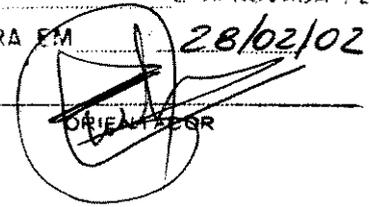


ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR Francisco Carlos
Marcondes E APROVADA PELA
COMISSÃO JULGADORA EM 28/02/02



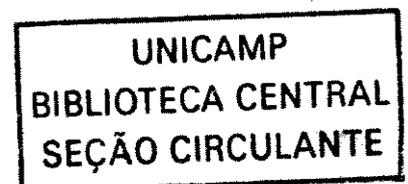
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**"Alternativas para a maximização da
produtividade em usinagem sob a ótica da
análise ou engenharia do valor"**

Autor: Engº. Francisco Carlos Marcondes
Orientador: Prof. Dr. Nivaldo Lemos Coppini

200306097

12/01



UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO**

**" Alternativas para a maximização da
produtividade em usinagem sob a ótica da
análise ou engenharia do valor "**

**Autor: Eng^o. Francisco Carlos Marcondes
Orientador: Prof. Dr. Nivaldo Lemos Coppini**

**Curso: Engenharia Mecânica
Área de Concentração: Processos de Fabricação**

Dissertação de mestrado acadêmico apresentada à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

**Campinas, 2001
S.P. – Brasil**

UNIDADE	30
Nº CHAMADA	T/UNICAMP M333a
V	EX
TOMBO BCI	52378
PROC.	124103
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	
Nº CPD	

CM00179781-4

BIB ID 279790

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

M333a

Marcondes, Francisco Carlos

Alternativas para a maximização da produtividade em usinagem sob a ótica da análise ou engenharia do valor / Francisco Carlos Marcondes.--Campinas, SP: [s.n.], 2002.

Orientador: Nivaldo Lemos Coppini.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

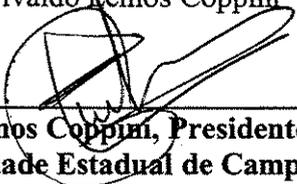
1. Processos de fabricação. 2. Produtividade industrial. 3. Análise de valor (Controle de custo). 4. Tornearia. I. Coppini, Nivaldo Lemos. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO**

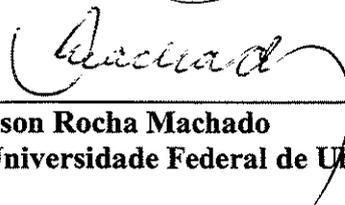
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADEMICO

**" Alternativas para a maximização da
produtividade em usinagem sob a ótica da
análise ou engenharia do valor "**

Autor: Engº. Francisco Carlos Marcondes
Orientador: Prof. Dr. Nivaldo Lemos Coppini



Prof. Dr. Nivaldo Lemos Coppini, Presidente
Instituição: Universidade Estadual de Campinas - Unicamp



Prof. Dr. Alisson Rocha Machado
Instituição: Universidade Federal de Uberlândia



Prof. Dr. Olívio Novaski
Instituição: Universidade Estadual de Campinas - Unicamp

Campinas, 12 dezembro de 2001

Dedicatória:

Dedico este trabalho à Deus, o mestre de todos os mestres, meu eterno inspirador e A minha família, Rosana, Vivian e Danilo sem os quais essa realização faria pouco sentido. Uma realização que se puder inspirar , como diria Pessoa, que inspire !

Agradecimentos

Agradeço acima de tudo ao meu orientador Prof. Dr. Nivaldo Lemos Coppini, pela motivação, orientação e pela sua capacidade de me fazer superar os desafios e as barreiras que a mim foram impostos pela agenda comprometidíssima a que me submeto ano após ano como membro do quadro executivo da empresa onde trabalho.

Agradeço também à diretoria da Sandvik do Brasil que me deu abertura para que eu pudesse fazer esse investimento em meu desenvolvimento científico e cultural.

