375	-0.0578	-0.0722	
1.6	0.0078	-0.025	-0.0298	-0.0443	-0.0543	
1.7	0.0078	-0.021	-0.0218	-0.0328	-0.0415	
1.8	0.0078	-0.0165	-0.0165	-0.0225	-0.0282	
1.9	0.0077	-0.012	-0.0077	-0.011	-0.016	
2	0.0077	-0.0073	-0.0005	-0.0003	-0.007	
2.1	0.0077	-0.0032	0.004	0.0052	0.0018	
2.2	0.0073	-0.0007	0.0045	0.0067	0.0083	
2.3	0.0063	0.0005	0.0053	0.0063	0.0093	
2.4	0.0058	0.0025	0.005	0.0043	0.0088	
2.5	0.0048	0.0028	0.0057	0.0028	0.0087	
2.6	0.0046	0.0038	0.0066	0.0024	0.0082	
2.7	0.0034	0.0024	0.006	0.0034	0.0064	
2.8	0.0014	0.0018	0.0034	0.0034	0.0056	
2.9	-0.0006	0	0.0008	0.0002	0.003	
3	-0.0026	-0.0026	-0.0013	-0.0013	-0.001	
Média(0.4-1.4)	-0.00008	-0.04514	-0.06916	-0.105	-0.13675	

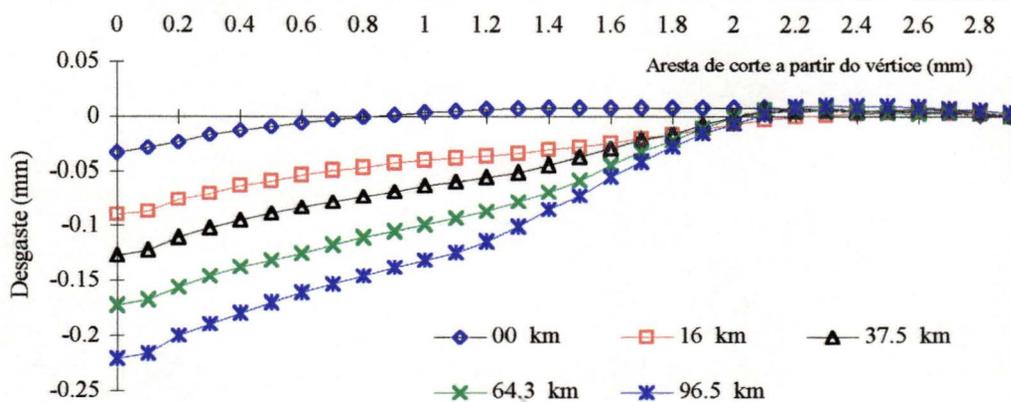


Figura 4.25-Desgaste das ferramentas de stellite 1 a 6220 rpm, (2) usando Eucalipto saturado

Tabela 4.34- Dados dos valores médios dos desgastes (mm) de todos os dentes para os diversos percursos efetivos de corte.

Material	aço AISI tipo D-6	6220 rpm	Madeira saturada			Umidade 40 ,5 %
P. de med. (mm)	00 km	16 km	27.5 km	64.3 km	96.5 km	
0	-0.0245	-0.1227	-0.1707	-0.2497	-0.319	
0.1	-0.0223	-0.119	-0.1687	-0.2458	-0.3145	
0.2	-0.0157	-0.1153	-0.1643	-0.2333	-0.3003	
0.3	-0.0103	-0.1133	-0.1622	-0.2263	-0.291	
0.4	-0.0068	-0.1102	-0.159	-0.22	-0.2832	
0.5	-0.004	-0.1088	-0.1557	-0.2172	-0.2768	
0.6	-0.0023	-0.1073	-0.152	-0.2127	-0.2725	
0.7	-0.0008	-0.1057	-0.1505	-0.2087	-0.2675	
0.8	0	-0.104	-0.149	-0.2053	-0.26	
0.9	0.0005	-0.1022	-0.1442	-0.1995	-0.2495	
1	0.0012	-0.0993	-0.1392	-0.1915	-0.2385	
1.1	0.002	-0.0958	-0.132	-0.184	-0.2287	
1.2	0.0025	-0.0928	-0.1267	-0.1773	-0.2142	
1.3	0.0027	-0.0902	-0.119	-0.1675	-0.1938	
1.4	0.0028	-0.0828	-0.1085	-0.1495	-0.1657	
1.5	0.0028	-0.076	-0.0945	-0.128	-0.1453	
1.6	0.0028	-0.0662	-0.0797	-0.109	-0.1245	
1.7	0.0028	-0.0568	-0.0655	-0.0922	-0.1003	
1.8	0.0028	-0.0463	-0.0488	-0.0722	-0.0815	
1.9	0.0028	-0.0352	-0.0353	-0.0528	-0.0632	
2	0.0027	-0.0253	-0.0233	-0.0358	-0.0427	
2.1	0.0027	-0.0175	-0.0138	-0.0213	-0.0297	
2.2	0.0027	-0.0112	-0.007	-0.0113	-0.0195	
2.3	0.0027	-0.0062	-0.0018	-0.0042	-0.0097	
2.4	0.0027	-0.0025	0.0015	0.0002	-0.0042	
2.5	0.0027	-0.0005	0.003	0.0032	0.0008	
2.6	0.0027	0.0005	0.0027	0.0043	0.0023	
2.7	0.0027	0.0007	0.0027	0.0045	0.0042	
2.8	0.0027	0.0007	0.0032	0.0048	0.0043	
2.9	0.0027	0.0005	0.0033	0.0048	0.0045	
3	0.0027	0.0002	0.0032	0.0047	0.0045	
3.1	0.0027	0.0002	0.0027	0.0047	0.0043	
3.2	0.0027	0.0002	0.0028	0.0046	0.0042	
3.3	0.0028	-0.0002	0.0026	0.0042	0.0036	
3.4	0.0028	0.0007	0.0028	0.0038	0.003	
3.5	0.0028	0.0007	0.0032	0.003	0.0028	
Média(0.4-1.4)	-0.0002	-0.09992	-0.13962	-0.19393	-0.24095	

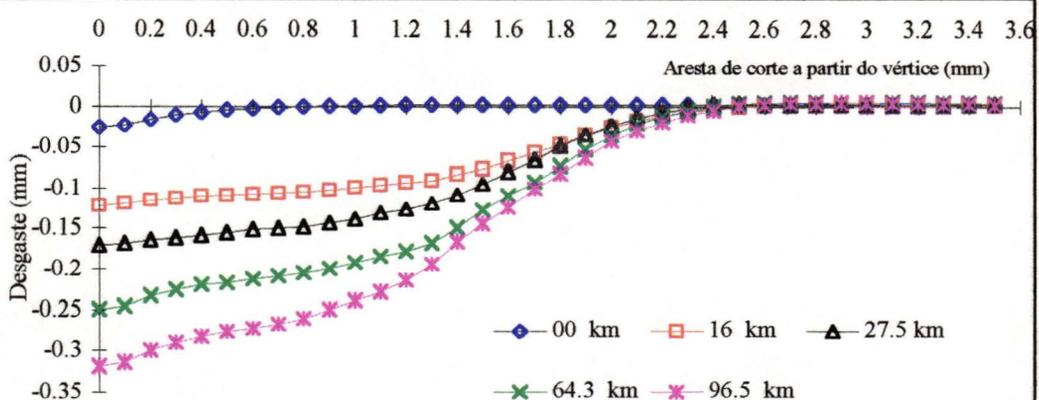


Figura 4.26-Desgaste das ferramentas de aço AISI D-6 a 6220 rpm, (2) usando Eucalipto sativa



Tabela 4.36 Dados dos valores médios dos desgastes (mm) de todos os dentes para os diversos percursos efetivos de corte.

Material	aço AISI tipo D-6	3136 rpm	Madeira seca				
P. de med. (mm)	00 km	8 km	18.7 km	37.5km	70 km	116.6km	
0	-0.0345	-0.0645	-0.0783	-0.0952	-0.133	-0.1815	
0.1	-0.0295	-0.0592	-0.0765	-0.0903	-0.1305	-0.176	
0.2	-0.0238	-0.0545	-0.0687	-0.084	-0.1265	-0.1708	
0.3	-0.0192	-0.0522	-0.0648	-0.0808	-0.1203	-0.1638	
0.4	-0.0138	-0.049	-0.064	-0.077	-0.1153	-0.1557	
0.5	-0.0097	-0.0478	-0.0618	-0.0748	-0.1115	-0.1527	
0.6	-0.0065	-0.0447	-0.0605	-0.0718	-0.1087	-0.1505	
0.7	-0.0033	-0.0425	-0.0578	-0.0687	-0.1075	-0.1492	
0.8	-0.0012	-0.04	-0.0543	-0.0675	-0.1045	-0.146	
0.9	0.001	-0.0387	-0.0523	-0.0648	-0.103	-0.1407	
1	0.0038	-0.0372	-0.0498	-0.0602	-0.1008	-0.1363	
1.1	0.0048	-0.0352	-0.046	-0.057	-0.0987	-0.1315	
1.2	0.0055	-0.0327	-0.0447	-0.0543	-0.0942	-0.127	
1.3	0.0063	-0.0302	-0.0437	-0.0503	-0.0913	-0.1182	
1.4	0.0068	-0.0268	-0.0388	-0.0475	-0.086	-0.1052	
1.5	0.008	-0.0228	-0.0353	-0.044	-0.08	-0.097	
1.6	0.0085	-0.0188	-0.0308	-0.0408	-0.0725	-0.0865	
1.7	0.0088	-0.0155	-0.0275	-0.0357	-0.0622	-0.0745	
1.8	0.0088	-0.0127	-0.0243	-0.0327	-0.0522	-0.0627	
1.9	0.009	-0.0105	-0.0203	-0.0292	-0.0443	-0.0503	
2	0.009	-0.0053	-0.0145	-0.0212	-0.0335	-0.0393	
2.1	0.009	0.0002	-0.0095	-0.0162	-0.0243	-0.029	
2.2	0.009	0.0043	-0.0042	-0.0097	-0.0158	-0.0182	
2.3	0.009	0.0077	-0.0012	-0.0047	-0.0068	-0.0093	
2.4	0.009	0.0087	0.004	0.0005	-0.0007	-0.002	
2.5	0.009	0.0095	0.0073	0.0038	0.0048	0.0027	
2.6	0.0088	0.0095	0.0088	0.0068	0.0075	0.0057	
2.7	0.0088	0.0095	0.0092	0.0077	0.009	0.0078	
2.8	0.0088	0.0097	0.0097	0.0087	0.0093	0.009	
2.9	0.0088	0.0097	0.0097	0.009	0.009	0.0093	
3	0.0087	0.0097	0.0097	0.009	0.009	0.0093	
3.1	0.0085	0.0095	0.0097	0.009	0.0085	0.0093	
3.2	0.0085	0.0092	0.0095	0.0088	0.009	0.0093	
3.3	0.0083	0.009	0.0092	0.009	0.009	0.0095	
3.4	0.0083	0.009	0.0092	0.009	0.009	0.0093	
3.5	0.0083	0.0102	0.009	0.0092	0.0088	0.0093	
Média(0.4-1.4)	-0.00057	-0.03862	-0.05215	-0.06308	-0.10195	-0.13755	

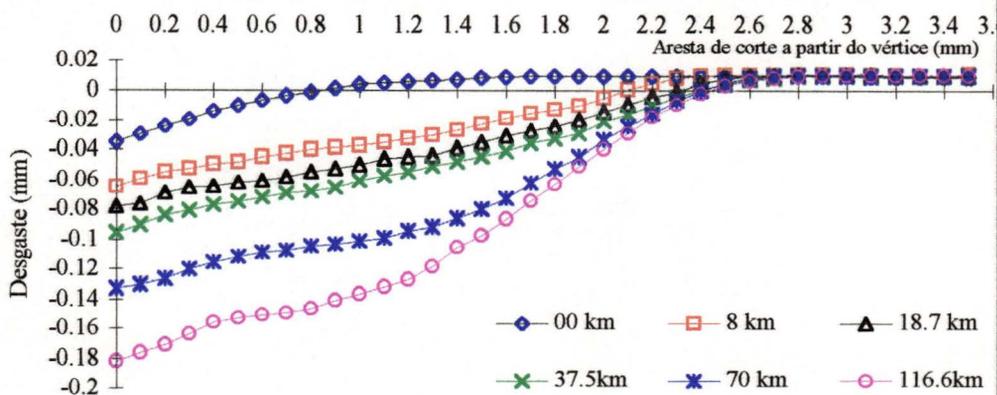


Figura 4.28-Desgaste das ferramentas de aço AISI D-6 a 3136 rpm, usando Eucalipto seco.

Tabela 4.37- Dados dos valores médios dos desgastes (mm) de todos os dentes para os diversos percursos efetivos de corte.

Material	stellite 1	4320 rpm	Madeira seca							
P. de med. (mm)	00km	13.4km	29.5km	64.6km	99.1km	134km				
0	-0.0228	-0.055	-0.0815	-0.1355	-0.1588	-0.1797				
0.1	-0.0183	-0.0503	-0.0795	-0.1307	-0.153	-0.1752				
0.2	-0.0117	-0.0458	-0.0713	-0.1167	-0.1403	-0.16				
0.3	-0.0068	-0.0418	-0.0662	-0.1077	-0.1322	-0.1485				
0.4	-0.0035	-0.0397	-0.0618	-0.0978	-0.1235	-0.1363				
0.5	-0.0013	-0.0377	-0.0553	-0.0908	-0.1152	-0.127				
0.6	0.0002	-0.036	-0.0513	-0.0857	-0.1092	-0.1208				
0.7	0.0009	-0.0353	-0.051	-0.0815	-0.0993	-0.1113				
0.8	0.0013	-0.032	-0.0472	-0.0752	-0.0897	-0.1037				
0.9	0.0014	-0.0255	-0.0415	-0.0677	-0.0817	-0.0933				
1	0.0011	-0.0222	-0.0363	-0.0615	-0.0765	-0.087				
1.1	0.0004	-0.02	-0.0328	-0.056	-0.0698	-0.0797				
1.2	0.0002	-0.0162	-0.0285	-0.0527	-0.061	-0.0715				
1.3	0.0003	-0.0113	-0.0237	-0.0465	-0.0537	-0.0663				
1.4	0.0005	-0.0072	-0.0195	-0.0417	-0.0482	-0.057				
1.5	0.0005	-0.0048	-0.0172	-0.0355	-0.0415	-0.0515				
1.6	0.0005	-0.0027	-0.0138	-0.0313	-0.0358	-0.0448				
1.7	0.0004	-0.0015	-0.0105	-0.0272	-0.031	-0.0387				
1.8	0	-0.001	-0.0095	-0.023	-0.0247	-0.03				
1.9	-0.0008	-0.0005	-0.0072	-0.0195	-0.0185	-0.0252				
2	-0.0018	-0.0003	-0.0048	-0.015	-0.0147	-0.0178				
2.1	-0.0027	-0.0005	-0.0038	-0.0095	-0.012	-0.0152				
2.2	-0.0032	-0.0003	-0.0033	-0.006	-0.0075	-0.0107				
2.3	-0.0029	0.0007	-0.002	-0.0038	-0.0052	-0.0072				
2.4	-0.0028	0.0005	-0.0018	-0.0032	-0.0037	-0.0045				
2.5	-0.0031	0.0005	-0.002	-0.0025	-0.0025	-0.0033				
2.6	-0.0036	-0.0002	-0.002	-0.0025	-0.0023	-0.0027				
2.7	-0.0042	-0.001	-0.0025	-0.0025	-0.0023	-0.0023				
2.8	-0.004	-0.002	-0.0028	-0.0025	-0.0025	-0.0025				
2.9	-0.0042	-0.0028	-0.0035	-0.003	-0.0028	-0.0027				
3	-0.0047	-0.0037	-0.0035	-0.0035	-0.0033	-0.003				
Média(0.4-1.4)	0.00014	-0.02574	-0.04081	-0.06883	-0.08435	-0.09581				

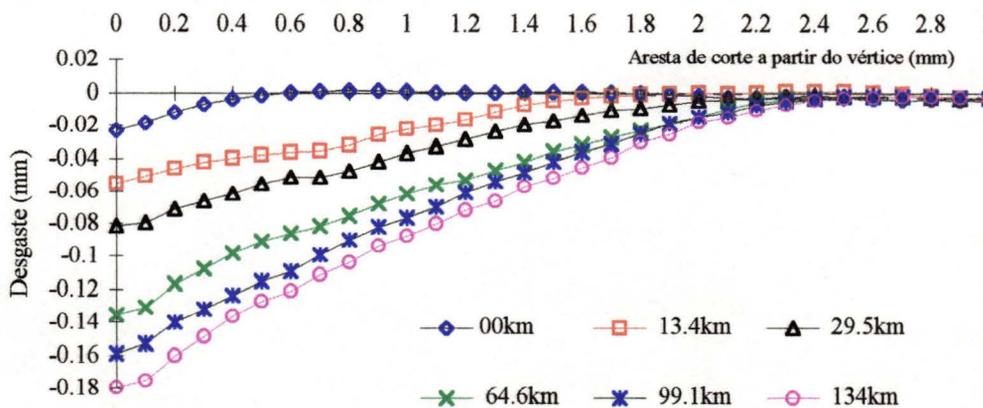


Figura 4.29- Desgaste das ferramentas de stellite 1 a 4320 rpm, usando Eucalipto seco

Tabela 4.38- Dados dos valores médios dos desgastes (mm) de todos os dentes para os diversos percursos efetivos de corte.

Material	aço AISI tipo D-6 4320 rpm Madeira seca					
P. de med. (mm)	00km	13.4km	29.5 km	64.5 km	99.1 km	134 km
0	-0.0156	-0.05	-0.0748	-0.1388	-0.1515	-0.1808
0.1	-0.0139	-0.0474	-0.0725	-0.131	-0.1445	-0.176
0.2	-0.0094	-0.0445	-0.0683	-0.1207	-0.1362	-0.1623
0.3	-0.0068	-0.0433	-0.0627	-0.1105	-0.1292	-0.1547
0.4	-0.0049	-0.0418	-0.0608	-0.105	-0.126	-0.1473
0.5	-0.0028	-0.0399	-0.058	-0.1008	-0.123	-0.1435
0.6	-0.0016	-0.0385	-0.0563	-0.0987	-0.1202	-0.1388
0.7	-0.0008	-0.0372	-0.0553	-0.097	-0.117	-0.1357
0.8	-0.0001	-0.0358	-0.0538	-0.095	-0.1102	-0.1315
0.9	0.0001	-0.0333	-0.0512	-0.0872	-0.1047	-0.123
1	0.0009	-0.0305	-0.0472	-0.082	-0.1002	-0.119
1.1	0.0013	-0.0293	-0.044	-0.0797	-0.0987	-0.1155
1.2	0.0018	-0.027	-0.0425	-0.0768	-0.0932	-0.1102
1.3	0.0019	-0.0239	-0.0402	-0.0728	-0.0862	-0.1038
1.4	0.0024	-0.0223	-0.0368	-0.0653	-0.079	-0.0953
1.5	0.0026	-0.02	-0.0342	-0.0598	-0.072	-0.0878
1.6	0.0031	-0.016	-0.029	-0.0553	-0.0603	-0.0782
1.7	0.0038	-0.0114	-0.024	-0.0495	-0.0522	-0.0647
1.8	0.0041	-0.0063	-0.0193	-0.0405	-0.0402	-0.054
1.9	0.0044	-0.0021	-0.0153	-0.0342	-0.0297	-0.043
2	0.0046	0.0005	-0.0115	-0.0257	-0.0228	-0.0318
2.1	0.0049	0.0023	-0.007	-0.0157	-0.0165	-0.0235
2.2	0.0049	0.0031	-0.0035	-0.0107	-0.012	-0.0157
2.3	0.0049	0.0034	0.0003	-0.0067	-0.0092	-0.0117
2.4	0.0048	0.0037	0.0015	-0.0038	-0.0048	-0.0087
2.5	0.0048	0.0037	0.0025	-0.0008	-0.0023	-0.005
2.6	0.0048	0.0037	0.0032	0.001	-0.0002	-0.0033
2.7	0.0048	0.0036	0.0032	0.0022	0.0013	-0.001
2.8	0.0046	0.0035	0.0032	0.0025	0.0022	-0.0002
2.9	0.0046	0.0035	0.0032	0.0027	0.003	0.0007
3	0.0046	0.0034	0.0032	0.0025	0.003	0.0018
3.1	0.0043	0.0033	0.0033	0.003	0.0033	0.0025
3.2	0.0043	0.0033	0.0033	0.003	0.0033	0.0028
3.3	0.0043	0.0033	0.0032	0.003	0.0033	0.0032
3.4	0.0041	0.0033	0.0032	0.0028	0.0033	0.0032
3.5	0.0041	0.0033	0.0032	0.0028	0.0033	0.0032
Média(0.4-1.4)	-0.00016	-0.03268	-0.04965	-0.08730	-0.10531	-0.12396