Agradeço especialmente ao amigo João Carosella que muito ajudou na aplicação da primeira pesquisa e de igual maneira a toda a minha equipe na Sandvik, Heloisa, Cibele, Vera, Luciano, Tahara, Aldeci e Ancelmo, que foram grandes incentivadores e me ajudaram muito com sua experiência nas áreas em que são especialistas. Estiveram sempre presentes todas as vezes em que precisei debater idéias.

Agradeço aos meus professores e amigos Ancelmo, Agostinho, Batocchio, Olívio e Paulo Lima pelo conhecimento que me acrescentaram e ao incentivo das colegas Cristina Batocchio, Maria Helena e Roseana .

Agradeço a Roberto Cacuro que soube me fazer redirecionar minhas próprias intenções e a Flávia Paduan Bellani pela formatação e revisão ortográfica dos textos.

Agradeço a todos os colegas do DEF e colegas de classe que compartilharam das aulas ao meu lado.

Por último, mas não menos importante agradeço a todos aqueles que de um modo ou de outro contribuíram para que eu pudesse passar por esse momento. Paz e Luz a todos.

"Batei, batei e abrir-se vos á. Buscai e achareis"
Mateus 7.7

Resumo

MARCONDES, Francisco Carlos, Alternativas para a maximização da produtividade em usinagem sob a ótica da análise ou engenharia do valor, Campinas,: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2001. 162p. Dissertação (Mestrado).

A experiência de 22 anos de trabalho em contato com a indústria da usinagem é concentrada nessa dissertação de mestrado. As percepções de necessidades do chão de fábrica inspirou a elaboração de uma base de pré-requisitos para a obtenção de resultados razoavelmente competitivos quanto ao aumento da produtividade, independentemente do tamanho do lote de peças a ser produzido. Essa experiência aliada a aplicação das técnicas de Análise ou Engenharia do Valor contribuiu para o desenvolvimento da teoria aqui exposta que permite a identificação de oportunidades para a melhoria significativa dos resultados obtidos através da usinagem. Para a execução e fundamentação dessa teoria valeu-se de uma pesquisa feita entre dezenas de especialistas que atualmente ocupam funções que interferem diretamente nos resultados operacionais em usinagem de importantes empresas do cenário nacional. Os resultados obtidos mostram que há muito por fazer na busca da competitividade nesse segmento e que grande parte está mais a depender do óbvio do que de novas técnicas.

Palavras Chave

- Engenharia do Valor, Produtividade em Usinagem.

Abstract

MARCONDES, Francisco Carlos. Alternatives to maximise the metal cutting productivity through value analysis or value engineering, Campinas,: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2001. 162p. Dissertação (Mestrado).

The author experience of 22 year of work close to the machining process industry is concentrated on this study. The perceptions of the shop floor needs inspired the elaboration of a base of pre-requisites to achieve a reasonable level of competitiveness on this field, to maximize the productivity, regardless the size of the batches of parts to be produced. This experience together with the Value Analysis or Value Engineering application contributed to the development of the theory hereby presented which allows the identification of opportunities to minimize machining costs. To carry out and set this theory, it was done a research among dozen of specialists who are presently in charge of functions that have a direct interference on the operational results of machining process of many important industries of our local market. The results showed that there still are many things to be done concerning the competitiveness search on this market segment, and also that the most of this depends on the obvious more than on the new techniques.

Key Words

- Value Engineering , Machining process productivity.

Índice

Lista de Figuras	v
Lista de Tabelas e Diagramas	vii
Lista de Fórmulas	viii
1 Introdução	1
2 Bases para a máxima produtividade na prática da usinagem	4
2.1 Fenômenos de deterioração de ferramentas	6
2.1.1 Desgaste frontal (ou de flanco)	7
2.1.2 Desgaste de Cratera	8
2.1.3 Deformação plástica da aresta de corte	9
2.1.4 Aresta postiça	10
2.1.5 Lascamento	11
2.1.6. Trincas térmicas	12
2.1.7 Quebras	13
2.1.8 Desgaste tipo entalhe (notch wear)	14
2.2 Manutenção e manuseio das ferramentas	15
2.2.1 Apoio da pastilha intercambiável	15

2.2.2 Limpeza	17
2.2.3 Apoio de posicionamento	18
2.2.4 Fixação dos porta ferramentas	20
2.2.5 Fixação da pastilha	23
2.2.6 Utilização das arestas	26
2.2.7. Indexação das arestas	31
2.2.8 Uso de fluídos de corte	32
2.2.9 O problema dos cavacos contínuos	34
2.2.10 Controle do fluxo de cavacos	35
2.2.11 Pré-chanframento	37
2.3 Seleção da ferramenta correta	38
2.3.1 Fatores de influência na escolha da ferramenta	38
2.3.2 Sequência de escolha	38
2.3.2.1. Seleção do sistema de fixação do porta ferramentas	39
2.3.2.2 Codificação de porta ferramentas internos e externos conforme norma ISO	42
2.3.2.3 Seleção do porta ferramentas	43
2.3.2.4 Porta ferramentas para operações internas	45
2.3.2.5 Seleção da geometria de corte da pastilha	50
2.3.2.6 Tenacidade da ferramenta de corte	52
2.3.2.7 Ferramentas com pastilhas de metal duro soldadas	55
2.3.2.8 Constituição da ferramenta de metal duro	56
2.3.2.9 Revestimento em pastilhas de Metal duro	59
2.3.2.10 Funções das diferentes camadas de revestimento	61

2.3.2.11 Sistema de classificação e escolha da classe de metal duro	62
2.3.2.12 Tamanho e espessura de pastilhas de metal duro	67
2.3.2.13 Comprimento efetivo da aresta de corte	69
2.3.2.14 Codificação de pastilhas	73
2.3.2.15 Escolha do formato da pastilha	75
2.3.2.16 Raio de ponta	77
2.4 Seleção dos parâmetros de corte	78
2.4.1 Seleção do avanço por rotação	79
2.4.1.1 Seleção do avanço para desbastes	80
2.4.1.2 Seleção do avanço para cabamentos	81
2.4.1.3 Seleção da velocidade de corte	86
2.4.2 Intervalo de máxima eficiência	87
2.4.3 Importância dos catálogos e manuais dos fornecedores	89
2.4.4 Ajuste dos dados de corte	90
2.4.5 Considerações sobre ferramentas versus o tamanho do lote	91
3. Otimização da escolha da ferramenta através da análise do valor	92
3.1 Princípio da análise do valor	99
3.2 Funções	105
3.2.1 Tipos de funções	106
3.2.2 Classificação de funções	106
3.2.3 Exemplo da aplicação da análise do valor em usinagem	112
3.2.4 Importância da mão de obra	114
3.2.5 Critérios para a troca de ferramenta ou aresta de corte	115
4 Pesquisa	117

4.1 Detalhes da Pesquisa	- 118
4.1.2 Perfil dos analistas pesquisados	119
5. Conclusão	147
6 Sugestões para estudos posteriores	149
7. Bibliografia referenciada	150
8. Bibliografia consultada	152
Anexo I	159

Lista de figuras

Fig 1 Operação de torneamento	3
Fig 2 Vista típica de desgaste frontal em ferramenta de metal duro	7
Fig 3 Vista típica de desgaste de cratera em ferramenta de metal duro	8
Fig 4 Vista típica de uma deformação plástica da aresta de corte em ferramenta de metal duro	9
Fig 5 Vista típica de formação de uma aresta postiça de corte	10
Fig 6 Fenômeno de lascamento em ferramenta de metal duro	11
Fig 7 Exemplo de trincas térmicas em aresta de corte	12
Fig 8 Vista típica de quebras em aresta de corte	13
Fig 9 Vista típica de desgaste tipo entalhe	14
Fig 10 Apoio da pastilha	16
Fig 11 Limpeza do alojamento da pastilha	17
Fig 12 Apoio correto da pastilha	19
Fig 13 Fixação do porta ferramenta	20
Fig 14 Exemplo de sistema de fixação de ferramentas modular	22
Fig 15. Utilização de componentes originais	23
Fig 16 A fixação da pastilha deve ser feita com a respectiva chave	24
Fig 17 Utilização racional das arestas de corte	27
Fig 18 Representatividade do potencial de rendimento em função do número de arestas da pastilha	28
Fig 19 Utilização secundária das arestas de corte	29
Fig 20 O martelamento da aresta inferior pelo cavaco pode causar avarias	31
Fig 21 Fluxo de refrigeração abundante e contínuo	32