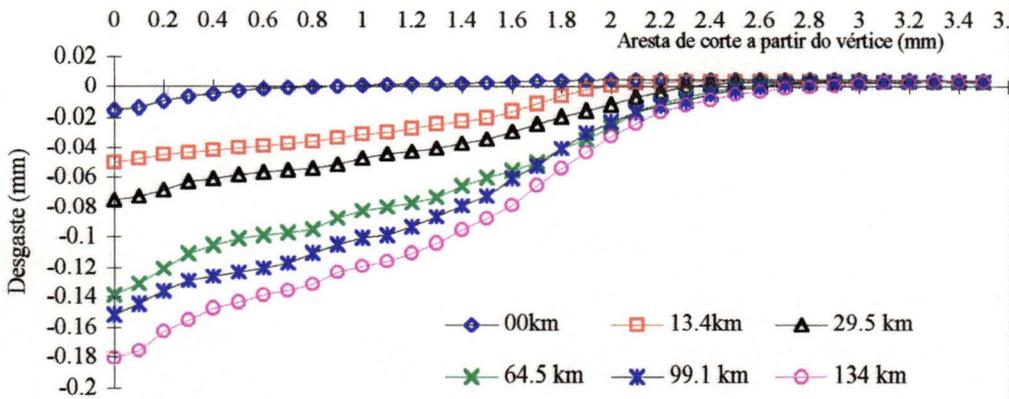


Figura 4.30- Desgaste das ferramentas de aço AISI D-6 a 4320 rpm, usando Eucalipto seco



Tabela 4.40- Dados dos valores médios dos desgastes (mm) de todos os dentes para os diversos percursos efetivos de corte.						
Material	aço AISI tipo D-6	5320 rpm	Madeira seca			
P. de med. (mm)	0 km	20.1 km	46.9 km	80.4 km	113.9 km	
0	-0.018	-0.139	-0.198	-0.268	-0.3255	
0.1	-0.017	-0.117	-0.173	-0.224	-0.2890	
0.2	-0.011	-0.105	-0.155	-0.202	-0.2565	
0.3	-0.007	-0.094	-0.138	-0.181	-0.2310	
0.4	-0.004	-0.082	-0.125	-0.165	-0.2108	
0.5	-0.003	-0.074	-0.114	-0.150	-0.1922	
0.6	-0.002	-0.068	-0.105	-0.137	-0.1740	
0.7	-0.001	-0.062	-0.094	-0.122	-0.1545	
0.8	0.000	-0.052	-0.083	-0.108	-0.1410	
0.9	0.001	-0.045	-0.078	-0.099	-0.1245	
1	0.001	-0.039	-0.070	-0.089	-0.1098	
1.1	0.002	-0.034	-0.059	-0.079	-0.0952	
1.2	0.002	-0.028	-0.051	-0.072	-0.0840	
1.3	0.002	-0.023	-0.046	-0.059	-0.0720	
1.4	0.002	-0.018	-0.039	-0.049	-0.0612	
1.5	0.003	-0.013	-0.031	-0.040	-0.0495	
1.6	0.003	-0.010	-0.024	-0.034	-0.0415	
1.7	0.003	-0.005	-0.015	-0.027	-0.0330	
1.8	0.002	-0.002	-0.012	-0.021	-0.0277	
1.9	0.002	0.001	-0.008	-0.015	-0.0210	
2	0.002	0.002	-0.004	-0.011	-0.0160	
2.1	0.002	0.003	-0.001	-0.009	-0.0108	
2.2	0.002	0.003	0.001	-0.006	-0.0085	
2.3	0.002	0.003	0.001	-0.003	-0.0062	
2.4	0.002	0.003	0.002	-0.002	-0.0040	
2.5	0.002	0.003	0.002	-0.001	-0.0020	
2.6	0.002	0.003	0.002	0.001	-0.0013	
2.7	0.002	0.003	0.002	0.001	-0.0010	
2.8	0.002	0.003	0.002	0.002	-0.0003	
2.9	0.002	0.003	0.002	0.002	0.0005	
3	0.002	0.002	0.002	0.002	0.0015	
3.1	0.002	0.002	0.002	0.002	0.0017	
3.2	0.002	0.002	0.002	0.002	0.0015	
3.3	0.002	0.002	0.002	0.002	0.0017	
3.4	0.002	0.002	0.002	0.002	0.0020	
Média(0.4-1.4)	0.00060	-0.04145	-0.07000	-0.09124	-0.11435	

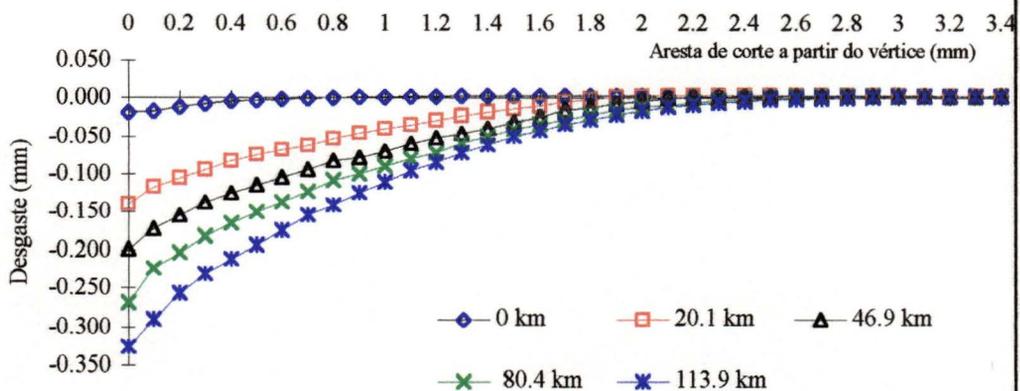


Figura 4.32- Desgaste das ferramentas de aço AISI D-6 a 5320 rpm, usando Eucalipto seco

Tabela 4.41- Dados dos valores médios dos desgastes (mm) de todos os dentes para os diversos percursos efetivos de corte.

Material	stellite 1	6220 rpm	Madeira seca				
P. de med. (mm)	0 km	20.1 km	40.2 km	67 km	107 km		
0	-0.0238	-0.1037	-0.159	-0.1968	-0.239		
0.1	-0.0203	-0.0995	-0.1543	-0.1898	-0.226		
0.2	-0.0138	-0.085	-0.1368	-0.1693	-0.2055		
0.3	-0.0077	-0.0752	-0.1218	-0.1537	-0.1865		
0.4	-0.005	-0.066	-0.112	-0.1412	-0.171		
0.5	-0.0022	-0.0585	-0.1035	-0.1317	-0.1593		
0.6	-0.0008	-0.0525	-0.0942	-0.1228	-0.147		
0.7	0.0002	-0.0472	-0.0873	-0.1163	-0.1365		
0.8	0.0005	-0.0427	-0.0828	-0.1077	-0.1242		
0.9	0.0012	-0.0362	-0.0768	-0.0975	-0.1127		
1	0.0013	-0.0292	-0.0695	-0.0902	-0.1012		
1.1	0.0015	-0.0253	-0.0652	-0.0838	-0.0913		
1.2	0.0015	-0.0212	-0.0585	-0.0743	-0.0827		
1.3	0.0013	-0.0167	-0.0525	-0.0678	-0.0742		
1.4	0.0013	-0.0123	-0.0447	-0.0598	-0.0633		
1.5	0.0007	-0.0072	-0.0413	-0.0527	-0.053		
1.6	0.0002	-0.0053	-0.0335	-0.043	-0.0465		
1.7	0.0008	-0.002	-0.0258	-0.0338	-0.0373		
1.8	0.0022	0.0003	-0.019	-0.0287	-0.029		
1.9	0.0022	0.0027	-0.0117	-0.0208	-0.0228		
2	0.002	0.0032	-0.0063	-0.0137	-0.0172		
2.1	0.002	0.0033	-0.0027	-0.0077	-0.0112		
2.2	0.0013	0.0035	-0.0003	-0.0037	-0.008		
2.3	0.0013	0.0035	0.0015	-0.0008	-0.0045		
2.4	0.0008	0.0035	0.0025	0	-0.002		
2.5	0.0007	0.0033	0.0035	0.0002	-0.0008		
2.6	0.0002	0.0028	0.0028	0.0002	0.0005		
2.7	-0.0002	0.0023	0.0023	-0.0002	0.0005		
2.8	-0.001	0.0005	0.001	-0.0012	0.0008		
2.9	-0.0013	-0.0005	-0.0002	-0.0022	-0.0002		
3	-0.0015	-0.0015	-0.0022	-0.0027	-0.0018		
Média(0.4-1.4)	0.00007	-0.03707	-0.07700	-0.09937	-0.11485		

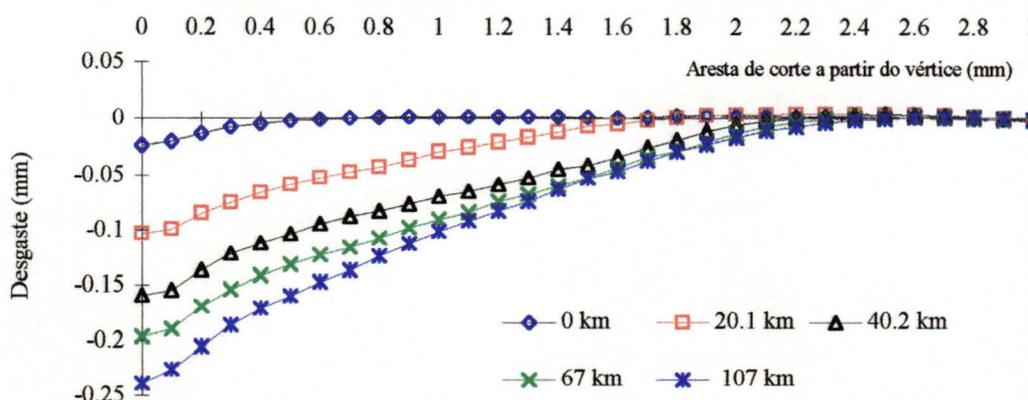


Figura 4.33- Desgaste das ferramentas de stellite 1 a 6220 rpm, usando Eucalipto seco

Tabela 4.42- Dados dos valores médios dos desgastes (mm) de todos os dentes para os diversos percursos efetivos de corte.						
Material	aço AISI tipo D-6	6220 rpm		Madeira seca		
P. de med. (mm)	0 km	20.1 km	40.2 km	67 km	107 km	
0	-0.0223	-0.1183	-0.1593	-0.204	-0.2368	
0.1	-0.0185	-0.1128	-0.1525	-0.1948	-0.228	
0.2	-0.012	-0.0955	-0.1372	-0.1768	-0.2033	
0.3	-0.0082	-0.0833	-0.1247	-0.1632	-0.1877	
0.4	-0.006	-0.0742	-0.1157	-0.1475	-0.1737	
0.5	-0.004	-0.0658	-0.1087	-0.138	-0.161	
0.6	-0.0017	-0.0563	-0.101	-0.1297	-0.15	
0.7	-0.0005	-0.0523	-0.0965	-0.122	-0.1418	
0.8	0.0003	-0.049	-0.0928	-0.115	-0.1347	
0.9	0.0008	-0.0425	-0.0872	-0.1082	-0.1258	
1	0.0013	-0.0375	-0.0817	-0.1003	-0.1155	
1.1	0.0018	-0.0322	-0.0737	-0.0927	-0.1058	
1.2	0.002	-0.027	-0.0685	-0.0857	-0.0975	
1.3	0.0022	-0.0207	-0.0593	-0.0773	-0.0888	
1.4	0.0023	-0.0165	-0.0552	-0.068	-0.0795	
1.5	0.0025	-0.012	-0.0518	-0.0613	-0.0668	
1.6	0.0025	-0.0068	-0.044	-0.0538	-0.058	
1.7	0.0027	-0.004	-0.0345	-0.0482	-0.0512	
1.8	0.0027	-0.002	-0.026	-0.0348	-0.0407	
1.9	0.0028	0.0003	-0.0193	-0.0262	-0.0313	
2	0.0028	0.0017	-0.0133	-0.0192	-0.0255	
2.1	0.0027	0.0023	-0.0078	-0.0132	-0.0217	
2.2	0.0023	0.0027	-0.0038	-0.0092	-0.0168	
2.3	0.0023	0.0025	-0.0008	-0.0062	-0.0132	
2.4	0.0023	0.0027	-0.0003	-0.0018	-0.0107	
2.5	0.002	0.003	0.0008	-0.0005	-0.008	
2.6	0.0018	0.003	0.0022	0.0007	-0.0062	
2.7	0.0018	0.0027	0.0023	0.001	-0.005	
2.8	0.0017	0.0025	0.0023	0.0013	-0.004	
2.9	0.0015	0.0023	0.0017	0.0008	-0.0025	
3	0.0015	0.002	0.0013	0.0008	-0.0017	
3.1	0.0015	0.0018	0.001	0.0013	-0.0012	
3.2	0.0015	0.0017	0.0007	0.0008	-0.0008	
3.3	0.0015	0.001	0.0003	0.0003	-0.0005	
3.4	0.0015	0.0005	0.0003	0.0003	0	
3.5	0.0015	0	0.0002	-0.0002	0.0005	
Média(0.4-1.4)	-0.00014	-0.04309	-0.08548	-0.10767	-0.12492	

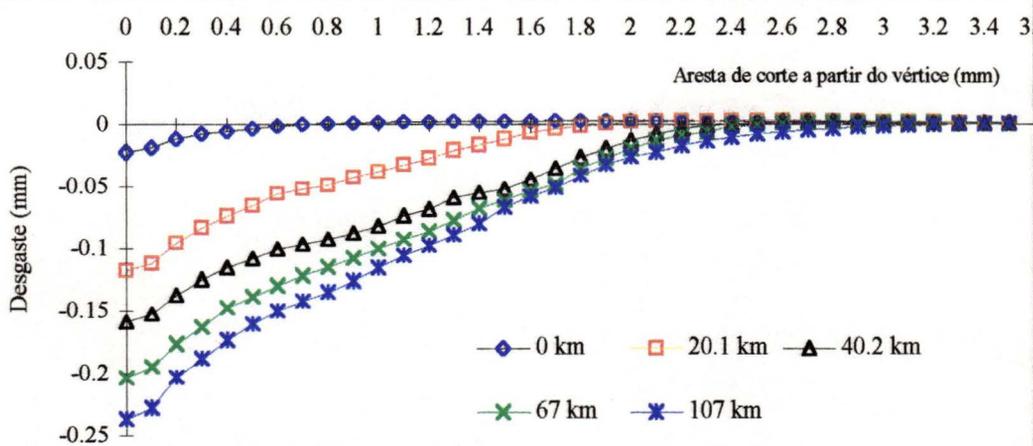


Figura 4.34-Desgaste das ferramentas de aço AISI D-6 a 6220 rpm, usando Eucalipto seco

## 5- DISCUSSÃO

### 5.1- Considerações gerais

Este trabalho foi realizado usando-se a madeira Eucalipto Grandis no estado saturada de água (verde) com umidade média de 36,2 % e com a mesma espécie de madeira, mas seca ao ar com umidade média de 13,8 %. Como materiais de ferramenta, usou-se o aço AISI tipo D-6 e o stellite-1. Nos ensaios de desgaste das ferramentas com madeira saturada de água, foram usadas três velocidades de rotação diferentes; 3136, 4320, e 6220 rpm, correspondendo às velocidades de corte de: 1527, 2104 e 3029 m/min. Para a madeira seca ao ar, foram usadas quatro velocidades de rotação diferentes 3136, 4320, 5320 e 6220 rpm, correspondendo às velocidades de corte de: 1527, 2104, 2557 e 3029 m/min, ou 25,45 - 35,05- 42,62- 50,48 m/s.

Nas folhas de gráficos, são apresentadas, em sua parte superior, os dados que deram a origem aos gráficos, sendo que as colunas intituladas regressão foram calculadas a partir da equação de regressão correspondente, apresentadas na mesma folha.

São apresentados quatro grupos de gráficos de desgaste, dois grupos para madeira saturada de água (verde) e dois grupos para a madeira seca ao ar. Cada grupo está subdividido em gráficos de desgaste, em função do tempo de usinagem, e em gráficos de desgaste, em função do percurso de usinagem.

No fim da série de gráficos relativos à madeira saturada de água e à madeira seca ao ar são apresentados os gráficos relativos à vida das ferramentas. Cada ponto desses gráficos foi obtido por cálculo, usando-se a equação de regressão correspondente, para um desgaste de 100 microns. Para cada curva de vida, também foi determinada sua equação de regressão.

5.2- Considerações sobre o valor adotado para o desgaste da aresta de corte de 100 microns, como término da vida das ferramentas.

Segundo Tsay & Klamecki (1980), define-se o critério de vida da ferramenta como o máximo desgaste permissível da ferramenta correspondente a um dado tempo de vida.

Tsay & Klamecki escolheram para critério de vida da ferramenta um desgaste de 45 microns medido na superfície de folga.

Bayoumi, Stewart & Bayley (1988), escolheram 150  $\mu\text{m}$  como limite de desgaste da superfície de folga, baseando-se em estudos extensivos e no correlacionamento dos dados do desgaste, consumo de energia e acabamento superficial da peça-obra.

Segundo Gottlob & Ruffino (1995 b), figura 2.3, verifica-se que o desgaste da superfície de folga do aço AISI tipo D-6 é aproximadamente 2,4 vezes maior em relação ao desgaste da aresta principal; para o aço rápido, essa relação é 1,9; para o metal duro, a relação é 1,14.

O valor adotado de 100 microns para o desgaste da aresta de corte, se convertido para o desgaste da superfície de folga, ultrapassa o limite de 150 microns definidos por Bayoumi.

Portanto, o critério adotado neste trabalho para o fim de vida das ferramentas foi de 100 microns.

5.3- Considerações sobre os gráficos de desgaste da **madeira saturada de água** figuras 4.1 a 4.4.

O desgaste das ferramentas tanto de aço AISI tipo D-6 como de stellite-1 é menor na rotação de 3136 rpm, tendo como base na construção dos gráficos, o tempo de usinagem ou o percurso de corte. Na curva que representa o desgaste com a rotação de 4320 rpm, que tem como referência o tempo de usinagem, o desgaste é maior, comparado com a curva de desgaste a 3136 rpm, e é inferior ao desgaste que ocorre a 6220 rpm.

No entanto, se a referência é o percurso de usinagem, a curva de desgaste a 4320 rpm está acima da curva de desgaste levantada para 6220 rpm, significando que o desgaste é maior, a uma velocidade mais baixa.

Nas figuras 4.2 e 4.4, relativas às curvas de desgaste referentes ao percurso de corte, considerando-se a proximidade das curvas, foi traçada uma curva denominada R. geral, que foi obtida através de uma regressão geral, considerando todos os pontos, englobando todas as rotações. Essa curva R. geral praticamente coincide com a curva de desgaste a 6220 rpm.

As curvas de desgaste a 6220 rpm foram obtidas da média de duas séries de ensaios, uma realizada com umidade da madeira de 32,8 % e outra realizada com a umidade da madeira de 40,5 %, devido à proximidades dessas duas curvas, que podem ser observadas nas figuras 4.5 a 4.8.

Sabe-se segundo as pesquisas de Kivimaa (1952), Tsay & Klamecky (1980), Banshoya (1986), Bayoumy et alii (1988) e muitos outros, que na usinagem das madeiras, o desgaste das ferramentas é abrasivo e corrosivo. As figuras 4.1 e 4.3, que representam a usinagem de madeira saturada de água, construídas tendo como base o tempo de usinagem, mostram que, quanto maior a velocidade de usinagem, maior é o desgaste. Como para tempos iguais, têm-se desgastes maiores (maior perda de massa), infere-se que existe predominância de desgaste por corrosão.

Por outro lado, sabe-se que aumentando a velocidade, aumenta-se a energia no processo de usinagem e, em conseqüência, estará aumentando a temperatura da ferramenta e a velocidade de corrosão. A madeira, sendo má condutora de calor, aquecer-se á muito pouco e a ferramenta muito mais, permitindo concluir-se que o aumento de desgaste à velocidades mais elevadas são decorrentes do aumento da temperatura.

Na análise das figuras 4.2 e 4.4, que foram construídas tendo como base o percurso de corte, nas quais, as diversas curvas praticamente coincidem, acaba-se concluindo que, nessa base, o aumento da velocidade de usinagem praticamente não influiu no desgaste das ferramentas. Se o desgaste fosse puramente abrasivo sem outras influências, ele seria dependente apenas do percurso de corte; nestas condições, deveria haver uma total coincidência para todas as velocidades.

#### 5.4- Considerações sobre os gráficos de vida na usinagem da **madeira saturada de água**, figuras 4.9 e 4.10

As curvas de vida para os dois materiais ensaiados, o tempo de vida para 100 microns de desgaste x velocidade, para a madeira saturada de água, podem ser expressas na forma da fórmula de Taylor  $V^n.T = C$  :

$$\begin{array}{ll} \text{Material aço AISI D-6 } (T_{D-6} -68,7243).V^5 = 9,618.10^{17} \\ \text{Material stellite-1 } (T_s -198,322).V^3 = 14,0125.10^{11} \end{array}$$

Para baixas velocidades de usinagem, a vida das ferramentas é alta; com o aumento da velocidade, a vida decresce rapidamente e, praticamente, acaba estabilizando-se acima da velocidade de 2500 m/min (41,7 m/s), tanto para o material aço AISI tipo D-6 como para o stellite-1.

As curvas de vida para os dois materiais ensaiados, percurso de vida para 100 microns de desgaste x velocidade, para a madeira saturada de água, decrescem até a velocidade de 2500 m/min (41,7 m/s), voltando a crescer acima dessa velocidade, seguindo uma curva polinomial.

Sabe-se que a corrosão é um fator importante no desgaste das ferramentas; ela é dependente do tempo de ataque químico. Outro fator é o desgaste abrasivo das ferramentas, que é dependente da velocidade através do coeficiente de atrito entre os materiais das ferramenta e peça-obra.

O coeficiente de atrito, por sua vez, depende da velocidade e do aumento da temperatura da ferramenta com a velocidade, o que certamente acelera a velocidade das reações químicas.

#### 5.5- Considerações sobre os gráficos de desgaste da **madeira seca ao ar**, figuras 4.11 a 4.14

Nos gráficos com base de tempo, figuras 4.11 (material stellite-1) e 4.13 (material aço AISI tipo D-6), os desgastes a 3136 e 4320 rpm são praticamente coincidentes, mostrando que o aumento da velocidade de usinagem da

madeira não afetou a velocidade do desgaste. Isso indica que não houve aumento do desgaste corrosivo, que é de origem química, que depende do tempo de contato entre a ferramenta e a peça-obra.

No gráfico com base em percurso de corte, figura 4.12 (material stellite-1), a curva que apresenta o menor desgaste ocorre à velocidade de 4320 rpm. O desgaste a 3136 rpm foi maior que o desgaste a 4320 rpm, seguido pelo desgaste a 5320 rpm, sendo o desgaste ainda maior, na velocidade de 6220 rpm.

No gráfico com base em percurso de corte, figura 4.14 (material aço AISI tipo D-6), a curva de menor desgaste ocorre também à velocidade de 4320 rpm. Nesse caso o desgaste a 3136 rpm foi maior que o desgaste a 4320 rpm e a 5320 rpm, praticamente coincidindo com a curva de desgaste a 6220 rpm; sendo-se menos rigoroso, poder-se-ia dizer que praticamente as três curvas (3136, 5320 e 6220 rpm) coincidem.

Quanto maior é a velocidade de usinagem, tanto maior é a geração de calor, que acaba aumentando a temperatura da ferramenta. Nos ensaios de: Chardin (1973), foram medidas temperaturas de 470 °C a uma velocidade de 32,4 m/s a 0,5 mm da aresta de corte; Stewart & alii (1985), em ensaios de usinagem com MDF a uma velocidade de 46 m/s, acabaram concluindo que a temperatura próxima a aresta de corte chega a 1000 °C; Csanádi (1993), usinando pinho e carvalho, medindo temperaturas num dente da fresa através de termopares e aplicando o método de elementos finitos, concluiu que a temperatura na aresta de corte pode atingir 900 a 1000 °C.

A temperatura da aresta de corte da ferramenta na usinagem da madeira seca ao ar pode estar acima de 500 °C. Essa temperatura elevada pode afetar a dureza do material das ferramentas e aumentar a velocidade das reações químicas, pois a madeira, embora seca, ainda é ácida com pH em torno de 4,0, e teremos simultaneamente a ação do desgaste químico e do desgaste abrasivo.

5.6- Considerações sobre os gráficos de vida na usinagem da **madeira seca ao ar**, figuras 4.15 e 4.16

As curvas de vida para os dois materiais ensaiados, tempo de vida para 100 microns de desgaste x velocidade e percurso de corte para vida de 100 microns de desgaste x velocidade para a madeira seca ao ar não seguem a tendência da madeira saturada de água. Para a madeira seca ao ar as curvas têm curvatura para baixo, ao contrário da tendência da madeira saturada de água.

5.7- Considerações sobre os gráficos de vida, tanto na usinagem da madeira saturada de água como da madeira seca ao ar, figuras 4.17 e 4.18

Nessas duas figuras, a primeira tendo como objetivo o tempo de vida e a segunda tendo como objetivo o percurso de corte, são apresentadas conjuntamente as curvas de vida da madeira saturada de água e da madeira seca ao ar. As curvas de vida da madeira seca ao ar estão acima das curvas de vida da madeira saturada de água, o que indica que a madeira seca ao ar produz menor desgaste em ambas as ferramentas.

5.8- Fatores relevantes observados na análise dos gráficos.

Para as curvas de tempo de vida x velocidade figura 4.17 (madeira seca ao ar), para baixas velocidades de usinagem, a vida das ferramentas é alta; entretanto, com o aumento da velocidade, a vida decresce continuamente, tanto para o material stellite-1 como para o material aço AISI tipo D-6.

Para as curvas de percurso de vida x velocidade figura 4.16 (madeira seca ao ar), observa-se que para o material aço AISI tipo D-6, a sua curva representativa passa por um máximo na faixa entre 2200 e 2500 m/ min., enquanto que para o material stellite-1 também ocorre um ponto máximo, próximo a 2000 m/min.

Um fato contrastante pode ser observado, comparando-se as figuras 4.2 e 4.4 (madeira saturada de água) com as figuras 4.12 e 4.14 (madeira seca ao ar), construídas com base no percurso de usinagem. Na usinagem da madeira saturada de água, o maior desgaste ocorre à 4320 rpm, enquanto que na usinagem da

madeira seca ao ar, o menor desgaste ocorre também a essa velocidade (rpm). A única diferença básica é a ausência da fase líquida da madeira seca ao ar.

Durante o processamento da madeira saturada de água, tem-se a fase líquida da madeira fazendo parte do processo que certamente tem o mesmo pH da madeira 3,8. Essa fase líquida da madeira impede temperaturas elevadas na aresta de corte e diminui o coeficiente de atrito entre a ferramenta e a peça-obra, mas, mesmo assim, o desgaste das ferramentas no processamento dessa madeira saturada de água é maior. A diferença entre os pHs (0,2%) dessa madeira, no estado saturada de água e seca ao ar, é pequena.

O maior desgaste das ferramentas, usando-se essa madeira saturada de água, certamente é devido à maior quantidade de solução ácida envolvida durante o processo de usinagem.

5.9- Considerações sobre os gráficos de progressão do desgaste nas arestas de corte das ferramentas de stellite-1 e aço AISI tipo D-6, figuras 4.19 a 4.34

Esses gráficos mostram os perfis do desgaste, e como progride o desgaste das aresta de corte em função do percurso de corte das ferramentas. Esses gráficos são resultantes da média do desgaste de seis ferramentas de cada material que fazem parte da fresa, com a qual os ensaios foram realizados. O ponto zero da abcissa do gráfico representa a ponta da ferramenta e a ordenada representa o desgaste que ocorreu na aresta de corte da ferramenta.

As ferramentas, após cada operação de afiação, foram medidas, levantando-se seu perfil antes de serem submetidas ao ensaio de desgaste (00 km). As ferramentas de stellite-1, por serem constituídas de pastilhas soldadas com dimensão 3,5 mm x 3,5 mm x 8,0 mm em suporte de aço carbono, no ato de afiação, apresentaram um perfil retilíneo somente na região central, medido com precisão de 0,001 mm. As ferramentas de aço AISI tipo D-6 eram de corpo único e, devido a isso, o perfil da aresta fugiu da retineidade somente próximo à ponta da aresta de corte.

Esse fenômeno acontece principalmente devido à falta de rigidez do disco abrasivo diamantado em forma de prato. Entretanto, essa aparente

falta de precisão, foi contornada, considerando o desgaste na faixa de 0,4 a 1,4 mm da aresta de corte.

O levantamento dos perfis das arestas de corte das ferramentas foi um importante aliado nos posicionamentos subseqüentes das arestas de corte no processo de medida, garantindo precisão para os desgastes medidos e dando uma imagem ampliada dos desgastes que ocorreram.

#### 5.10- Considerações sobre as equações de regressão

De posse dos dados experimentais obtidos para os desgastes, referentes ao tempo de usinagem ou ao percurso de corte, se lançarmos em escalas bi-logarítmicas, eles acabam gerando equações do tipo  $d = a + b \cdot x^n$  com  $n$  próximo de meio, sendo  $d$  o desgaste e  $x$  o tempo de usinagem ou o percurso de corte,  $a$  e  $b$  constantes.

Baseando-se nesse fato, nos altos coeficientes de correlações obtidos e nos altos valores de  $F$  (item 5.13), foram determinadas as equações de regressão em função da raiz quadrada do tempo de usinagem e do percurso de corte.

#### 5.11- Considerações sobre os materiais das ferramentas

Nos ensaios realizados por Gottlob & Ruffino (1995a), na comparação de desempenho de quatro materiais de ferramentas entre eles o aço AISI tipo D-6, na usinagem das madeiras *Pinus elliottii* e do *Eucalyptus grandis*, o material aço AISI tipo D-6 apresentou um bom desempenho, equivalente e até melhor que o aço rápido, isso, aliado ao fato de ser bem mais barato e de não existir em pesquisas publicadas sobre seu desempenho na usinagem da madeira.

Sobre o material stellite-1 existem algumas publicações a respeito de seu uso e desempenho, em relação a outros materiais de ferramenta, dos quais podemos citar os trabalhos de Kirbach & Bonac (1982 b), Bayoumy & Bayley (1985 b), Sales (1985), Sales (1990).

O material stellite-1, em comparação ao material aço AISI tipo D-6, embora com dureza menor (55 Rc), apresentou um desempenho melhor, tanto na usinagem do Eucalipto saturada de água, como na usinagem do Eucalipto seco.

A sua superioridade no desempenho, usinando madeira saturada de água, certamente se deve aos altos teores de cobalto (50%), cromo (33%), tungstênio (13%) e quantidade mínima de ferro 2,0 %. O material aço AISI tipo D-6 possui apenas (11,98 %) de cromo, (1,12 %) de tungstênio e (33,8%) de ferro.

A perda de massa em testes de corrosão em ( $\text{mg}/\text{dm}^2/\text{dia}$ ) do stellite-1 em solução de ácido clorídrico a 20 %, à temperatura ambiente é 283; do aço rápido 18/8/3 é 319; do aço inoxidável AISI 316 é 319; e em solução de ácido acético a 20%, à temperatura ambiente, é 3,9 e do aço inoxidável AISI 316 é 1,3.

A condutividade térmica do stellite-1 é  $0,035 \text{ cal}/(\text{cm s } ^\circ\text{C})$ , do aço rápido é  $0,05 \text{ a } 0,06 \text{ cal}/(\text{cm s } ^\circ\text{C})$ , do aço 4340 é  $0,09 \text{ cal}/(\text{cm s } ^\circ\text{C})$ .

Não foi possível encontrar-se a condutividade térmica do aço AISI tipo D-6, mas pelos exemplos acima, sua condutividade térmica deve estar compreendida entre  $0,06 \text{ a } 0,09 \text{ cal}/(\text{cm s } ^\circ\text{C})$ ; portanto, conduz melhor o calor que o stellite-1.

#### 5.12- Considerações sobre as velocidades de usinagem

As velocidades usadas neste trabalho foram (25,45 - 35,05- 42,62 e 50,48) m/s. Sales (1990), fornece as seguintes orientações para as velocidades:

- Para madeiras pesadas e bastante abrasivas, com grande altura a serrar, deve-se usar velocidades baixas de corte, da ordem de 25 m/s.
- Madeiras pesadas e bastante abrasivas, com pequena altura a serrar e madeiras medianamente abrasivas, com grande altura a serrar, devem ser usinadas com velocidades de corte entre 25 a 35 m/s.
- Madeiras medianamente abrasivas, com pequena altura e madeiras pouco abrasivas, com grande altura a serrar, devem ser usinadas com velocidades de corte entre 35 e 45 m/s.

-Madeiras pouco abrasivas, com pequena altura a serrar e madeiras muito pouco abrasivas, em particular coníferas, devem ser usinadas com velocidades acima de 45 m/s.

A velocidade de corte é limitada pelas condições ótimas de trabalho de uma serra de fita. Para as madeiras tropicais, 50 m/s representa praticamente o limite superior, que não deve ser ultrapassado.

5.13- Discussão dos resultados obtidos à luz dos resultados de outros pesquisadores, citados abaixo, relativos à velocidade de usinagem:

Kivimaa (1952), observou durante a usinagem do pinho seco ao ar, que na usinagem a 40 m/s a força principal de corte se mantinha constante (desgaste mínimo da ferramenta) com o aumento do percurso de corte e com a velocidade de 60 m/s essa força de corte crescia constantemente com o aumento do percurso de corte, o que indicou indiretamente que, na velocidade de usinagem de 40 m/s, o desgaste se estabiliza ou é mínimo, sendo a natureza do desgaste química e abrasiva.

Stefaniak (1971), ensaiando serras com dentes de metal duro, cortando chapas de aglomerado de madeira, com diversas velocidades de usinagem, observou que, entre as velocidades de 42m/s e 50 m/s, todos os desgastes medidos dos dentes da serra sofreram um grande acréscimo. Entre as velocidades de 50 m/s e 62 m/s, os desgastes decresceram até a velocidade de 62 m/s e, a partir de 62 m/s, voltaram a crescer, até a máxima velocidade ensaiada, de 124 m/s.

Tsay & Klamecky (1980), em ensaios de torneamento das madeiras Cedro Vermelho e do Pinho nas velocidades de usinagem de 1,3- 2,6 e 5,3 m/s, observaram que, nas velocidades de usinagem mais altas, o desgaste das ferramentas era mais alto, tanto para as madeiras saturada de águas saturadas com água (90 e 80 %), como para as madeiras secas. Observaram também que as madeiras saturadas provocaram um desgaste maior nas ferramentas do que as madeiras secas e que existia uma relação linear entre o desgaste e o tempo de usinagem.

Hayashi e Suzuki (1983), realizaram ensaios de fresamento periférico em madeiras secas sem sílica, com pouca sílica, e de madeira siliciosa, entre as velocidades de usinagem de 3,8 a 45,2 m/s.

Eles verificaram que os desgastes das cunhas de corte em ferramentas de aço, na usinagem das madeiras com pouco silício, decresceram com o aumento da velocidade de corte até 22,6 m/s e que, a partir dessa velocidade, o desgaste se tornou constante, considerando o mesmo percurso de corte. Na usinagem da madeira siliciosa, o desgaste aumentou constantemente com o aumento da velocidade de usinagem.

Saljé & Drückhammer & Stühmeier (1885), em operações de fresamento de bordas de chapas de aglomerado de madeira recobertas com melamina, com material de ferramenta de metal duro, observaram que o desgaste da ferramenta aumentou, com o percurso de corte e com o aumento da velocidade de corte, até 60 m/s. Com a velocidade de 70 m/s, o desgaste da ferramenta, a imperfeição da aresta usinada e a potência consumida foram menores, em comparação com os resultados obtidos com a velocidade de 60 m/s.

Todos os trabalhos acima mencionados referem-se à usinagem com produtos secos, dois deles com madeiras e três com aglomerado de madeira, o qual tem comportamento de madeiras abrasivas, devido à sua própria composição. Todos mencionam a existência de uma velocidade, na qual o desgaste é mínimo, confirmando os resultados que foram obtidos na atual pesquisa.

Através das curvas de vida obtidas (figura 4.16) para o material aço AISI tipo D-6, que passa por um máximo entre as velocidades de 2200 e 2500 m/min (36,7 a 41,7 m/s) e para o material stellite-1, que passa por máximo próximo a 2000 m/min (33,3 m/s) e os gráficos figuras 4.11 a 4.14, conclui-se a existência de um desgaste mínimo nas proximidades da velocidade de 4320 rpm.

#### 5.14- Considerações estatísticas

No tópico 4, foram apresentados: as tabelas dos resultados experimentais, os gráficos de desgaste em função do tempo de usinagem ou em função do percurso de corte e as equações de regressão de cada curva com o

respectivo coeficiente de correlação. A seguir, apresenta-se a tabela 5.1, com o resultado dos cálculos dos desvios padrões e do coeficiente F de Snedecor, para a comparação de duas variâncias, comparação essa aplicada às regressões.

Como  $F_{\text{calc.}} \gg F_{\text{tab.}}$ , com o nível de significância de 0,5%, podemos afirmar, com 99 % de confiabilidade, que a equação de regressão analisada representa o fenômeno ensaiado.

Os resultados dos cálculos de "F" provam que as equações de regressão são confiáveis.

Tabela 5.1- Cálculo de valores de “F” e do desvio padrão “s” para todos os gráficos levantados na usinagem da madeira Eucalipto, usando-se os materiais de ferramenta stellite-1 e aço AISI tipo D-6; considerando -se as rotações (rpm) usadas.

Material da ferramenta	R.p.m.	Equação de regressão	Coefficiente de correlação	Desvio padrão	F calculado	F <sub>tab.</sub> v <sub>1</sub> =1, v <sub>2</sub> =(n-2)
		<b>Madeira saturada de água</b>		<b>Base: Tempo de usinagem</b>		
stellite-1	3136	$d = -2,38 + 4,215 \cdot \sqrt{t}$	r = 0,9979	s = 2,51	948	31,33
stellite-1	4320	$d = -5,74 + 5,613 \cdot \sqrt{t}$	r = 0,9949	s = 7,74	172	31,33
stellite-1	6220	$d = -9,22 + 6,987 \cdot \sqrt{t}$	r = 0,9852	s = 9,74	297	55,55
AISI D-6	3136	$d = -4,36 + 7,679 \cdot \sqrt{t}$	r = 0,9919	s = 9,01	244	31,33
AISI D-6	4320	$d = -3,16 + 10,809 \cdot \sqrt{t}$	r = 0,9990	s = 4,54	1881	31,33
AISI D-6	6220	$d = -2,43 + 11,966 \cdot \sqrt{t}$	r = 0,9971	s = 7,35	1530	55,55
		<b>Madeira saturada de água</b>		<b>Base: Percurso de usinagem</b>		
stellite-1	3136	$d = -2,38 + 11,814 \cdot \sqrt{p}$	r = 0,9980	s = 2,48	969	31,33
stellite-1	4320	$d = -5,77 + 13,407 \cdot \sqrt{p}$	r = 0,9948	s = 5,21	385	31,33
stellite-1	6220	$d = -9,32 + 13,901 \cdot \sqrt{p}$	r = 0,9852	s = 9,89	287	55,55
AISI D-6	3136	$d = -4,33 + 21,520 \cdot \sqrt{p}$	r = 0,9920	s = 8,96	246	31,33
AISI D-6	4320	$d = -3,24 + 25,616 \cdot \sqrt{p}$	r = 0,9989	s = 4,38	1885	31,33
AISI D-6	6220	$d = -2,63 + 23,810 \cdot \sqrt{p}$	r = 0,9969	s = 7,53	1457	55,55
		<b>Madeira seca ao ar</b>		<b>Base: Tempo de usinagem</b>		
stellite-1	3136	$d = 5,87 + 3,166 \cdot \sqrt{t}$	r = 0,9910	s = 5,20	220	31,33
stellite-1	4320	$d = -2,72 + 3,594 \cdot \sqrt{t}$	r = 0,9975	s = 2,91	795	31,33
stellite-1	5320	$d = -2,94 + 5,145 \cdot \sqrt{t}$	r = 0,9980	s = 3,43	730	55,55
stellite-1	6220	$d = -3,31 + 5,904 \cdot \sqrt{t}$	r = 0,9859	s = 9,08	104	55,55
AISI D-6	3120	$d = -0,88 + 4,393 \cdot \sqrt{t}$	r = 0,9920	s = 6,79	248	31,33
AISI D-6	4320	$d = -3,95 + 4,587 \cdot \sqrt{t}$	r = 0,9970	s = 4,04	671	31,33
AISI D-6	5320	$d = -2,58 + 5,530 \cdot \sqrt{t}$	r = 0,9980	s = 3,45	719	55,55
AISI D-6	6220	$d = -2,24 + 6,379 \cdot \sqrt{t}$	r = 0,9891	s = 9,01	123	55,55
		<b>Madeira seca ao ar</b>		<b>Base: Percurso de usinagem</b>		
stellite-1	3136	$d = 5,89 + 8,870 \cdot \sqrt{p}$	r = 0,9909	s = 5,24	216	31,33
stellite-1	4320	$d = -2,74 + 8,584 \cdot \sqrt{p}$	r = 0,9974	s = 3,00	745	31,33
stellite-1	5320	$d = -2,94 + 11,141 \cdot \sqrt{p}$	r = 0,9980	s = 3,63	757	55,55
stellite-1	6220	$d = -3,41 + 11,763 \cdot \sqrt{p}$	r = 0,9858	s = 9,08	104	55,55
AISI D-6	3120	$d = -0,87 + 12,310 \cdot \sqrt{p}$	r = 0,9920	s = 6,77	249	31,33
AISI D-6	4320	$d = -3,99 + 10,957 \cdot \sqrt{p}$	r = 0,9970	s = 4,08	661	31,33
AISI D-6	5320	$d = -2,59 + 11,975 \cdot \sqrt{p}$	r = 0,9981	s = 3,58	776	55,55
AISI D-6	6220	$d = -2,36 + 12,709 \cdot \sqrt{p}$	r = 0,9880	s = 9,00	123	55,55

## 6- CONCLUSÕES

1- O material de ferramenta stellite-1 apresentou um desempenho melhor na usinagem da madeira, tanto no estado saturada de água como no estado seco, embora tenha dureza menor que o aço AISI tipo D-6. Tal fato certamente ocorre, devido à sua maior resistente à corrosão e pela manutenção da dureza a quente até temperaturas da ordem de 700 °C. A madeira Eucalipto, embora seca ao ar, apresenta pH da ordem de 3,8.