Fig 22 Exemplo de acidente causado por geração de cavaco contínuo	..35
Fig 23 Quebra de cavacos em operação de acabamento, usinagem média e desbaste	35
Fig 24 O avanço e a profundidade de corte são fundamentais para a quebra de cavacos	36
Fig 25 O pré-CHANFRAMENTO suaviza a entrada da ferramenta no corte	..37
Fig 26 Exemplos de fixação de pastilhas de metal duro positivas	40
Fig 27 Exemplos de fixação de pastilhas de metal duro negativas	41
Fig 28 Recomendações sobre fixação de barras para usinagem interna	46
Fig 29 Fixação de barras de mandrilar	47
Fig 30 Fatores que influenciam a usinagem interna	48
Fig 31 Alteração do ângulo de posição na relação raio de ponta versus profundidade de corte	49
Fig 32 Variação do desenho dos quebra cavacos em função da operação a ser executada	52
Fig 33 Exemplos de tratamentos de aresta para conferir micro tenacidade à ferramenta	54
Fig 34 Exemplo de chanfro de aresta para ferramenta soldada	56
Fig 35 Esquema do processo de fabricação do metal duro	59
Fig 36 Processo de revestimento CVD (Chemical Vapour Deposition)	61
Fig 37 Ângulo secundário de folga mínimo para usinagens em declive	75
Fig 38 Formas de pastilha versus acessibilidade, robustês e vibrações	76
Fig 39 Influência da Velocidade de Corte nos Custos de Usinagem	89
Fig 40 Exemplo de aplicação da teoria da Análise do Valor	112

Lista de Tabelas e Diagramas

Tab 1 Classificação de porta ferramentas internos e externos conforme estabelecido pela norma ISO	42
Tab 2 Seleção do sistema de fixação do porta ferramentas	44
Tab 3 Classificação do Metal Duro	66
Tab 4 Comprimento efetivo da aresta de corte	71
Tab 5 Tabela de comprimento útil de aresta das pastilhas de metal duro	72
Tab 6 Codificação de pastilhas	74
Tab 6.1 Avanços recomendados para diferentes raios de ponta	81
Tab 7 Tabela de avanços recomendados para diferentes raios de ponta	81
Tab 8 Conversão entre diferentes sistemas de medição de rugosidades superficiais	85
Tab 9 Tabela de análise das funções de um posto de gasolina	108
Tab 10 Tabela de análise das funções de uma ferramenta de corte	109
Diagrama 1: Avanços recomendados para operações de acabamento	83

Lista de Fórmulas

Fórmula 1: Cálculo da rugosidade R_{max}	82
Fórmula 2: Cálculo da potência consumida em uma determinada operação de torneamento	87
Fórmula 3: Cálculo da viabilidade de se manter uma única ferramenta para as operações de acabamento e desbaste	91

1. Introdução

O objetivo deste trabalho, é apresentar uma metodologia que possibilite a seleção de parâmetros de corte, o mais próximo possível dos dados otimizados, em situações onde os lotes de peças sejam pequenos demais para o estabelecimento de uma análise estatística. Tem também por objetivo apresentar a prática da Análise ou Engenharia do Valor como instrumento válido para a otimização dos processos de usinagem. Entre seus objetivos está também provar que a maximização da produtividade, muitas vezes está mais a depender da aplicação do óbvio do que da aplicação do novo e que, sem o devido treinamento, é improvável que tanto a mão de obra técnica, quanto a operacional seja capaz de identificar reais oportunidades de se minimizar custos e maximizar a produtividade em usinagem.

Em uma série de trabalhos anteriores, inicia-se com a proposta de VILELLA (1987), uma metodologia para a determinação das condições operacionais ótimas de usinagem, em processos de torneamento. Esta metodologia, naquela época, foi desenvolvida para situações em que a produção necessariamente deva ser seriada, dedicada, ou voltada para famílias de peças dentro do conceito de tecnologia de grupo. Mais recentemente (BAPTISTA & COPPINI, 2001) mostram que com a ajuda de sistemas de apoio a decisão em usinagem é possível atuar na otimização do processo, mesmo quando a produção não seja fortemente caracterizada por grande número de peças.