2- O processo de medida dos desgastes, aplicado a uma fresa de corte misto (frontal e tangencial), mostrou-se adequado para esta pesquisa. O fato de usar, durante o processo de usinagem, apenas uma fração da aresta de corte (1,7 mm de profundidade de corte), mantendo a outra parcela da aresta fora da usinagem, como referência para as medidas futuras, é uma garantia para que resultados precisos sejam obtidos.

3- O sistema de aquisição de dados via computador, usando-se dois relógios comparadores digitais, coordenadas x e z, permitiu a construção dos gráficos da evolução dos desgastes dos dentes da fresa porta-ferramentas (perfil das arestas de corte), em função do percurso de corte. Esses gráficos são extremamente úteis para avaliar a precisão e a acuidade da realização das medidas.

4- Os resultados experimentais mostraram, que a velocidade de corte influencia a velocidade de desgaste das ferramentas, no caso, ferramentas de stellite-1 e de aço AISI tipo D-6, na usinagem da madeira "Eucalipto Grandis".

5- A madeira Eucalipto saturada de água (verde), embora mais mole que a madeira seca ao ar, desgastou as ferramentas com uma velocidade maior, em comparação à madeira seca ao ar.

6- Tanto para a madeira saturada de água, como para a madeira seca ao ar, o tempo de vida em minutos é maior a baixas velocidades.

7- Na usinagem da madeira saturada de água, o desgaste das ferramentas de corte segue o modelo clássico da equação de Taylor  $V^n.T = C$ .

8- Considerando o percurso de corte de fim de vida das ferramentas, o aço AISI tipo D-6 e o stellite 1 usinando a madeira saturada de água (verde), mostraram tendências de vida mínima na velocidade de 2400 m/min.

(40 m/s). Enquanto que, na usinagem da madeira seca ao ar, aparece um ponto de máxima vida, em torno da velocidade de 2000/min. (37 m/s), para o stellite-1, e a 2200 m/min. (33 m/s) para o aço AISI D-6.

Foi importante a representação do fenômeno de desgaste das ferramentas, tendo-se como objetivo não só o tempo efetivo de corte para a vida útil, como também o percurso efetivo de corte para a vida útil.

9- Nas curvas de desgaste em função do percurso efetivo de corte, na usinagem da madeira saturada de água, observa-se que, para as diversas velocidades de usinagem ensaiadas, as curvas se aproximam consideravelmente.

10- A tendência das curvas que representam a vida das ferramentas para a madeira saturada de água é de raios de curvaturas acima das curvas, enquanto a das curvas que representam a vida para as madeiras secas é raios de curvaturas abaixo das curvas.

11- Para a usinagem da madeira Eucalipto saturada de água, recomenda-se o uso de altas velocidades de corte, acima de 2300 m/min., dentro dos limites permitidos pela dinâmica das máquinas.

12- Para a usinagem da madeira Eucalipto seca ao ar, deve-se usar uma velocidade em torno de 2200 m/ min., que é a velocidade de máximo percurso efetivo de corte.

## 7 - BIBLIOGRAFIA

### 7.1 - Bibliografia Citada.

BANSHOYA, K.-Tool life in Machine Boring of Wood and Wood-Based Material VI.(Machinability of various domestic and imported wood species). Mokuzai Gakkaishi, vol. 32, 6: 418-424, 1986.

BAYOUMI, A.E. & BAILEY, J.A. Comparison of the wear resistance of selected steels and cemented carbide cutting tool material in machining wood. Wear, 105: 131-144, 1985b.

BAYOUMI, A.E.; STEWART, J.S. & BAILEY, J.A. The effects of cemented carbide binder composition on tool wear encountered in surfacing green lumber. Wood and Fiber Science, 20, 4: 457-476, 1988.

CHARDIN, A. Laboratory studies of temperature distribution on the face of a sawtooth. In: PROCEEDINGS OF THE FOURTH WOOD MACHINING SEMINAR, Richmond, 1973, California, Forest Products Laboratory, University of California, 67-84, 1973.

CSANÁDY, E.- Heat transfer and thermal loading in wood cutting tools. In: PROCEEDINGS OF THE 11TH INTERNATIONAL WOOD MACHINING SEMINAR, Honne, The Norwegian Institute of Wood Technology, Oslo, Norway, 487-494, 1993.

GOTTLOB, W. J. , RUFFINO, R. T. Ensaios comparativos de desempenho dos materiais de ferramenta ABNT -01, T5 (HSS), D6 (AISI) e metal duro no processamento da madeira. XIII CONGRESSO BRASILEIRO E II CONGRESSO IBERO AMERICANO DE ENGENHARIA MECÂNICA, 1995 a .

- GOTTLOB, W. J. , RUFFINO, R. T. Uma verificação experimental do desgaste das arestas principal e secundária e das superfícies que formam a cunha de corte das ferramentas na usinagem da madeira "Eucaliptus Grandis". XIII CONGRESSO BRASILEIRO E II CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE ENGENHARIA MECÂNICA, 1995 b .
- HAYASHI, K. , SUZUKI, T. Effect of Cutting Speed on Tool Wear in the Peripheral milling of Wood. Mokuzai Gakkaishi , vol. 29, 1: 36-42 , 1983.
- KIRBACH, E. & BONAC, T. Alloy tipping for reduce sawtooth dulling. Forest Products Journal, 32, nº 4: 36-40, 1982a.
- KIVIMA, E., Was ist die Abstumpfung der Holzbearbeitungswerkzeuge. ( O que é desgaste de uma ferramenta de usinar madeira). Holz als Roh- und Werkstoff, 10/11: 425-428, 1952.
- SALES, C. Knife wear during tropical hardwoods planing. In: PROCEEDINGS OF THE EIGHTH WOOD MACHINING SEMINAR, Richmond. 1985, California, Forest Products Laboratory, University of California, 99-106, 1985.
- SALES, C. Usure des outils de coupe et applications aux lames de scies a ruban. In : La scie a ruban. - Théorie et Pratique du sciage des bois en grumes. Nogent, Centre Technique Forestier Tropical, 70 - 99, 1990.
- SALJÉ, E., DRÜCKHAMMER, J., STÜHMEIER, W. - Neue Erkenntnisse beim Fräsen von Spanplatten mit unterschiedlichen Schnittbedingungen (New result in milling of particleboard under varying cutting conditions). Holz als Roh- und Werkstoff ,43: 501-506, 1985.
- STEFANIAK, V.W. Einfluß der Schnittgeschwindigkeit auf das Abstumpfen hartmetallbestückter Sägeblätter beim Schneiden von Spanplatten. Holztechnologie, 12, 1: 9-15, 1971.

STEWART, H. A. et. alii, -High-temperature corrosion of tungsten carbide from machining medium-density fiberboard. - In: PROCEEDINGS OF THE EIGHTH INTERNATIONAL WOOD MACHINING SEMINAR. California, Forest Products Laboratory, Richmond, California, 54 -71, 1985.

TSAI, G.S.C. & KLAMECKI, B.F. Separation of abrasive and electrochemical tool wear mechanisms in wood cutting. Wood Science, 12: 236-242, 1980.

## 7.2- Bibliografía Referenciada

BAILEY, J.A.; BAYOUMI, A.E. & STEWART, J.S. Wear of some cemented tungsten carbide tools in machining oak. Wear, 85: 69-75, 1983.

BAYOUMI, A.E.; BAILEY, J.A. & STEWART, J.S. Comparison of the wear resistance of various grades of cemented carbides that may find application in wood machining. Wear, 89: 185-200, 1983.

BAYOUMI, A.E. & BAILEY, J.A. An analytical and experimental investigation of the wear of cemented carbide cutting tools in the presence of dilute organic acids. Wear, 94: 29-45, 1984.

---

The role of tool composition and tool geometry in controlling the surface finish in machining wood. Wear, 103: 311-320, 1985 a.

BONAC, T. Microbivel for cemented tungsten carbide wood cutting tools. Holz als Roh-und Werkstoff, 40: 411-413, 1982.

CHARDIN, A. Saw tooth performance: variables affecting tooth wear. In: PROCEEDINGS OF THE THIRD WOOD MACHINING SEMINAR, Richmond. 1971, California, Forest Products Laboratory, University of California, 1-14, 1971.

FARMER, R.H. Corrosion of metals in association with wood: Part 2. corrosion of metals in contact with wood. Wood, 11: 443-446, 1962.

GOTTLOB, W. J. Os materiais das ferramentas usados na usinagem da madeira. São Carlos, USP, 1991. 116p. Dissertação de mestrado; E.E.S.C.U.S.P.

GOTTLOB, W. J. , RUFFINO, R. T. .A importância do conhecimento dos fatores críticos de afiação de ferramentas para usinar madeira, para seu melhor desempenho. III CONGRESSO DE ENGENHARIA MECÂNICA NORTE NORDESTE (III CEM-NNE/94), 580-583, 1994.

HILLIS, W.F. & MCKENZIE, W.M. Chemical attack as a factor in the wear of woodworking cutters. Forest Products Journal, 14, 7: 310-312, 1964.

KATO, C. The wear characteristics of the Woodworking knife with a vanadium carbide coating only on the back surface I. Mokuzai Gakkaishi, 39, 4: 406-411, 1993.

KIRBACH, E. & BONAC, T. Cutting unseasoned western red cedar with titanium carbide-coated, carbide-tipped saws. In: PROCEEDINGS OF THE FIFTH WOOD MACHINING SEMINAR, Richmond, 1977, California, Forest Products Laboratory, University of California, 15-32, 1977.

---

Influence of grinding direction and wheel translation on microsharpness of cemented tungsten- carbide tips. Holz als Roh-und Werkstoff, 39: 265-270, 1981.

---

Dulling of sawteeth tipped with a stellite - and two cobalt-cemented tungsten carbides. Forest Products Journal, 32, 9: 42-45, 1982b.

KIRBACH, E.D. & CHOW, S. Chemical wear of tungsten carbide cutting tools by western redcedar. Forest Products Journal, 26, 3: 44-48, 1976.

KLAMECKI, B.E. The effect of extractives on tool wear in the turning of incense cedar. In: PROCEEDINGS OF THE FIFTH WOOD MACHINING SEMINAR, Richmond, 1977, California, Forest Products Laboratory, University California, 5-14, 1977.

---

Electrical effects in woodcutting tool wear. Holz als Roh - und Werkstoff, 36: 107-110, 1978.

---

Dependence of particleboard cut edge roughness on sawtooth wear. Forest Products Journal, 31, 4: 41-43, 1981.

KRILOV, A. & GREF, R. Mechanism of sawblade corrosion by polyphenolic compounds. Wood Science and Technology, 20: 369- 375, 1986.

LEMASTER, R.L. Saw blade tooth wear reduction by electrically insulating the saw blade. Forest Products Journal, 34, 7/8: 62-66, 1984.

MCKENZIE, W.M. & HILLIS, W.E. Evidence of chemical acceleration of wear in cutting plant materials. Wear, 8: 238-243, 1965.

MCKENZIE, W.M. & KARPOVICH, H. Wear and blunting of the tool corner in cutting a wood-based material. Wood Science and Technology, 9: 59-73, 1975.

OKUMURA, S.; OKUDA, T. & SUGIHARA, H. Temperature distribution Mokuzai Gakkaishi, 29, 2: 123-130, 1983.

- PAHLITZSCH, G. SANDVOß, E. Verschleißuntersuchung beim Fräsen von Faserhartplatten (Investigations Phenomena of Wear during Moulding of Hardboards): Holz als Roh-und Werkstoff 28, 7: 245-254, 1970.
- PAHLITZSCH, G. SANDVOß, E.- Einfluß der Schnittbedingungen auf die Beanspruchung und den Verschleiß der Schneide. (Effect of Cutting Conditions on Loading and Wear of the Cutting Wedge). Holz als Roh-und Werkstoff 30, 42: 133-143, 1972.
- SALJÉ, E. , DRÜCKHAMMER, J. Qualitätskontrolle bei der Kantenbearbeitung (Controle de qualidade no trabalho de arestas). Holz als Roh-und Werkstoff 42: 187-192, 1984.
- SALJÉ, E., STÜHMEIER, W. Milling of particle boards with hard cutting materials. In: PROCEEDINGS OF THE NINTH INTERNATIONAL WOOD MACHINING SEMINAR. California, Forest Products Laboratory, Richmond, California, 211-228, 1988.
- STEWART, H.A. Borided tungsten carbide reduces tool wear during machining of medium density fiberboard. Forest Products Journal, 37: n° 7/8: 35-38, 1987.
- STEWART, H. A. , DRAWER, P.O. Analysis of tool forces and edge recession after cutting medium-density fiberboard. In: PROCEEDINGS OF THE NINTH INTERNATIONAL WOOD MACHINING SEMINAR. California, Forest Products Laboratory, Richmond, California, 320-341, 1988.
- STEWART, H.A. Feasible high-temperature phenomena in tool wear from wood machining. Forest Products Journal, 39: n° 3: 25-28, 1989.
- STEWART, H.A., WITHEFORD, T.J., BECHERER, B.A. A Comparison of high speed steels for wood machining. Forest Products Journal, 42 7/8: 73-77, 1992.

STEWART, H.A. et alii. Electrical discharge when machining medium density fibreboard and tool wear. Tribology International, 27-5: 342-348, 1994.

SUGIHARA, H.; OKUMURA, S.; HAOKA, M. & MAKINO, Y. Wear of tungsten carbide tipped circular saws in cutting particleboard. Effect of carbide size on wear characteristics. Wood Science and Technology, 13: 283-299, 1979.

SZYMANI, R. , TRINCHERA, L. Wear resistance of Tantung circular saws. In: PROCEEDINGS OF THE 11TH INTERNATIONAL WOOD MASCHINING SEMINAR, Honne, The Norwegian Institute of Wood Technology, Oslo, Norway, 129-135, 1993.

TANAKA, C.; TAKAHASHI, A. & SHIOTA, Y. Cutting performance of Cermet, Ceramic, CBN and Artificial Diamond tools I. Wear from continuous cutting of wood-based materials. Mokuzai Gakkaishi, 32, 2: 96-102, 1986.

WESTKÄMPER, E. , FUSS, M. High-speed milling of wood composites with PCD. Industrial Diamond Review, 53: 150-153, 1993.

### **7.3 - Bibliografia consultada.**

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Comissão de Estudos de Ferramentas da Usinagem, do CB-4 - Comitê Brasileiro de Mecânica. 1º Projeto de Revisão da NBR 6112 - Conceito da Técnica da Usinagem - Movimentos e Relações Geométricas - Terminologia. fevereiro de 1988, 39p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Comissão de Estudos de Ferramentas da Usinagem, do CB-4 - Comitê Brasileiro de Mecânica. 1º Projeto de Revisão da NBR 6163 - Conceito da Técnica da Usinagem - Geometria da Cunha de Corte - Terminologia. maio de 1989, 63p.

BODIG, J. & JAINE, B.A. Characteristics of wood composites. In: Mechanics of Wood and Wood Composites. New York, Van Nostrand Reinhold Company, 1982, p. 1-47.

DELORO STELLITE - Properties of Deloro stellite - alloys. Stratton St. Margaret, England, Deloro Stellite - Ltd., Publication B43, 32 p.

FENGEL, E. & WEGENER, G. Extratives. In: Wood - Chemistry Ultrastructure, Reactions, Berlin-New York, Walter de Gruyter. 1984, p. 182-226.

FERRARESI, D. Fundamentos da usinagem dos metais. São Paulo, Edgard Blücher, 1970, 964 p.

GONÇALVES, M. T. Determinação da pressão específica de corte da madeira em função dos parâmetros que interferem no processo de usinagem. Projeto de pesquisa FAPESP 93/4180-8. 1996, 736 p.

HEINRICH, E. Os aços ferramenta. São Paulo, Edgard Blücher, 1977, 61p.

HELLMEISTER, J.C. Madeiras e suas características. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 1, São Carlos, 1983 ANAIS, São Carlos, Escola de Engenharia, 1983, p. 1-37.

I.P.T. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS - Determinação do pH de extratos aquosos - Norma P23: 65-66, 1994.

KOCH, P. Wood machining processes. New York, Ronald Press, 1964, 530p.

KOLLMANN, F. Tecnologia de la madeira y sus aplicaciones. Madrid, Inst. For. de Invest. y Servicio de la Madera, 1959.

KOLLMANN, F. & COTÉ, W. Principles of wood science and technology, Vol. 1, New York, Springer-Verlag, 1984, 592p.

MORETTI, J. F. Redação de dissertações e teses, Piracicaba, USP, Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1982, 67p.

NETO, P.L. O. Estatística. São Paulo, Edgard Blücher Ltda, 1977, 258 p.

NOGUEIRA, M. C. J. A. Indicação para o emprego de dezesseis espécies de Eucalipto na construção civil. São Carlos, USP, 1992, 134p. Dissertação de mestrado E.E.S.C.U.S.P.

TAPPI STANDART - Ash in wood and pulp , 211 om -85.

TAPPI STANDART - Silicates and silica in pulp (wet ash method) , T 245 om- 88.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO . Diretrizes para a elaboração de dissertações e teses na EESC-USP. Escola de Engenharia de São Carlos. Serviço de Biblioteca. São Carlos, 1993, 56p.

## **8- TRABALHOS FUTUROS**

**8.1-** Verificação da influência do teor de umidade da madeira, sobre o desgaste das ferramentas de aço AISI tipo D-6, durante a usinagem do Eucalipto Grandis, usando a mesma velocidade de corte.

**8.2-** Verificação dos fatores físicos ou químicos que influenciam a mudança da tendência da curva de vida das ferramentas em torno da velocidade de 40 m/s, na usinagem da madeira Eucalipto Grandis.

**8.3-** Utilizando o porta-ferramentas construído, que permite ensaiar diversos materiais de ferramentas simultaneamente, estudar o desgaste em função do percurso de corte de materiais de ferramentas com diferentes tratamentos térmicos, diferentes tratamentos químicos e diferentes tratamentos de superfície (revestimentos).

## 9-APÊNDICE

9.1- Figuras mostrando fotografias das cunhas de corte das ferramentas, tiradas com o auxílio de microscópio, usando-se ampliação de 25X, perpendicularmente à superfície de folga principal e perpendicularmente à superfície de folga secundária (frontal).

9.2- Tabelas de coleta de dados, para ferramentas recém afiadas e ensaiadas a 3136 rpm, para diversos percursos de usinagem da madeira saturada de água, com avanço sobre a aresta de corte, de décimo em décimo de milímetro, cota  $x$  e os correspondentes valores da cota  $z$  (desgaste) dos dois materiais de ferramentas ensaiados stellite e aço AISI tipo D-6.

Nestas tabelas, nas linhas identificadas, por exemplo, com código 00k07v3, isto significa que se refere à medida com 00 quilômetros de usinagem (ferramenta recém-afiada), ao dente 07, a ensaios com madeira saturada de água e à rotação de usinagem de 3136 rpm. Sendo o código 64.3k03v6, isto significa que se refere à medida do dente 03, tendo-se usinado 64.3 quilômetros de madeira; a madeira é verde e à rotação de 6220 rpm.

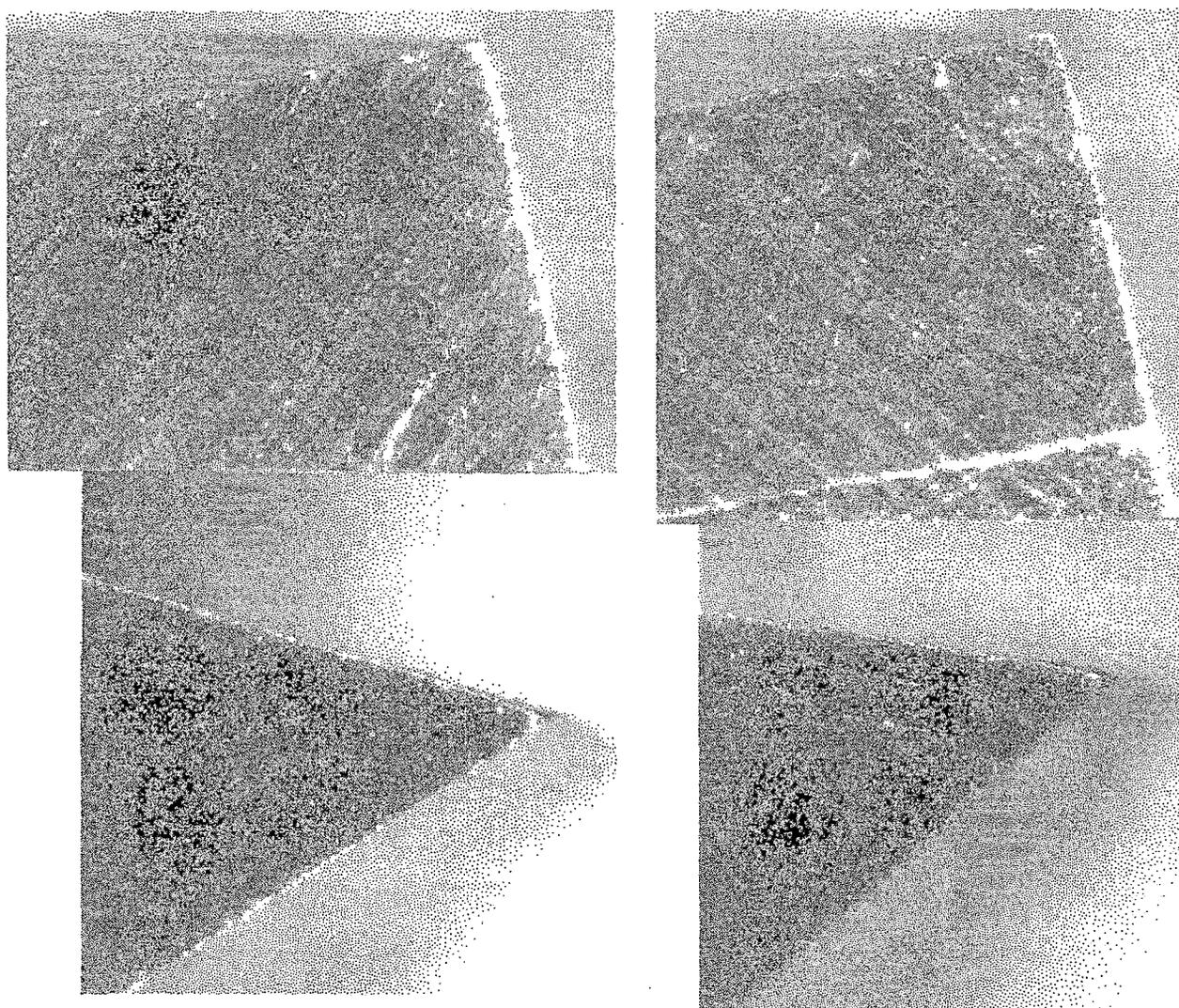


Figura 9.1- Fotografias com ampliação de 25X, mostrando duas ferramentas recém-afiadas: à esquerda, de aço AISI D-6, à direita, de stellite 1. As fotos superiores são das superfícies de folga principais; as inferiores, das superfícies de folga frontais.

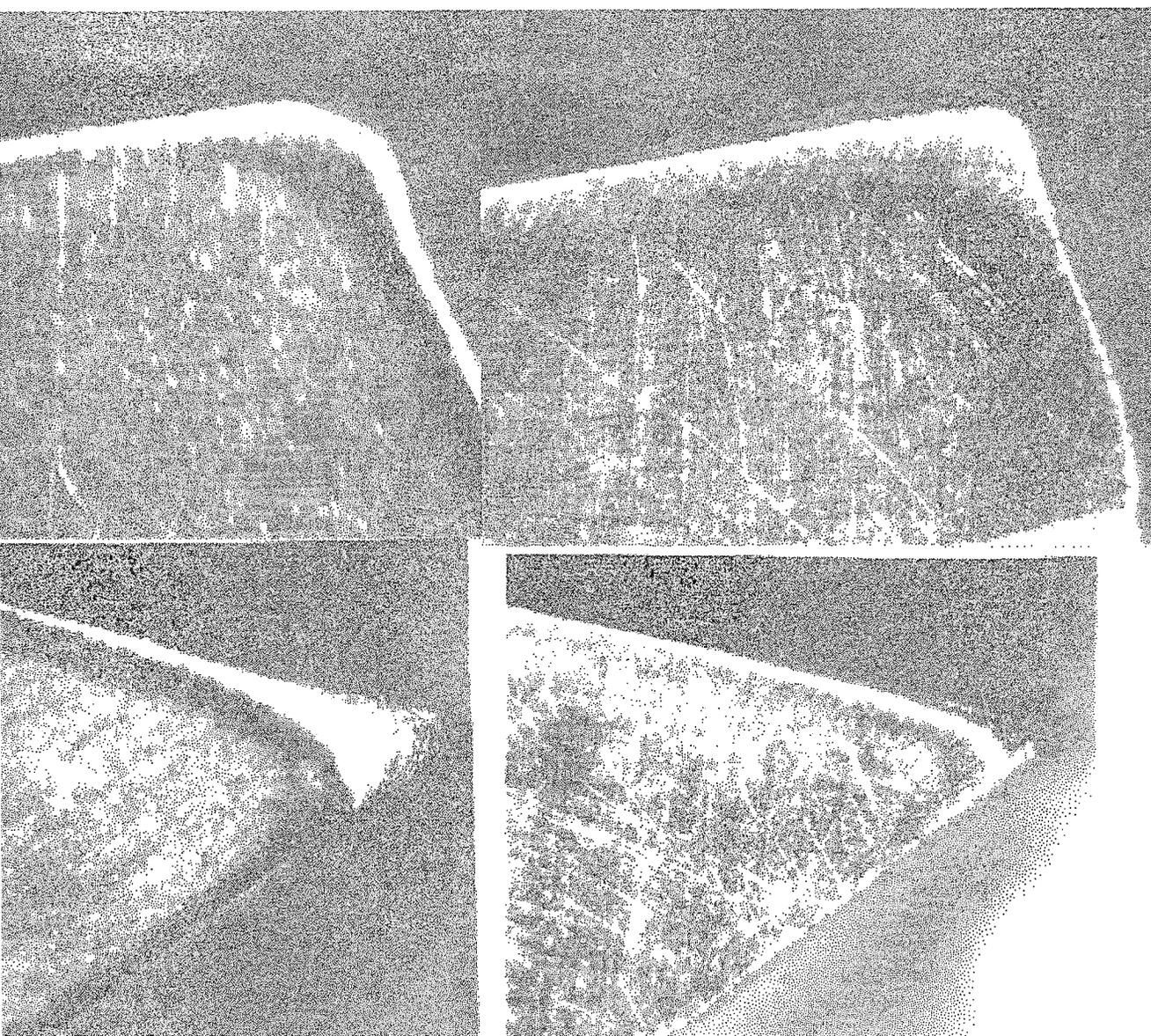


Figura 9.2- Fotografias com ampliação de 25 X, mostrando duas ferramentas após a usinagem de 64,3 km da madeira Eucalipto saturada, na rotação de 3136 rpm, à esquerda, de aço AISI D-6, à direita, de stellite 1. As fotos superiores são das superfícies de folga principal; as inferiores, da superfície de folga frontal.

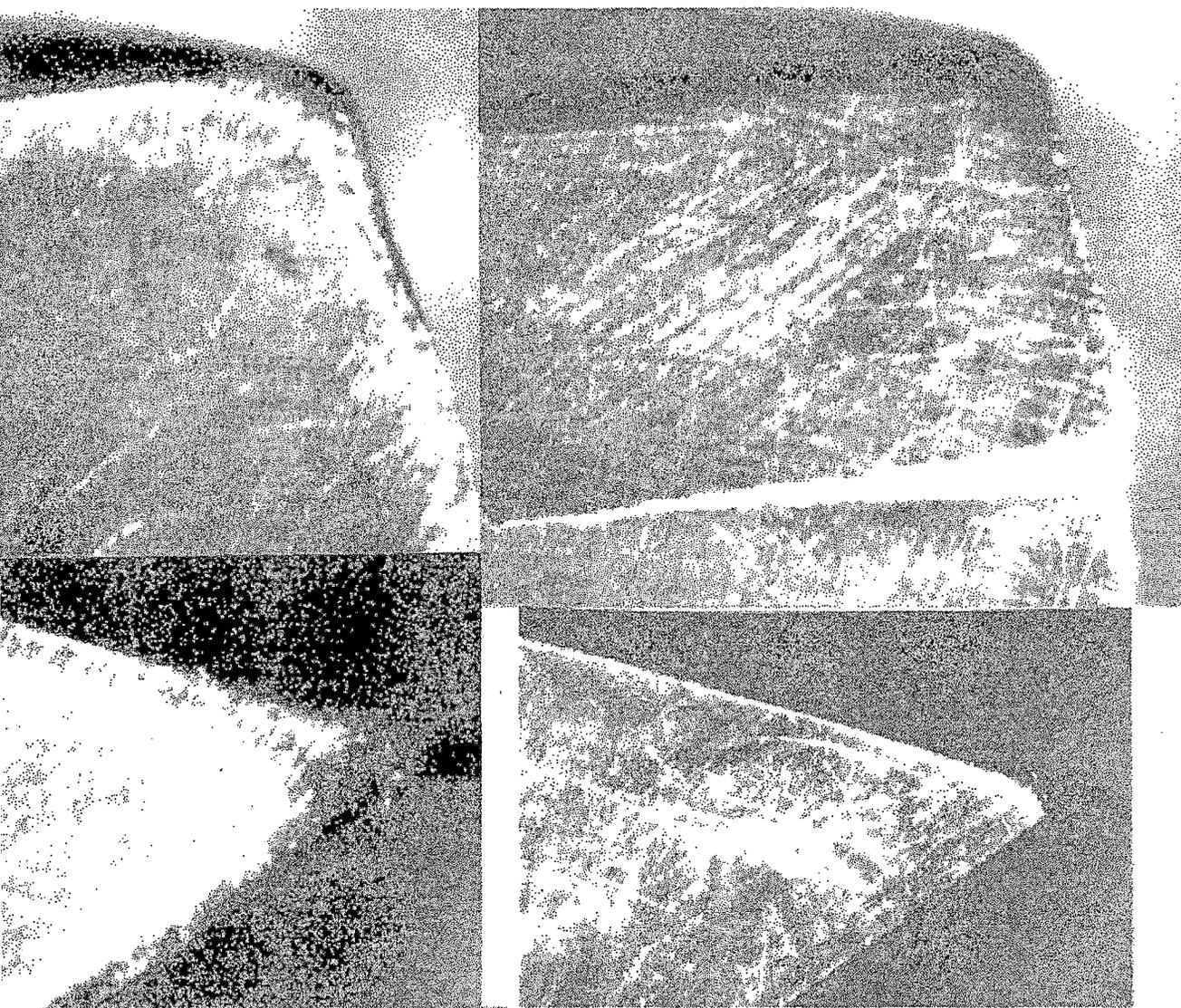


Figura 9.3- Fotografias com ampliação de 25X, mostrando duas ferramentas após a usinagem de 88,4 km da madeira Eucalipto saturada, na rotação de 4320 rpm, à esquerda, de aço AISI D-6, à direita, de stellite 1. As fotos superiores são das superfícies de folga principais; as inferiores, da superfície de folga frontal .

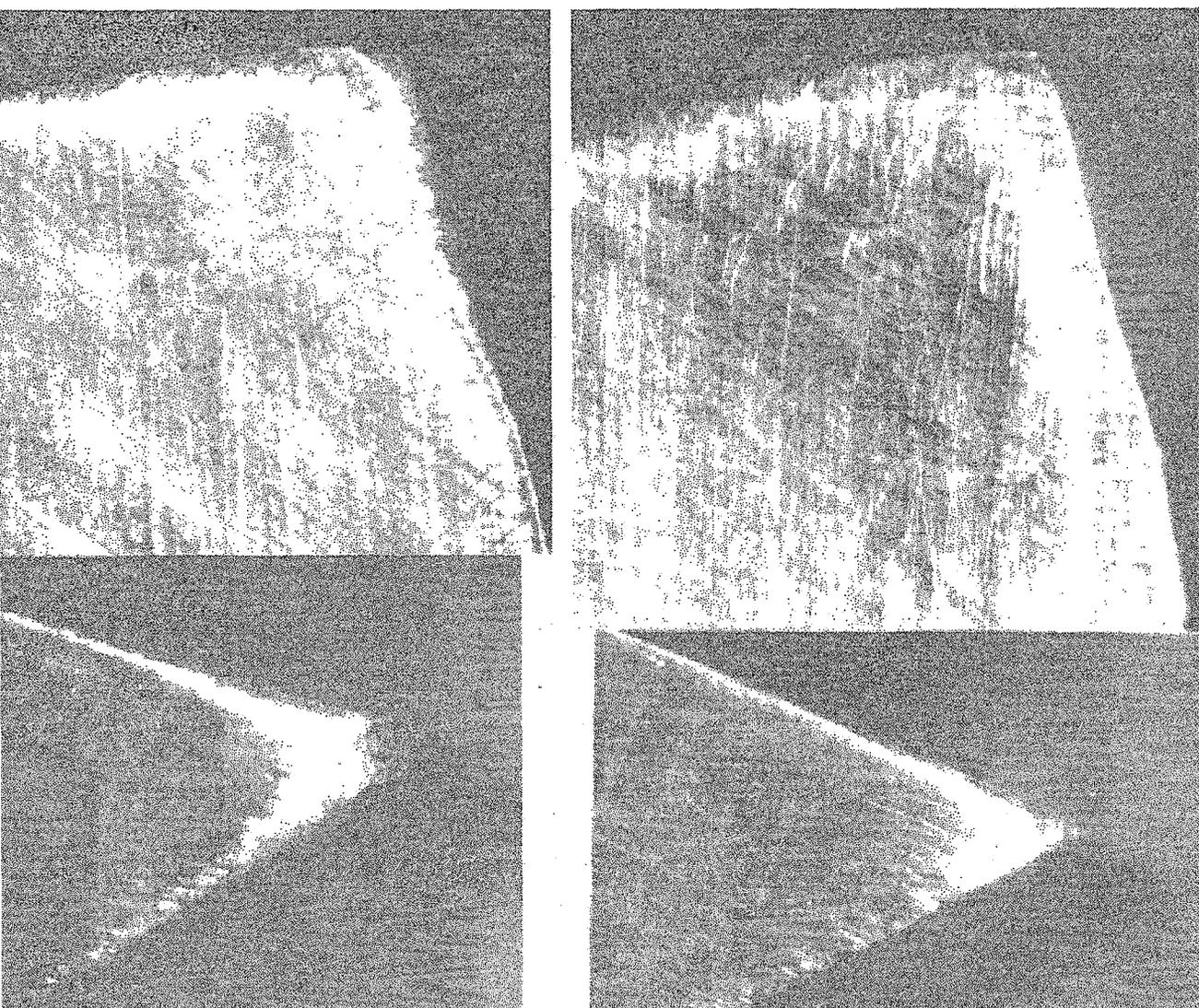


Figura 9.4- Fotografias com ampliação de 25 X, mostrando duas ferramentas após a usinagem de 128,6 km da madeira Eucalipto saturada, na rotação de 6320 rpm, à esquerda, de aço AISI D-6, à direita de stellite 1. As fotos superiores são das superfícies de folga principais; as inferiores, da superfície de folga frontal.

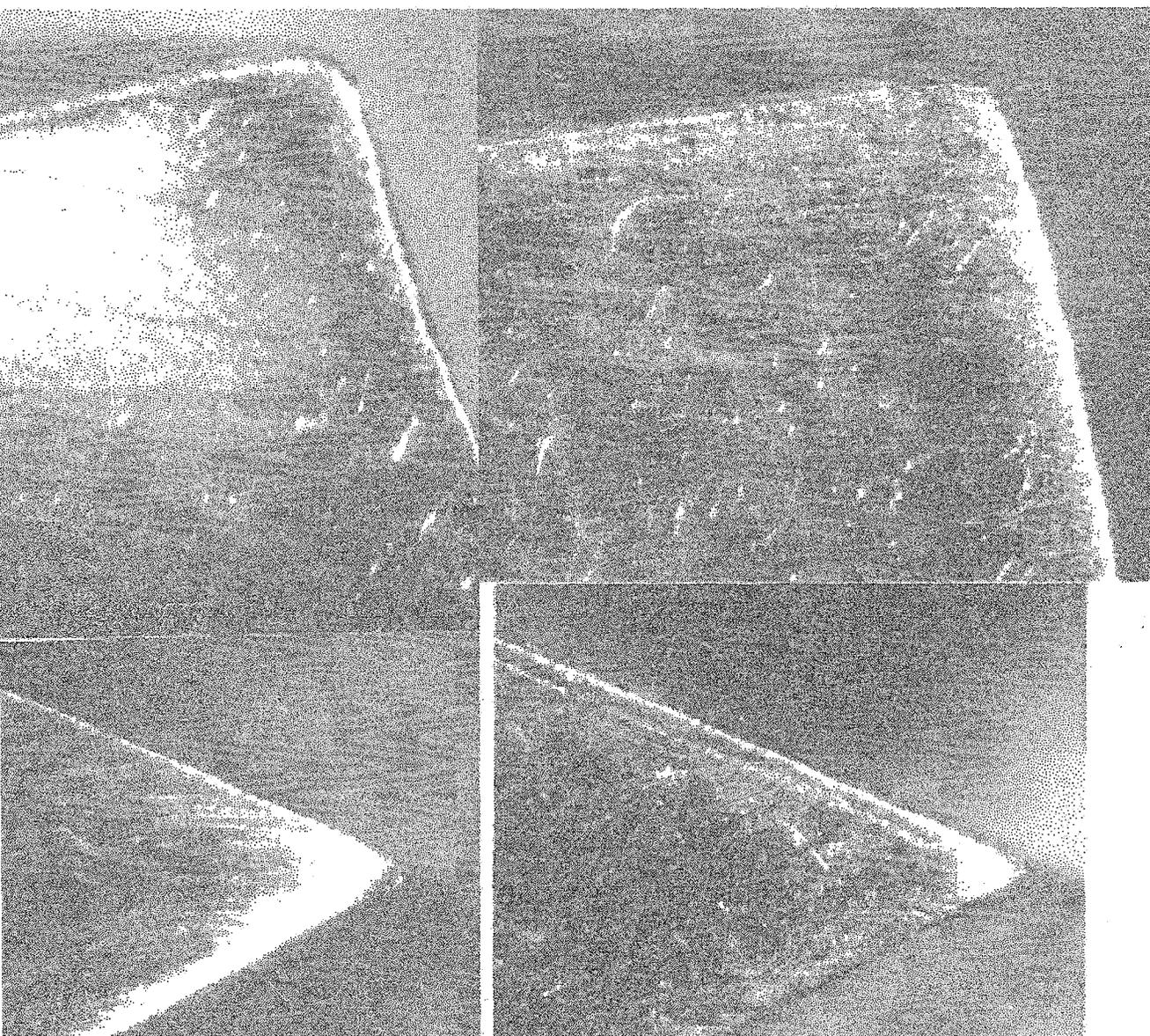


Figura 9.5- Fotografias com ampliação de 25X, mostrando duas ferramentas após a usinagem de 116,6 km da madeira Eucalipto seca ao ar, na rotação de 3136 rpm, à esquerda, de aço AISI D-6, à direita, de stellite 1. As fotos superiores são das superfícies de folga principais; as inferiores, da superfície de folga frontal.

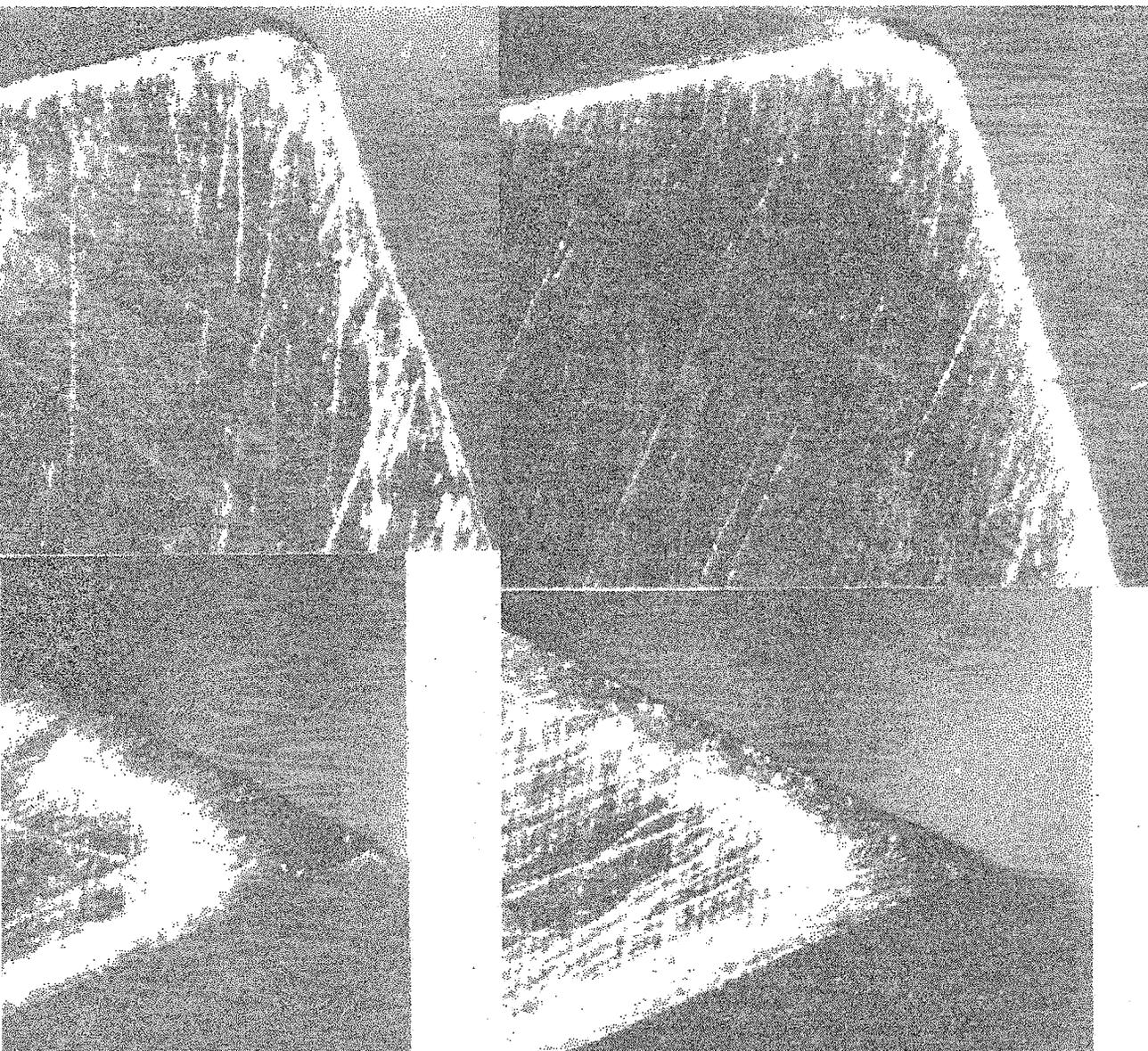


Figura 9.6- Fotografias com ampliação de 25X, mostrando duas ferramentas após a usinagem de 134 km da madeira Eucalipto seca ao ar, na rotação de 4320 rpm, à esquerda, de aço AISI D-6, à direita, de stellite 1. As fotos superiores são das superfícies de folga principais; as inferiores, da superfície de folga frontal.