Nesta metodologia o material da peça e o tipo de ferramenta (classe, geometria e sistema de fixação) devem permanecer inalterados durante o processo de usinagem. Este aspecto é indispensável porque a definição dos coeficientes da equação de Taylor, utilizados nas fórmulas propostas, ao invés de serem retirados da literatura (publicações ou catálogos), são determinados para cada situação específica de usinagem, através da análise de dados obtidos a partir da observação sistemática e criteriosa da usinagem de um certo lote de peças, portanto, a metodologia permite a obtenção dos já referidos coeficientes para cada par ferramenta/peça e sua respectiva condição operacional ótima.

É fundamental, neste procedimento, que o número programado de peças a serem usinadas, seja suficiente para consumir um número de arestas de corte que permita uma análise estatística capaz de determinar em que condições de corte se obteve o melhor equilíbrio entre vida de ferramenta e produtividade.

Esta técnica, portanto, atende às necessidades de otimização dos parâmetros de corte em situações de produção em massa, ou pelo menos com essa tendência; onde grandes volumes de uma mesma peça devam ser usinados. Tais situações ocorrem normalmente em um ambiente mercadológico voltado para produtos mais padronizados, destinados a um público alvo menos específico.

Atualmente, a globalização da economia, a abertura dos portos para produtos das mais diversas origens, e o acirramento da disputa pelo mercado, proporcionado pelo aumento das opções de compra, exige das empresas um atendimento mais personalizado, pois a oferta cresceu sobremaneira e os produtos padronizados já não atraem os consumidores como antes, principalmente no campo dos “bens de consumo de comparação”, assim chamados porque a decisão de compra é precedida de uma comparação para análise de benefícios oferecidos pelos diversos produtos e ofertas concorrentes entre si. São geralmente bens de valor relevante e baixa frequência de compra por parte dos consumidores. Exemplo desse tipo de bens são automóveis e eletrodomésticos entre outros. Por esta razão as empresas são levadas a diversificar a sua linha de produtos, a fim de atender com um produto específico, cada nicho de mercado, assim, surge uma tendência para um sistema de produção caótica; muitos lotes de peças diferentes, onde cada lote é composto de poucas unidades, tendendo ao lote unitário.

Há ainda outras situações onde um modelo que permitisse a otimização da produtividade sem depender de análises estatísticas seria oportuno. Exemplos desta ocorrência são as oficinas de manutenção e as empresas que prestam serviços de usinagem para terceiros, onde os processos de usinagem variam constantemente e nem sempre os lotes são suficientemente grandes para que os coeficientes de produtividade possam ser determinados estatisticamente.

Neste novo ambiente, as empresas que tiverem condições de se adaptar a tais exigências, mantendo um alto desempenho quanto a produtividade, terão maiores chances contra a concorrência. É preciso ser rápido em tudo; na tomada de decisões; no desenvolvimento, produção e lançamento de novos produtos, no prazo de entrega, no faturamento, no recebimento e assim por diante. Não basta oferecer produtos e serviços da melhor qualidade, quando todos os demais concorrentes já chegaram a este ponto, é preciso também ter o melhor preço, mantendo a necessária lucratividade. É imprescindível que se tenha o menor custo de produção, daí a importância de se otimizar os parâmetros de corte em direção à máxima produtividade e o mínimo custo.