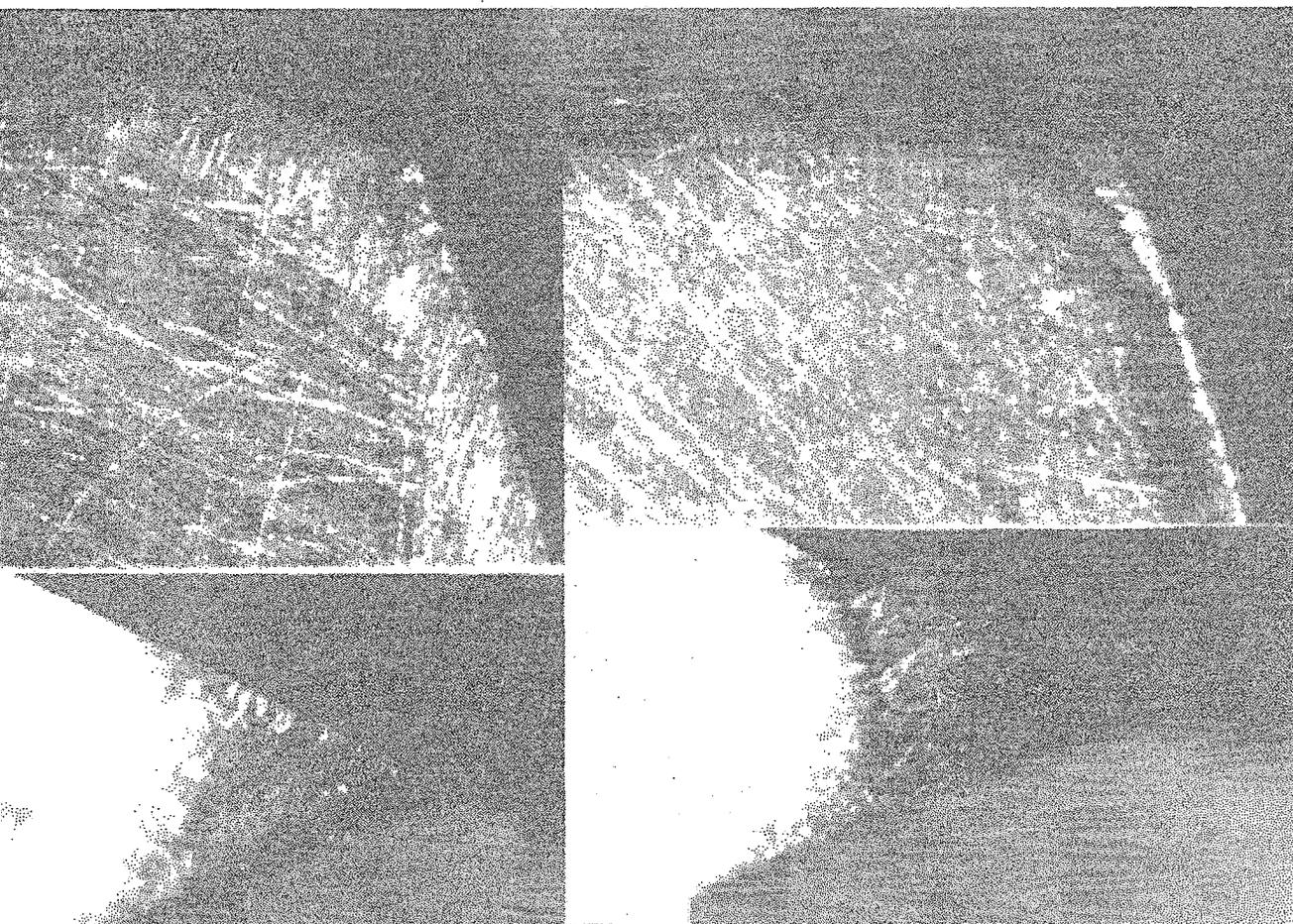


Figura 9.7- Fotografias com ampliação de 25X, mostrando duas ferramentas após a usinagem de 113,9 km da madeira Eucalipto seca ao ar, na rotação de 5320 rpm, à esquerda, de aço AISI D-6, à direita, de stellite 1. As fotos superiores são das superfícies de folga principais; as inferiores, da superfície de folga frontal.

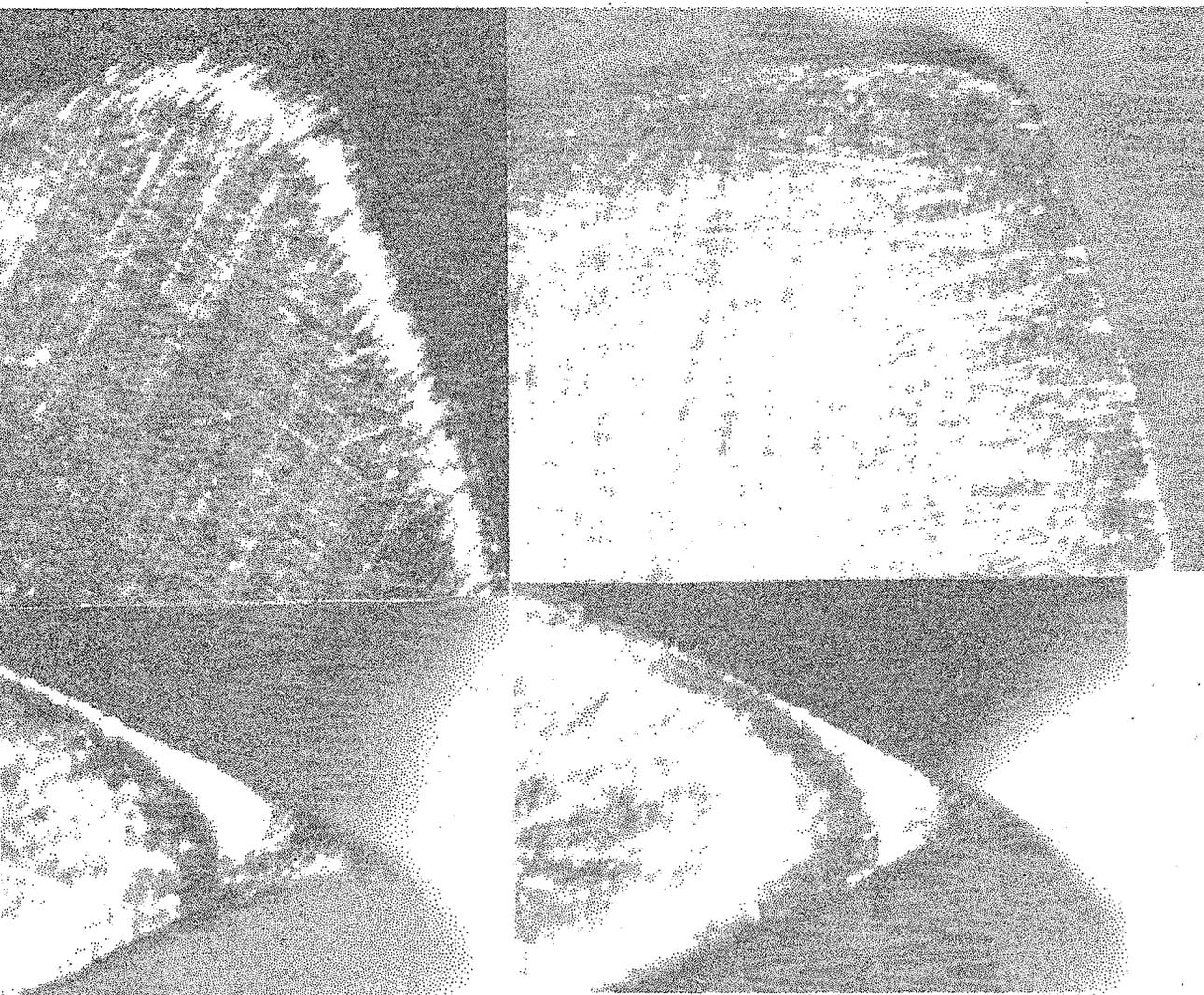


Figura 9.8- Fotografias com ampliação de 25X, mostrando duas ferramentas após a usinagem de 107 km da madeira Eucalipto seca, na rotação de 6320 rpm, à esquerda, de aço AISI D-6, à direita de stellite 1. As fotos superiores são das superfícies de folga principais; as inferiores, da superfície de folga frontal.

Tabela 9.1- Material		stellite 1				3136 rpm		Madeira saturada					
Código		00k01v3		00k02v3		00k06v3		00k07v3		00k08v		00k12v3	
X (mm)	Z (mm)	Zc (mm)	Z (mm)	Zc (mm)	Z (mm)	Zc (mm)	Z (mm)	Zc (mm)	Z (mm)	Zc (mm)	Z (mm)	Zc (mm)	Média
0	-0.012	-0.01	-0.012	-0.012	-0.017	-0.008	-0.012	-0.01	-0.002	-0.004	-0.01	-0.012	-0.0093
0.1	-0.01	-0.008	-0.009	-0.009	-0.016	-0.007	-0.01	-0.008	-0.001	-0.003	-0.008	-0.01	-0.0075
0.2	-0.008	-0.006	-0.005	-0.005	-0.014	-0.005	-0.007	-0.005	-0.002	-0.004	-0.006	-0.008	-0.0055
0.3	-0.005	-0.003	-0.003	-0.003	-0.012	-0.003	-0.006	-0.004	-0.001	-0.003	-0.004	-0.006	-0.0037
0.4	-0.005	-0.003	-0.002	-0.002	-0.011	-0.002	-0.003	-0.001	-0.001	-0.003	-0.002	-0.004	-0.0025
0.5	-0.004	-0.002	-0.001	-0.001	-0.01	-0.001	-0.002	0	-0.001	-0.003	0	-0.002	-0.0015
0.6	-0.003	-0.001	-0.001	-0.001	-0.009	0	-0.002	0	-0.001	-0.003	0.001	-0.001	-0.0010
0.7	-0.002	0	-0.001	-0.001	-0.009	0	-0.002	0	0	-0.002	0.003	0.001	-0.0003
0.8	-0.002	0	0	0	-0.009	0	-0.002	0	0.003	0.001	0.003	0.001	0.0003
0.9	-0.002	0	0	0	-0.009	0	-0.002	0	0.003	0.001	0.003	0.001	0.0003
1	-0.001	0.001	0.001	0.001	-0.008	0.001	-0.002	0	0.003	0.001	0.003	0.001	0.0008
1.1	-0.001	0.001	0.001	0.001	-0.008	0.001	-0.002	0	0.003	0.001	0.003	0.001	0.0008
1.2	-0.001	0.001	0.001	0.001	-0.008	0.001	-0.002	0	0.003	0.001	0.003	0.001	0.0008
1.3	-0.001	0.001	0.001	0.001	-0.008	0.001	-0.002	0	0.003	0.001	0.003	0.001	0.0008
1.4	-0.002	0	0.001	0.001	-0.008	0.001	-0.002	0	0.003	0.001	0.003	0.001	0.0007
1.5	-0.002	0	0.001	0.001	-0.008	0.001	-0.002	0	0.003	0.001	0.002	0	0.0005
1.6	-0.002	0	0.001	0.001	-0.009	0	-0.002	0	0.003	0.001	0.002	0	0.0003
1.7	-0.003	-0.001	0	0	-0.009	0	-0.002	0	0.002	0	0.002	0	-0.0002
1.8	-0.004	-0.002	-0.001	-0.001	-0.009	0	-0.002	0	0.002	0	0.002	0	-0.0005
1.9	-0.006	-0.004	-0.003	-0.003	-0.01	-0.001	-0.003	-0.001	0.002	0	0.002	0	-0.0015
2	-0.006	-0.004	-0.01	-0.01	-0.014	-0.005	-0.003	-0.001	-0.005	-0.007	0	-0.002	-0.0048
2.1	-0.006	-0.004	-0.015	-0.015	-0.014	-0.005	-0.004	-0.002			-0.005	-0.007	-0.0066
2.2	-0.006	-0.004	-0.015	-0.015	-0.019	-0.01	-0.004	-0.002			-0.006	-0.008	-0.0078
2.3	-0.007	-0.005	-0.017	-0.017	-0.023	-0.014	-0.006	-0.004			-0.007	-0.009	-0.0098
2.4	-0.007	-0.005	-0.019	-0.019	-0.031	-0.022	-0.008	-0.006			-0.008	-0.01	-0.0124
2.5	-0.008	-0.006	-0.021	-0.021	-0.042	-0.033	-0.011	-0.009			-0.01	-0.012	-0.0162
2.7	-0.009	-0.007	-0.028	-0.028	-0.061	-0.052	-0.017	-0.015			-0.013	-0.015	-0.0234
2.9	-0.016	-0.014	-0.035	-0.035	-0.074	-0.065	-0.02	-0.018			-0.015	-0.017	-0.0298
3.1	-0.029	-0.027	-0.042	-0.042	-0.092	-0.083	-0.025	-0.023			-0.016	-0.018	-0.0386
Média													
(0.4 - 1.4)		-0.000182		0.00000		0.00018		-0.00009		-0.000364		0.00009	-0.00006
Zc são cotas corrigidas pela média, correspondentes a X de (0.4 a 1.4), da coluna Z, referente ao dente em questão.													









Tabela 9.6	Material	stellite 1	64.3 km de corte		3136 rpm		Madeira saturada					
Código	64.3k01v3		64.3k02v3		64.3k06v3		64.3k07v3		64.3k08v3		64.3k12v3	
X (mm)	Z (mm)	X (mm)	Z (mm)	X (mm)	Z (mm)	X (mm)	Z (mm)	X (mm)	Z (mm)	X (mm)	Z (mm)	Média
0	-0.19	0	-0.195	0	-0.165	0	-0.195	0	-0.16	0	-0.168	-0.1788
0.1	-0.175	0.1	-0.185	0.1	-0.158	0.1	-0.183	0.1	-0.15	0.1	-0.157	-0.1680
0.2	-0.163	0.2	-0.166	0.2	-0.151	0.2	-0.172	0.2	-0.138	0.2	-0.147	-0.1562
0.3	-0.156	0.3	-0.151	0.3	-0.141	0.3	-0.163	0.3	-0.131	0.3	-0.142	-0.1473
0.4	-0.146	0.4	-0.135	0.4	-0.13	0.4	-0.155	0.4	-0.127	0.4	-0.139	-0.1387
0.5	-0.14	0.5	-0.13	0.5	-0.126	0.5	-0.154	0.5	-0.12	0.5	-0.133	-0.1338
0.6	-0.133	0.6	-0.125	0.6	-0.118	0.6	-0.147	0.6	-0.117	0.6	-0.126	-0.1277
0.7	-0.127	0.7	-0.115	0.7	-0.109	0.7	-0.138	0.7	-0.109	0.7	-0.123	-0.1202
0.8	-0.115	0.8	-0.106	0.8	-0.101	0.8	-0.124	0.8	-0.1	0.8	-0.112	-0.1097
0.9	-0.108	0.9	-0.093	0.9	-0.091	0.9	-0.117	0.9	-0.087	0.9	-0.1	-0.0993
1	-0.096	1	-0.083	1	-0.08	1	-0.105	1	-0.072	1	-0.087	-0.0872
1.1	-0.083	1.1	-0.065	1.1	-0.067	1.1	-0.086	1.1	-0.057	1.1	-0.074	-0.0720
1.2	-0.072	1.2	-0.052	1.2	-0.055	1.2	-0.078	1.2	-0.044	1.2	-0.067	-0.0613
1.3	-0.059	1.3	-0.041	1.3	-0.041	1.3	-0.06	1.3	-0.035	1.3	-0.056	-0.0487
1.4	-0.041	1.4	-0.027	1.4	-0.028	1.4	-0.042	1.4	-0.024	1.4	-0.042	-0.0340
1.5	-0.032	1.5	-0.014	1.5	-0.016	1.5	-0.036	1.5	-0.011	1.5	-0.029	-0.0230
1.6	-0.016	1.6	-0.006	1.6	-0.01	1.6	-0.025	1.6	-0.005	1.6	-0.019	-0.0135
1.7	-0.009	1.7	-0.001	1.7	-0.006	1.7	-0.011	1.7	0	1.7	-0.015	-0.0070
1.8	-0.007	1.8	0	1.8	-0.002	1.8	-0.006	1.8	0	1.8	-0.014	-0.0048
1.9	-0.005	1.9	0	1.9	-0.001	1.9	-0.003	1.9	0	1.9	-0.014	-0.0038
2	-0.005			2.1	-0.001	2	-0.003	2	0	2	-0.015	-0.0048
2.1	-0.005			2.1	-0.005	2.1	-0.003			2.1	-0.019	-0.0080
2.2	-0.006			2.2	-0.008	2.2	-0.003			2.2	-0.025	-0.0105
2.3	-0.008			2.3	-0.013	2.3	-0.004			2.3	-0.031	-0.0140
2.4	-0.012			2.4	-0.022	2.4	-0.008					-0.0140
2.5	-0.013			2.5	-0.031	2.5	-0.012					-0.0187
Média												
(0.4 - 1.4)	-0.101818		-0.088364		-0.08600		-0.109636		-0.081091		-0.096273	-0.09386

Tabela 9.7- Material		AISI D-6			00 km de corte			3136 rpm			Madeira saturada						
Código		00k03v3		00k04v3		00k05v3		00k09v3		00k10v3		00k11v3					
X (mm)	Z (mm)	Zc (mm)	Z (mm)	Zc (mm)	Z (mm)	Zc (mm)	Z (mm)	Zc (mm)	Z (mm)	Zc (mm)	Z (mm)	Zc (mm)	Z (mm)	Zc (mm)	Média		
0	-0.019	-0.016	-0.016	-0.015	-0.015	-0.015	-0.007	-0.006	-0.003	-0.005	-0.008	-0.006	-0.0105				
0.1	-0.017	-0.014	-0.015	-0.014	-0.013	-0.013	-0.006	-0.005	-0.002	-0.004	-0.008	-0.006	-0.0093				
0.2	-0.013	-0.01	-0.011	-0.01	-0.009	-0.009	-0.004	-0.003	-0.001	-0.003	-0.006	-0.004	-0.0065				
0.3	-0.011	-0.008	-0.009	-0.008	-0.007	-0.007	-0.004	-0.003	0.001	-0.001	-0.005	-0.003	-0.0050				
0.4	-0.008	-0.005	-0.007	-0.006	-0.005	-0.005	-0.002	-0.001	0.001	-0.001	-0.005	-0.003	-0.0035				
0.5	-0.006	-0.003	-0.005	-0.004	-0.003	-0.003	-0.001	0	0	-0.002	-0.003	-0.001	-0.0022				
0.6	-0.005	-0.002	-0.003	-0.002	-0.001	-0.001	-0.001	0	0.001	-0.001	-0.003	-0.001	-0.0012				
0.7	-0.004	-0.001	-0.001	0	0	0	-0.002	-0.001	0.002	0	-0.003	-0.001	-0.0005				
0.8	-0.003	0	-0.001	0	0	0	-0.001	0	0.002	0	-0.003	-0.001	-0.0002				
0.9	-0.002	0.001	-0.001	0	0.001	0.001	-0.001	0	0.002	0	-0.001	0.001	0.0005				
1	-0.001	0.002	0	0.001	0.001	0.001	-0.001	0	0.002	0	-0.001	0.001	0.0008				
1.1	-0.001	0.002	0	0.001	0.001	0.001	-0.001	0	0.002	0	-0.001	0.001	0.0008				
1.2	-0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	-0.001	0	0.003	0.001	-0.001	0.001	0.0012				
1.3	-0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	-0.001	0	0.003	0.001	-0.001	0.001	0.0012				
1.4	-0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0	0.001	0.003	0.001	-0.001	0.001	0.0013				
1.5	-0.001	0.002	0.001	0.002	0.002	0.002	0	0.001	0.003	0.001	-0.001	0.001	0.0015				
1.6	-0.001	0.002	0.001	0.002	0.002	0.002	0	0.001	0.003	0.001	0	0.002	0.0017				
1.7	-0.001	0.002	0.001	0.002	0.002	0.002	0	0.001	0.003	0.001	0	0.002	0.0017				
1.8	-0.001	0.002	0.001	0.002	0.002	0.002	0	0.001	0.002	0	0	0.002	0.0015				
1.9	-0.001	0.002	0	0.001	0.002	0.002	0	0.001	0.002	0	0	0.002	0.0013				
2	-0.001	0.002	0	0.001	0.002	0.002	0	0.001	0.003	0.001	0	0.002	0.0015				
2.1	-0.002	0.001	0	0.001	0.002	0.002	0	0.001	0.003	0.001	0	0.002	0.0013				
2.2	-0.002	0.001	0	0.001	0.002	0.002	0	0.001	0.002	0	0	0.002	0.0012				
2.3	-0.003	0	0	0.001	0.001	0.001	0	0.001	0.002	0	-0.001	0.001	0.0007				
2.4	-0.004	-0.001	-0.001	0	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0	-0.001	0.001	0.0005				
2.5	-0.005	-0.002	-0.002	-0.001	0.001	0.001	0.003	0.004	0.001	-0.001	-0.001	0.001	0.0003				
2.7	-0.008	-0.005	-0.004	-0.003	0.001	0.001	0.002	0.003	0.001	-0.001	-0.002	0	-0.0008				
2.9	-0.01	-0.007	-0.005	-0.004	0	0	0.002	0.003	0.001	-0.001	-0.005	-0.003	-0.0020				
3.1	-0.011	-0.008	-0.004	-0.003	-0.001	-0.001	0	0.001	0	-0.002	-0.007	-0.005	-0.0030				
3.3	-0.015	-0.012	-0.005	-0.004	-0.001	-0.001	-0.004	-0.003	-0.002	-0.004	-0.009	-0.007	-0.0052				
3.5	-0.02	-0.017	-0.005	-0.004	-0.004	-0.004	-0.008	-0.007	-0.004	-0.006	-0.013	-0.011	-0.0082				
3.7	-0.026	-0.023	-0.005	-0.004	-0.007	-0.007	0	0.001	-0.005	-0.007	-0.017	-0.015	-0.0092				
3.9	-0.036	-0.033	-0.007	-0.006	-0.014	-0.014			-0.006	-0.008	-0.026	-0.024	-0.0170				
4.1	-0.054	-0.051	-0.013	-0.012	-0.026	-0.026			-0.008	-0.01	-0.05	-0.048	-0.0294				
4.3	-0.085	-0.082	-0.026	-0.025	-0.053	-0.053			-0.013	-0.015	-0.096	-0.094	-0.0538				
Média																	
(0.4 - 1.4)		0.00000		-0.00036		-0.00027		-0.00009		-0.00009		-0.00009	-0.00015				

Zc são cotas corrigidas pela média, correspondentes a X de (0.4 a 1.4), da coluna Z, referente ao dente em questão.