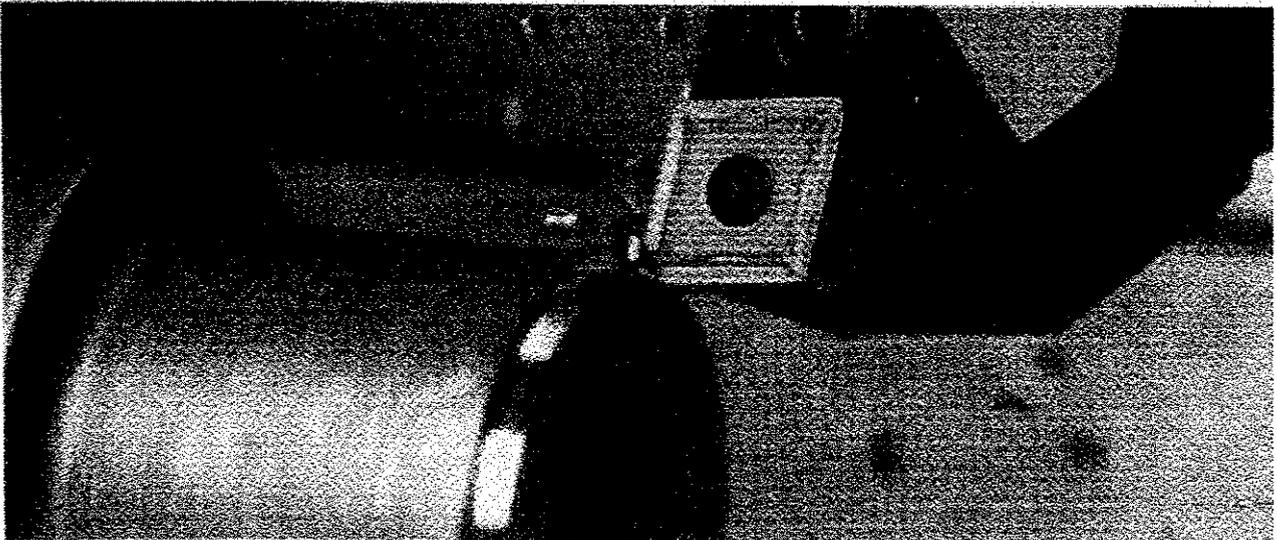


Figura .1. Operação de torneamento (Sandvik, Modern metal Cutting, pag II-24;1994)

2 Bases para a máxima produtividade na prática da usinagem

No decorrer de 20 anos de trabalho (1.981 - 2.001), junto aos departamentos de assistência técnica, produção e vendas da Sandvik¹, atuando como assistente técnico, supervisor de métodos e processos, supervisor de treinamento técnico e atual gerente de marketing, o autor dessa dissertação, teve a oportunidade de vivenciar e observar práticas, que reforçadas pelo devido embasamento teórico, poderão contribuir para o estabelecimento de condições de usinagem próximas de ótimas, sem a necessidade de estudos estatísticos.

Até o presente momento, a maioria dos estudos de usinagem para melhoria da produtividade tem por base experimentos e análises estatísticas, pois conferem maior credibilidade aos resultados e modelos gerados a partir desses eventos, contudo, existe uma série de pré-requisitos que uma vez estabelecidos, proporcionarão um nível de produtividade bastante elevado, mesmo quando a produção for caótica. Entenda-se por caótica uma produção que em seu extremo pode contemplar lotes de uma única peça que será produzida uma só vez, tornando assim os estudos estatísticos inviáveis. Por essa razão, é importante que se faça uma análise das condições indispensáveis para se obter a máxima produtividade, independentemente do tamanho do lote e da possibilidade de sua respectiva reincidência.

A maximização da produtividade em usinagem implica necessariamente na perfeita adequação das diversas variáveis, que possam limitar o melhor desempenho do respectivo sistema produtivo. Partindo desse princípio é essencial que se faça algumas considerações sobre as condições básicas a serem atendidas, para que uma máquina possa usinar peças, o mais rapidamente possível, sem que esta operação resulte em conseqüências indesejáveis do ponto de vista econômico administrativo.

É fato consumado que os estados operacionais da máquina; da ferramenta; dos sistemas de fixação; a qualidade estrutural do material a ser usinado, tanto quanto a motivação e a perícia da mão de obra, interferem diretamente no desenvolvimento do processo de usinagem como um

todo, portanto, antes que se parta para a execução de qualquer experimento com o objetivo de se elaborar um modelo matemático, ou uma análise estatística, é imprescindível satisfazer certos pré-requisitos para não se por em dúvida a veracidade dos resultados que possam ser obtidos através do tal experimento.

O mais alto grau de produtividade em usinagem deve proporcionar o equilíbrio entre a máxima velocidade de corte com o mínimo desgaste da ferramenta, portanto, com o objetivo de evidenciar os fatores que contribuem para o mínimo desgaste, segue-se o capítulo que tratará desse assunto.