Tabela 9.8- Material		AISI D-6			08 km de corte			3136 rpm			Madeira saturada					
Código	08k03v3		08k04v3		08k05v3		08k09v3		08k10v3		08k11v3					
X (mm)	Z (mm)	X (mm)	Z (mm)	X (mm)	Z (mm)	X (mm)	Z (mm)	X (mm)	Z (mm)	X (mm)	Z (mm)	X (mm)	Z (mm)	Média		
0	-0.064	0	-0.066	0	-0.083	0	-0.084	0	-0.087	0	-0.089	0	-0.089	-0.0788		
0.1	-0.064	0.1	-0.067	0.1	-0.082	0.1	-0.08	0.1	-0.087	0.1	-0.084	0.1	-0.084	-0.0773		
0.2	-0.063	0.2	-0.064	0.2	-0.081	0.2	-0.079	0.2	-0.083	0.2	-0.083	0.2	-0.083	-0.0755		
0.3	-0.06	0.3	-0.06	0.3	-0.081	0.3	-0.079	0.3	-0.079	0.3	-0.08	0.3	-0.08	-0.0732		
0.4	-0.058	0.4	-0.06	0.4	-0.077	0.4	-0.079	0.4	-0.073	0.4	-0.075	0.4	-0.075	-0.0703		
0.5	-0.052	0.5	-0.059	0.5	-0.072	0.5	-0.074	0.5	-0.069	0.5	-0.07	0.5	-0.07	-0.0660		
0.6	-0.049	0.6	-0.056	0.6	-0.068	0.6	-0.073	0.6	-0.067	0.6	-0.07	0.6	-0.07	-0.0638		
0.7	-0.049	0.7	-0.055	3136 rpm	Madeira sat	0.7	-0.069	0.7	-0.057	0.7	-0.064	0.7	-0.064	-0.0588		
0.8	-0.045	0.8	-0.047	0.8	-0.059	0.8	-0.06	0.8	-0.052	0.8	-0.059	0.8	-0.059	-0.0537		
0.9	-0.036	0.9	-0.044	0.9	-0.057	0.9	-0.056	0.9	-0.048	0.9	-0.054	0.9	-0.054	-0.0492		
1	-0.028	1	-0.04	1	-0.048	1	-0.049	1	-0.04	1	-0.047	1	-0.047	-0.0420		
1.1	-0.025	1.1	-0.033	1.1	-0.043	1.1	-0.044	1.1	-0.032	1.1	-0.038	1.1	-0.038	-0.0358		
1.2	-0.019	1.2	-0.032	1.2	-0.034	1.2	-0.036	1.2	-0.024	1.2	-0.029	1.2	-0.029	-0.0290		
1.3	-0.015	1.3	-0.026	1.3	-0.027	1.3	-0.027	1.3	-0.019	1.3	-0.02	1.3	-0.02	-0.0223		
1.4	-0.007	1.4	-0.018	1.4	-0.02	1.4	-0.021	1.4	-0.015	1.4	-0.015	1.4	-0.015	-0.0160		
1.5	-0.002	1.5	-0.011	1.5	-0.014	1.5	-0.015	1.5	-0.015	1.5	-0.012	1.5	-0.012	-0.0115		
1.6	0.002	1.6	-0.006	1.6	-0.009	1.6	-0.01	1.6	-0.011	1.6	-0.006	1.6	-0.006	-0.0067		
1.7	0.002	1.7	0	1.7	-0.006	1.7	-0.007	1.7	-0.006	1.7	-0.006	1.7	-0.006	-0.0038		
1.8	0.002	1.8	0	1.8	-0.004	1.8	-0.004	1.8	-0.002	1.8	-0.003	1.8	-0.003	-0.0018		
1.9	0.002	1.9	0	1.9	0	1.9	0.001	1.9	-0.002	1.9	0	1.9	0	0.0002		
2	0.001	2	0	2	0	2	0.002	2	-0.002	2	0.001	2	0.001	0.0003		
2.1	0	2.1	0	2.1	0	2.1	0.003	2.1	-0.002	2.1	0.001	2.1	0.001	0.0003		
2.2	0	2.2	0	2.2	0.001	2.2	0.003	2.2	-0.002	2.2	0.001	2.2	0.001	0.0005		
2.3	0	2.3	0	2.3	0.001	2.3	0.003	2.3	-0.002	2.3	0.001	2.3	0.001	0.0005		
		2.4	0	2.4	0.001	2.4	0.003	2.4	-0.002	2.4	0.001	2.4	0.001	0.0006		
				2.5	0.001	2.5	0.003	2.5	-0.002	2.5	-0.001	2.5	-0.001	0.0003		
				2.6	0.001	2.6	0.003	2.6	-0.002	2.6	-0.003	2.6	-0.003	-0.0003		
				2.7	0.001	2.7	0.003	2.7	-0.002	2.7	-0.007	2.7	-0.007	-0.0013		
				2.8	0	2.8	0.002	2.8	-0.002	2.8	-0.009	2.8	-0.009	-0.0023		
				2.9	0	2.9	0.002	2.9	-0.002	2.9	-0.009	2.9	-0.009	-0.0023		
Média																
(0.4 - 1.4)	-0.034818		-0.042727		-0.05050		-0.053455		-0.045091		-0.049182		-0.04596			



Tabela 9.10- Material		AISI D-6		32.1 km de corte		3136 rpm		Madeira saturada					
Código	32.1k03v3		32.1k04v3		32.1k05v3		32.1k09V3		32.1k10v3		32.1k11v3		
X (mm)	Z (mm)	X (mm)	Z (mm)	X (mm)	Z (mm)	X (mm)	Z (mm)	X (mm)	Z (mm)	X (mm)	Z (mm)	Média	
0	-0.207	0	-0.215	0	-0.235	0	-0.245	0	-0.248	0	-0.222	-0.2287	
0.1	-0.203	0.1	-0.205	0.1	-0.228	0.1	-0.238	0.1	-0.24	0.1	-0.208	-0.2203	
0.3	-0.195	0.2	-0.199	0.2	-0.22	0.2	-0.229	0.2	-0.236	0.2	-0.204	-0.2138	
0.3	-0.192	0.3	-0.189	0.3	-0.209	0.3	-0.22	0.3	-0.231	0.4	-0.198	-0.2065	
0.4	-0.18	0.4	-0.18	0.4	-0.198	0.4	-0.213	0.4	-0.225	0.4	-0.194	-0.1983	
0.5	-0.169	0.5	-0.172	0.5	-0.187	0.5	-0.203	0.5	-0.212	0.5	-0.182	-0.1875	
0.6	-0.158	0.6	-0.158	0.6	-0.173	0.6	-0.189	0.6	-0.193	0.6	-0.173	-0.1740	
0.7	-0.153	0.7	-0.14	0.7	-0.157	0.7	-0.172	0.7	-0.178	0.7	-0.16	-0.1600	
0.8	-0.138	0.8	-0.124	0.8	-0.139	0.8	-0.159	0.8	-0.165	0.8	-0.145	-0.1450	
0.9	-0.116	1	-0.108	0.9	-0.121	1	-0.147	0.9	-0.142	0.9	-0.131	-0.1275	
1	-0.094	1	-0.092	1	-0.099	1	-0.12	1	-0.124	1	-0.115	-0.1073	
1.1	-0.079	1.1	-0.075	1.1	-0.083	1.1	-0.109	1.1	-0.106	1.1	-0.096	-0.0913	
1.3	-0.065	1.2	-0.054	1.2	-0.065	1.2	-0.086	1.2	-0.09	1.2	-0.082	-0.0737	
1.3	-0.045	1.3	-0.043	1.3	-0.051	1.3	-0.069	1.3	-0.075	1.3	-0.065	-0.0580	
1.4	-0.03	1.4	-0.031	1.4	-0.039	1.4	-0.055	1.4	-0.061	1.4	-0.052	-0.0447	
1.5	-0.019	1.5	-0.021	1.5	-0.027	1.5	-0.041	1.5	-0.044	1.5	-0.038	-0.0317	
1.6	-0.01	1.6	-0.013	1.6	-0.019	1.6	-0.033	1.7	-0.034	1.6	-0.027	-0.0227	
1.7	-0.004	1.8	-0.009	1.7	-0.012	1.7	-0.028	1.7	-0.026	1.7	-0.017	-0.0160	
1.8	0	1.8	-0.002	1.8	-0.007	1.9	-0.014	1.9	-0.021	1.9	-0.013	-0.0095	
1.9	0	1.9	0	1.9	-0.004	1.9	-0.007	1.9	-0.012	1.9	-0.007	-0.0050	
2	0	2	0	2	-0.001	2	-0.001	2	-0.006	2	-0.003	-0.0018	
2.2	0	2.1	0	2.1	0.001	2.2	0.002	2.2	-0.002	2.1	-0.002	-0.0002	
2.2	0	2.2	0	2.2	0.001	2.3	0.004	2.2	-0.002	2.2	-0.002	0.0002	
2.3	0	2.3	0	2.3	0.001	2.4	0.004	2.3	-0.002	2.3	-0.002	0.0002	
		2.4	0	2.4	0.001	2.5	0.004	2.4	-0.002	2.4	-0.002	0.0002	
				2.5	0.001	2.5	0.004	2.5	-0.002	2.5	-0.002	0.0003	
				2.6	0.001	2.6	0.004	2.6	-0.002	2.6	-0.002	0.0003	
				2.7	0.001	2.7	0.004	2.7	-0.002	2.7	-0.002	0.0003	
				2.8	0	2.8	0.003	2.8	-0.002	2.8	-0.003	-0.0005	
				2.9	0	2.9	0.002	2.9	-0.002	2.9	-0.005	-0.0013	
Média													
(0.4 - 1.4)	-0.111545		-0.10700		-0.119273		-0.138364		-0.142818		-0.126818	-0.12430	

Tabela 9.11		Material	AISI D-6			48.2 km de corte			3136 rpm			Madeira saturada		
Código	48.2k03v3		48.2k04v3		48.2k05v3		48.2k09v3		48.2k10v3		48.2k11v3			
X (mm)	Z (mm)	X (mm)	Z (mm)	X (mm)	Z (mm)	X (mm)	Z (mm)	X (mm)	Z (mm)	X (mm)	Z (mm)	Média		
0	-0.243	0	-0.253	0	-0.272	0.1	-0.278	0	-0.286	0	-0.229	-0.2602		
0.1	-0.234	0.1	-0.243	0.1	-0.265	0.1	-0.271	0.1	-0.278	0.1	-0.219	-0.2517		
0.2	-0.228	0.2	-0.231	0.2	-0.249	0.2	-0.26	0.2	-0.273	0.2	-0.215	-0.2427		
0.3	-0.218	0.3	-0.218	0.3	-0.231	0.3	-0.253	0.3	-0.262	0.3	-0.207	-0.2315		
0.4	-0.206	0.4	-0.203	0.4	-0.219	0.5	-0.241	0.4	-0.248	0.4	-0.199	-0.2193		
0.5	-0.191	0.5	-0.185	0.5	-0.21	0.5	-0.228	0.5	-0.231	0.5	-0.191	-0.2060		
0.6	-0.178	0.6	-0.171	0.6	-0.178	0.6	-0.21	0.6	-0.216	0.6	-0.181	-0.1890		
0.7	-0.158	0.7	-0.157	0.7	-0.167	0.7	-0.189	0.7	-0.198	0.7	-0.168	-0.1728		
0.8	-0.138	0.8	-0.139	0.8	-0.149	0.8	-0.17	0.8	-0.178	0.8	-0.157	-0.1552		
0.9	-0.118	0.9	-0.123	0.9	-0.118	0.9	-0.15	0.9	-0.162	0.9	-0.136	-0.1345		
1	-0.1	1	-0.105	1	-0.105	1	-0.135	1	-0.138	1	-0.118	-0.1168		
1.1	-0.083	1.1	-0.082	1.1	-0.08	1.2	-0.111	1.1	-0.117	1.1	-0.104	-0.0962		
1.2	-0.063	1.2	-0.075	1.2	-0.067	1.2	-0.097	1.2	-0.098	1.2	-0.088	-0.0813		
1.3	-0.047	1.3	-0.057	1.3	-0.051	1.3	-0.078	1.3	-0.083	1.3	-0.072	-0.0647		
1.4	-0.037	1.4	-0.043	1.4	-0.038	1.4	-0.06	1.4	-0.067	1.4	-0.057	-0.0503		
1.5	-0.029	1.5	-0.033	1.5	-0.032	1.5	-0.049	1.5	-0.054	1.5	-0.043	-0.0400		
1.6	-0.018	1.6	-0.023	1.6	-0.02	1.6	-0.04	1.6	-0.045	1.6	-0.031	-0.0295		
1.7	-0.013	1.7	-0.016	1.7	-0.014	1.7	-0.028	1.7	-0.042	1.7	-0.022	-0.0225		
1.8	-0.005	1.8	-0.01	1.8	-0.012	1.8	-0.016	1.8	-0.028	1.8	-0.014	-0.0142		
1.9	0	1.9	-0.006	1.9	-0.007	1.9	-0.008	1.9	-0.017	1.9	-0.008	-0.0077		
2	0	2	-0.001	2	-0.001	2	-0.003	2	-0.011	2	-0.002	-0.0030		
2.1	0	2.1	0	2.1	0.001	2.1	0.002	2.1	-0.006	2.1	-0.001	-0.0007		
2.2	0	2.2	0	2.3	0.001	2.2	0.005	2.2	-0.002	2.2	-0.001	0.0005		
2.3	0	2.3	0	2.3	0.001	2.3	0.005	2.3	-0.002	2.3	-0.001	0.0005		
		2.4	0	2.4	0.001	2.4	0.006	2.4	-0.002	2.4	-0.003	0.0004		
				2.5	0.001	2.5	0.006	2.5	-0.002	2.5	-0.004	0.0003		
				2.6	0	2.6	0.004	2.6	-0.002	2.6	-0.002	0.0000		
				2.7	0	2.7	0.004	2.7	-0.002	2.7	-0.002	0.0000		
				2.8	0	2.8	0.002	2.8	-0.002	2.8	-0.003	-0.0008		
				2.9	0	2.9	0.002	2.9	-0.002	2.9	-0.004	-0.0010		
Média														
(0.4 - 1.4)	-0.119909		-0.121818		-0.125636		-0.151727		-0.157818		-0.133727	-0.13511		

Tabela 9.12- Material		AISI D-6 64.3 km de corte				3136 rpm				Madeira saturada			
Código	64.3k03v3	64.3k04v3		64.3k05v3		64.3k09v3		64.3k10v3		64.3k11v3		Média	
X (mm)	Z (mm)	X (mm)	Z (mm)	X (mm)	Z (mm)	X (mm)	Z (mm)	X (mm)	Z (mm)	X (mm)	Z (mm)	Média	
0	-0.262	0	-0.258	0	-0.268	0	-0.3	0	-0.305	0	-0.295	-0.2813	
0.1	-0.246	0.1	-0.242	0.1	-0.264	0.1	-0.289	0.1	-0.282	0.1	-0.283	-0.2677	
0.2	-0.227	0.2	-0.235	0.2	-0.247	0.2	-0.264	0.2	-0.275	0.2	-0.273	-0.2535	
0.3	-0.216	0.3	-0.224	0.3	-0.238	0.3	-0.247	0.3	-0.259	0.3	-0.264	-0.2413	
0.4	-0.209	0.4	-0.219	0.4	-0.235	0.4	-0.234	0.4	-0.241	0.4	-0.247	-0.2308	
0.5	-0.198	0.5	-0.211	0.5	-0.229	0.5	-0.226	0.5	-0.238	0.5	-0.238	-0.2233	
0.6	-0.19	0.6	-0.198	0.6	-0.223	0.6	-0.219	0.6	-0.234	0.6	-0.23	-0.2157	
0.7	-0.184	0.7	-0.19	0.7	-0.21	0.7	-0.213	0.7	-0.224	0.7	-0.218	-0.2065	
0.8	-0.178	0.8	-0.178	0.8	-0.196	0.8	-0.206	0.8	-0.219	0.8	-0.216	-0.1988	
0.9	-0.158	0.9	-0.162	0.9	-0.182	0.9	-0.191	0.9	-0.202	0.9	-0.196	-0.1818	
1	-0.149	1	-0.15	1	-0.154	1	-0.178	1	-0.192	1	-0.177	-0.1667	
1.1	-0.134	1.1	-0.126	1.1	-0.138	1.1	-0.159	1.1	-0.177	1.1	-0.156	-0.1483	
1.2	-0.109	1.2	-0.11	1.2	-0.122	1.2	-0.146	1.2	-0.16	1.2	-0.139	-0.1310	
1.3	-0.094	1.3	-0.096	1.3	-0.103	1.3	-0.13	1.3	-0.142	1.3	-0.12	-0.1142	
1.4	-0.079	1.4	-0.075	1.5	-0.077	1.4	-0.103	1.4	-0.122	1.4	-0.102	-0.0930	
1.5	-0.065	1.5	-0.056	1.5	-0.069	1.5	-0.092	1.5	-0.104	1.5	-0.093	-0.0798	
1.6	-0.045	1.6	-0.042	1.6	-0.048	1.6	-0.072	1.6	-0.088	1.6	-0.075	-0.0617	
1.7	-0.031	1.7	-0.035	1.7	-0.042	1.7	-0.058	1.7	-0.069	1.7	-0.059	-0.0490	
1.8	-0.021	1.8	-0.023	1.8	-0.029	1.8	-0.05	1.8	-0.052	1.8	-0.045	-0.0367	
1.9	-0.011	1.9	-0.014	1.9	-0.013	1.9	-0.035	1.9	-0.04	1.9	-0.038	-0.0252	
2	-0.004	2	-0.007	2	-0.008	2	-0.027	2.1	-0.031	2	-0.025	-0.0170	
2.1	0	2.1	-0.001	2.1	-0.001	2.1	-0.015	2.2	-0.024	2.1	-0.021	-0.0103	
2.2	0	2.2	0.001	2.2	0.002	2.2	-0.006	2.2	-0.012	2.2	-0.012	-0.0045	
2.3	0	2.3	0.002	2.3	0.003	2.4	0.001	2.3	-0.005	2.3	-0.007	-0.0010	
2.4	0	2.4	0.002	2.4	0.003	2.4	0.004	2.4	-0.002	2.4	-0.005	0.0003	
2.5	0	2.5	0	2.5	0.003	2.5	0.004	2.5	-0.002	2.5	-0.005	0.0000	
				2.6	0.002	2.6	0.004	2.6	-0.002	2.6	-0.005	-0.0003	
				2.7	0.001	2.7	0.004	2.7	-0.002	2.7	-0.005	-0.0005	
				2.8	0.001	2.8	0.004	2.8	-0.002	2.8	-0.005	-0.0005	
				2.9	0	2.9	0.002	2.9	-0.002	2.9	-0.005	-0.0013	
Média													
(0.4 - 1.4)	-0.152909		-0.155909		-0.169909		-0.182273		-0.195545		-0.185364	-0.17365	

## **10-ANEXO**

**10.1-** Tabelas de classes de abrasividade de madeiras tropicais.

**10.2-** Tabelas de composições químicas e propriedades mecânicas de materiais de ferramentas.

**10.3-** Tabelas de propriedades de algumas madeiras.

**10.4-** Gráficos de ensaios termo-gravimétricos.

Tabela 10.1- Classes de abrasividade de algumas madeiras tropicais

Nome comercial	Espécies	
	Nome científico	Classe de abrasividade
ACACIA FRANC	<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	4 a 6
ACAJOU	<i>Khaya ivorensis</i> e <i>K. anthotheca</i>	1 a 3
AIELE	<i>Canarium schweinfurthii</i>	7 a 9
AIOUEKO	<i>Dimorphandra hohenkerkii</i>	2 a 4
AKO	<i>Antiaris (africana) toxicaria</i>	2 a 4
AKOSSICA	<i>Scottellia spp.</i>	3 a 7
ALEP	<i>Descordesia glaucescens</i>	6 a 8
ALIMIAO	<i>Newtoniana suaveoleans</i>	4 a 6
AMARANTE	<i>Petogyne spp.</i>	6 a 8
ANDOUG	<i>Monopetalanthus</i>	6 a 8
ANGELIQUE	<i>Dicorynia guianensis</i>	8 a 9
ANIEGRE	<i>Aningeria spp.</i>	6 a 8
ASSAO	<i>Macrosamanea pedicellaris</i>	5 a 6
ASSAMELA	<i>Pericopsis elata</i>	4 a 7
AVODIRE	<i>Turraeanthus africana</i>	1 a 4
AYOUS (SAMBA)	<i>Triplochiton scleroxylon</i>	1 a 4
AZOBE	<i>Lophira alata</i>	5 a 8
AWOURA	<i>Paraberlinia bifoliata</i>	4 a 8
BALÇATA	<i>Manilkara spp.</i>	7 a 8
BILINGA (BADI)	<i>Nauclea diderrichii</i>	7 a 8
BOSSE	<i>Guaurea spp.</i>	7 a 8
BUBINGA	<i>Guibourtia spp.</i>	3 a 5
CEDRE	<i>Ocotea spp.</i>	2 a 3
CHAWARI	<i>Caryocar spp.</i>	2 a 3
CONGOTALI	<i>Letestua durissima</i>	9 a 10
COURBARIL	<i>Hymenaea spp.</i>	6 a 7
DABEMA	<i>Piptadeniastrum africanum</i>	6 a 8
DIBETOU	<i>Lovoa trichilioides</i>	3 a 4
DODOMISSINGA	<i>Parkia sp.</i>	4 a 5
DOUSSIE/LINGUE	<i>Azelia sp.</i>	3 a 7
EKABA	<i>Tetraberlinia spp.</i>	4 a 6
EKOUNE	<i>Coelocaryon preussii</i>	1 a 2
EVEUSS	<i>Klainedoxa gabonensis</i>	5 a 8
EYONG	<i>Eribroma oblonga</i>	6 a 7
FARO	<i>Daniellia sp.</i>	3 a 4
FRAKE/LIMBA	<i>Terminalia superba</i>	2 a 4
FRAMIRE	<i>Terminalia ivorensis</i>	2 a 3
FROMAGER	<i>Ceiba pentandra</i>	1 a 2
GAULETTE	<i>Licania spp.</i>	10
GONFOLO	<i>Qualea spp.</i>	3 a 4
GOUPI	<i>Goupia glabra</i>	2 a 3
GRIGNON FRANC	<i>Ocotea rubra</i>	3 a 4
IATANDZA	<i>Albizia ferruginea</i>	4 a 5
IGAGANGA	<i>Dacryodes igaganga</i>	10
ILOMBA	<i>Pycnanthus angeolensis</i>	1 a 2
IROKO	<i>Chlorophora spp.</i>	3 a 5
IZOMBE	<i>Testulea gabonensis</i>	3 a 5
KOBE	<i>Sterculia pruriens</i>	3 a 4
KOTIBE	<i>Nesogordonia spp.</i>	6 a 7
KOTO	<i>Pterygota spp.</i>	1 a 2

SALES, C. (1990)

Tabela 10.1- continuação

Nome comercial	Nome científico	Classe de abrasividade
KOUALI	<i>Vochysia spp.</i>	1 a 3
LIMBALI	<i>Guilbertiodendron spp.</i>	6 a 7
LONGUI	<i>Gambeya spp.</i>	5 a 6
MAKORE	<i>Tieghemella spp.</i>	9 a 10
MANIL	<i>Symphonia globulifera</i>	4 a 5
MAHO	<i>Eschweilera spp.</i>	7 a 9
MOABI	<i>Baillonella toxisperma</i>	9 a 10
MOVINGUI	<i>Distermonanthus benthamianus</i>	7 a 8
MUKULUNGU	<i>Austranella congolensis</i>	7 a 8
MUTENYE	<i>Guibourtia arnoldiana</i>	6 a 8
NIAGON	<i>Tarrietia spp.</i>	3 a 5
NIOVE	<i>Staudia kamerunensis</i>	7 a 8
OKUOME	<i>Aucoumea klaineana</i>	7 a 9
OSSABEL	<i>Dacryodes normandii</i>	10
OSSIMIALE	<i>Newtonia leucocarpa</i>	6 a 8
OZIGO	<i>Dacryodes buettneri</i>	9 a 10
PADOUK	<i>Pterocarpus soyauxii</i>	8 a 9
PARCOURI	<i>Platonia insignis</i>	2 a 4
SAKOUKALA	<i>Dacryodes spp.</i>	10
SALI	<i>Tetragastris spp.</i>	4 a 5
SAPELLI	<i>Entandrophragma cylindricum</i>	1 a 2
SIPO	<i>Entandrophragma utile</i>	1 a 2
SIMAROUBA	<i>Simarouba amara</i>	1 a 3
TALI	<i>Erytrophleum spp.</i>	4 a 6
TOLA/AGBA	<i>Gossweilerodendron balsamiferum</i>	4 a 6
WAPA	<i>Eperua spp.</i>	3 a 4
WENGE	<i>Millettia spp.</i>	3 a 5
TLAMA	<i>Entandrophragma angolense</i>	2 a 3
YAYAMADOU	<i>Virola spp.</i>	1 a 2

SALES, C. (1990)

Tabela 10.2- Composição química de stellites.

Nomenclatura francesa	Grau 1	Grau 2
Nomenclatura americana	Stellite 20	Stellite 12
% de carbono	2,5	1,8
% de cromo	33	30
% de tungstênio	13	9
% de cobalto	50	58
% diversos	1,5	1,2

Sales, C. (1990)

Tabela 10.3- Condições de uso recomendadas para o uso do stellite

Teor de silício %	Menor ou igual a 0,05	Maior que 0,05
Massa específica		
Menor que 600 (daN/m <sup>3</sup> )	Não é necessário usar stellite	É necessário usar stellite
Entre 600 a 900 (daN/m <sup>3</sup> )	É função do material da serra utilizada	É necessário usar stellite
Maior que 900 (daN/m <sup>3</sup> )	É necessário usar stellite	É necessário usar stellite

Sales, C. (1990)

Tabela 10.4-Composições das principais variedades de carboneto de tungstênio usadas no corte da madeira

% de carboneto de carboneto de tungstênio	% de cobalto	Observações
97	3	Muito duro, mas frágil.
94	6	Medianamente duro, mas frágil.
88	12	Boa resistência aos choques e dureza bastante satisfatória para o corte da madeira.

Sales, C. (1990)

Tabela 10.5- Composição química percentual dos aços rápidos para testes de torneamento em chapas de fibra de madeira .

H.S.S.	Carbono	Tungstênio	Cromo	Vanádio	Molibdenio	Cobalto	Silício	Manganês	Enxofre	Fósforo
M-2	0,86	6,18	4,23	1,90	4,88	----	0,34	0,28	0,005	0,026
M-4	1,28	5,32	4,37	4,09	4,59	----	0,32	0,31	0,001	0,019
M-42	1,09	1,57	3,75	1,17	9,26	7,91	0,44	0,24	0,001	0,020
T-15	1,58	12,28	4,69	5,23	----	4,91	0,24	0,30	0,001	0,017
Matrix II	0,54	1,06	3,82	1,00	5,12	7,87	0,25	0,25	0,001	0,013
Alloy Z	1,11	6,05	3,95	1,80	4,72	----	0,40	0,27	0,001	0,020
Vasco Wear	1,13	1,05	7,70	2,37	1,63	----	1,14	0,32	0,001	0,019

Stewart, H.A., Witheford, T.J., Becherer, B.A.. (1992)

Tabela 10.6- Propriedades mecânicas nominais para alguns aços ferramentas (a).

H.S.S.	Dureza (Rc)	Resistência ao desgaste abrasivo (b)	Teste Izod (Kgf.m). Teste sem entalhe.	Dureza (Rc) a 315,6 ° C	Dureza (Rc) a 537,8 ° C
M-2	65	35	6,22	62	55
M-4	66	125	4,42	63	56
M-42	68	60	3,87	66	62
T-15	68	190	2,76	64	57
Vasco Wear	62	65	9,67	58	50
Matrix II	61	21	7,74	58	53
Alloy Z	66	45	3,04	63	54

a- Barras de pequeno diâmetro testadas à temperatura ambiente, seguindo-se o tratamento térmico recomendado.

b- A resistência ao desgaste foi medida usando-se o teste de desgaste com abrasivo vitrificado.

Stewart, H.A., Witheford, T.J., Becherer, B.A., (1992 )

Tabela 10.7 - Composições químicas e propriedades físicas importantes .

Classe	Composição % em peso				Dureza Rockwell (HRA)	Densidade ( kN/m <sup>3</sup> )	Resistência (de ruptura transversal (GN/m <sup>2</sup> ))
	WC	Co	Cr	Ni			
GE 999	97,0	3,0			93,1	153,0	1,586
GE 883	94,0	6,0			92,1	149,5	1,999
GE 44A	94,0	6,0			91,2	149,5	2,206
GEX 6012	87,5	10,0	2,5		92,2	143,0	1,517
GEX 719	82,0	16,0	2,0		89,9	138,0	1,930
GEX 616	82,0	2,0		16,0	87,8	139,5	2,413

Bayoumi et alii(1983) - General Electric Company

Tabela 10.8 - Composições químicas e propriedades físicas importantes .

Classe	Composição % em peso							Dureza Rockwell (HRA)	Densidade (kN/m <sup>3</sup> )	Resistência de ruptura transversal (GN/m <sup>2</sup> )
	WC	Co	Cr	Ni	TaC	NbC	TiC			
K602	98,5	1,5						94,3	153,0	0,827
K703	93,0	6,0	1,0					91,5	147,0	1,724
K714	83,6	6,3	1,0		4,0	1,1	4,0	92,5	131,0	1,379
K801	93,2	0,5		6,3				90,9	148,0	1,724
K3833	89,0	11,0						89,3	143,0	2,758
K68	94,4	5,6						92,6	149,5	1,724

Bayoumi et alii(1983) - Kennametal Incorporated

Tabela 10.9 - Composições químicas e propriedades físicas importantes .

Classe	Composição % em peso						Dureza Rockwell (HRA)	Densidade (kN/m <sup>3</sup> )	Resistência de ruptura transversal (GN/m <sup>2</sup> )
	WC	Co	Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	TiC	MO <sub>2</sub> C	Ni			
VR 24	82,0	18,0					88,7	137,6	3,275
VR 54	92,5	7,0	0,5				92,3	147,0	1,896
W 588				67,0	15,0	18,0	91,3	60,4	1,655
Ramet 1	89,5	10,0	0,5				91,5	145,0	2,758

Bayoumi et alii(1983) - Fansteel VR/Wesson

TABELA 10.10 - Composições químicas e propriedades físicas importantes .

Classe	Composição % em peso			Dureza (HRA)	Densidade (N/ m <sup>3</sup> )	Tensão de ruptura transversal (GN/ m <sup>2</sup> )	Módulo de elasticidade (GN/ m <sup>2</sup> )
	WC	Co	Cr				
GE X6012	87,5	10,0	2,5	92,2	143,0	1,517	549,2
K 3833	89,0	11,0		89,3	143,0	2,758	560,5

Bayoumi &amp; Bailey(1984)

Tabela 10.11 - Composições químicas e propriedades físicas importantes.

Classe	Composição % em peso					Dureza Rockwell (HRA)	Tamanho Médio dos Grãos (µm)
	WC	Co	Cr	Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>			
GEX 6012	87,5	10,0	2,5			92,2	1,0
GEX 7125-TC3	87,5	10,0	2,5			91,3	1,4
GEX 7125-TC1	87,5	10,0	2,5			91,0	1,6
GE 883	94	6,0				92,1	1,25
GE 44A	94	6,0				91,2	1,7
RAM 1	89,5	10,0		0,5		91,5	1,5

Bayoumi &amp; Bailey (1985b)

Tabela 10.12 - Composições químicas e propriedades físicas importantes.

Material	Classe	Composição % em Peso											Dureza Rockwell (HRC)	
		Co	Cr	W	C	Ta	Mn	Fe	Ni	Si	V	B		Mo
stellite	T	39	23	19	3	5	2	4						64,5
stellite	98M2	32	30	19	2	1	1	5	4	1	4	1		60,0
stellite	3 PM	45	31	13	2		1	3	3	1		1		54,0
aço rápido	M 2		4	6	1			82			2		5	61,0

Bayoumi &amp; Bailey (1985b)

Tabela 10.13- Algumas propriedades das madeiras usadas no experimento.

Espécie de Madeira (Nome Científico)	Peso específico seca ao ar	Umidade Seca ao ar %	Umidade Madeira verde %	Percentagem de Silica @	pH	Condutividade Específica [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]
Apitong ( <i>Dipterocarpus grandiflorus</i> Blco.)	0,97	12,9	50	0,246	4,3	99
Selagan batu ( <i>Shorea</i> sp.)(Sabah)	0,89	13,6	65	0,066	4,5	188
Melapi ( <i>Shorea</i> sp.) (Sabah)	0,72	12,9	68	0,355	5,1	234
Western hemlock ( <i>Tsuga heterophylla</i> Sarg.)	0,47	13,7	85	0,018	4,8	377
Douglas-fir ( <i>Pseudotsuga menziesii</i> Franco)	0,55	14,4	82	0,002	4,2	535
Western redcedar ( <i>Thuja plicata</i> Donn)	0,46	12,3	68	0,018	3,0	478
Sugi ( <i>Cryptomeria japonica</i> D. Don)	0,30	13,7	119	0,001	5,8	210
Hinoki ( <i>Chamaecyparis obtusa</i> Endl.)	0,45	14,6	123	0,009	4,8	61
Akamatsu ( <i>Pinus densiflora</i> S. et Z.)	0,50	12,3	102	0,013	4,1	102
Kuri ( <i>Castanea crenata</i> S. et Z.)	0,49	13,2	101	0,004	3,2	156
Kojii ( <i>Castanopsis cuspidata</i> Schottky)	0,51	13,3	116	0,002	3,6	178
Mizunara ( <i>Quercus mongolia</i> Fish. var. <i>grosseserrata</i> Rehd. et. Wils.)	0,68	14,2	92	0,003	4,5	161
Shirakashi ( <i>Quercus myrsinaefolia</i> Bl.)	0,90	12,5	---	0,018	4,5	372
Isunoki ( <i>Distylium racemosum</i> S. et Z.)	0,89	14,3	---	0,004	4,5	268
Mizume ( <i>Betula grossa</i> ) S. et Z.)	0,69	13,8	---	0,003	5,0	72
Asada ( <i>Ostry japonica</i> Sarg.)	0,70	14,7	---	0,005	5,2	218

Banshoya, K. (1986)

@ From TAPPI Standart T245 os-70

TABELA 10.14 - Composições químicas e propriedades físicas importantes.

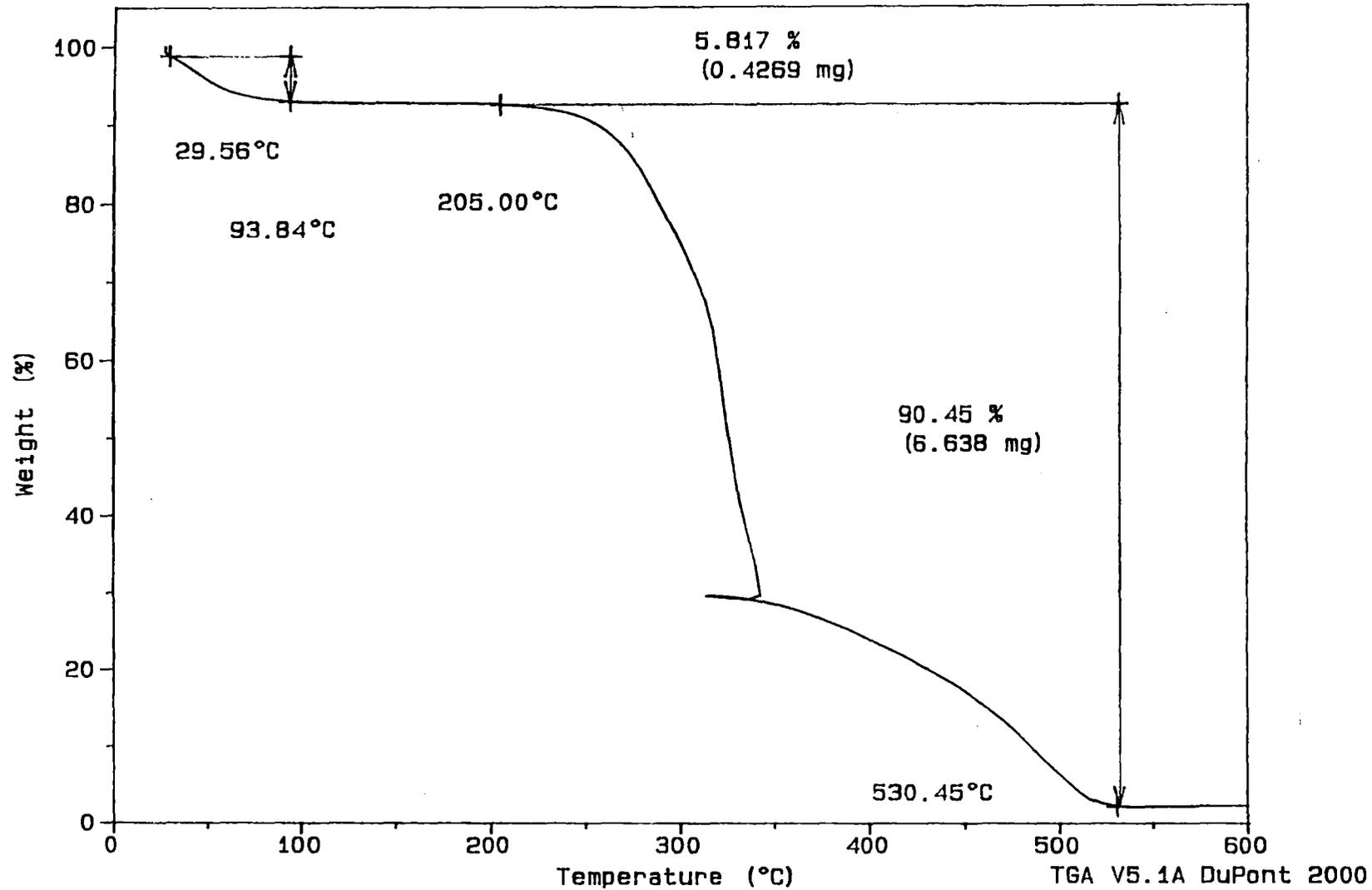
					Dureza (HRA)	Densi- dade (kN/ m <sup>3</sup> )	Tensão de ruptura Transversal (GN/ m <sup>2</sup> )	Módulos de elasticidade (GN /m <sup>2</sup> )	Tamanho médio dos grãos de carboneto (µm)
Classe	WC	Co	Cr	Ni					
GE999	97,0	3,0			93,1	153,0	1,586	652,9	
GE883	94,0	6,0			92,1	149,5	1,999	613,6	1,25
GE44A	94,0	6,0			91,2	149,5	2,206	612,2	1,70
GEX6012	87,5	10,0	2,5		92,2	143,0	1,517	549,2	1,00
GEX7109	82,0	16,0	2,0		89,9	138,0	1,930	495,7	
GE616	82,0	2,0		16,0	87,8	139,5	2,413	518,5	
GEX7125-TC3	87,5	10,0	2,5		91,3				1,40
TEX7125 -TC1	87,5	10,0	2,5		91,0				1,60

Bayoumi, Stewart & Bailey (1988)    General Eletric Company, (1979)

Sample: MADEIRA VERDE  
Size: 7.3390 mg  
Method: TG-10/900  
Comment: ATM AR 200ML/MIN

# TGA

File: C:TG-MADE.02  
Operator: SUSETE  
Run Date: 22-Sep-96 19:54



Sample: MADEIRA SECA  
Size: 7.3470 mg  
Method: TG-10/900  
Comment: ATM AR 200ML/MIN

TGA

File: C: TG-MADE.01  
Operator: SUSETE  
Run Date: 22-Sep-96 17: 45