¹) Sandvik do Brasil S/A, subsidiária da AB Sandvik, empresa sueca fundada em 1.862, no Brasil desde 1.949, líder local e internacional na produção de ferramentas de metal duro e soluções para Usinagem.

2.1 Fenómenos de Deterioração de ferramentas

Metaforicamente, os pneus estão para os automóveis de competição, assim como as ferramentas estão para as máquinas ferramenta. Sem bons pneus não se pode tirar o máximo dos automóveis na “fórmula 1”.

Com o desenvolvimento tecnológico o homem pode construir máquinas progressivamente mais eficazes, com elevado grau de automação e flexibilidade, capazes de produzir peças em níveis excelentes de precisão, qualidade e repetibilidade, todavia, por mais sofisticada que seja uma máquina ferramenta, ela sempre estará limitada pela performance e vida útil da ferramenta.

De maneira genérica podemos dizer que durabilidade, velocidade de corte máxima admissível, controle de fluxo de cavacos, capacidade de manter precisão e acabamento da peça no processo de usinagem, são fatores determinantes da performance de uma ferramenta, assim, quanto melhor for a tal performance, tanto maior será a contribuição da ferramenta para o aumento de produtividade do sistema máquina/ferramenta.

Por vida útil, entende-se a somatória do tempo em que uma dada ferramenta permanece em trabalho, desde quando nova, ou seja, desde a sua primeira utilização, promovendo superfícies usinadas conformes ao desenho da peça acabada, gerando resultados adequados ao que dela se espera no processo de usinagem, de acordo com um critério de fim de vida² pré-estabelecido, ou ainda, quanto tempo de trabalho a ferramenta rendeu até o instante em que foi considerada inútil para a continuação de uma operação que vinha executando.

Por melhor que seja uma ferramenta, acabará sendo vencida pelos desgastes. Por isso é indispensável saber identificar os fenômenos e eventos que podem interferir em sua longevidade, tanto quanto ter conhecimento das ações corretivas que possam prolongar a já mencionada vida útil.

²A perda total da capacidade de corte de uma ferramenta, o atingimento de uma pré determinada dimensão de desgaste são dois exemplos de critérios de fim de vida que poderiam ser adotados por algum técnico ou engenheiro de manufatura.

2.1.1. Desgaste frontal (ou de flanco)

Ocorre na superfície de folga da ferramenta, conforme ilustra a figura 2, causado pelo contato entre ferramenta e peça. É o tipo de desgaste mais comum. Este tipo de desgaste ocasiona mal acabamento e superfícies fora de tolerância.

Causas: O rápido desgaste frontal pode ser provocado por velocidade de corte demasiadamente elevada ou insuficiente resistência ao desgaste por parte da pastilha. É importante ressaltar que quanto menor for o ângulo de folga da pastilha, tanto maior será a sua tendência a gerar mais rapidamente os tais desgastes frontais, pois teoricamente, a medida em que se diminui o ângulo de folga, mais se aumenta a superfície de contato peça-ferramenta.

Soluções: Reduzir a velocidade de corte. Empregar uma classe de metal duro mais resistente a esse tipo de desgaste . No caso de usinagem de aços, as classes revestidas com dióxido de alumínio (Al_2O_3) proporcionam alta resistência ao desgaste frontal. Para materiais de dureza elevada, selecionar um menor ângulo de posição ou empregar uma classe mais dura.



Figura 2.: Vista típica de desgaste frontal em ferramenta de metal duro

(Cartaz promocional Sandvik, 1999)

2.1.2.Desgaste de Cratera

É o tipo de desgaste que ocorre na superfície de saída da ferramenta, conforme ilustra a figura 3, causado pelo atrito entre ferramenta e cavaco. A craterização excessiva provoca o enfraquecimento da aresta de corte. Ela pode se romper e provocar um mal acabamento, além do aumento do consumo de energia e maior absorção da potência da máquina.

Causas: A abrasão resultante do atrito do cavaco na superfície de saída da pastilha e a difusão atômica gerada por elevadas temperaturas nessa mesma região.

Soluções: Selecionar uma classe de metal duro com revestimento de dióxido de Alumínio (Al_2O_3), as quais são naturalmente mais resistentes ao desgaste por abrasão. Selecionar uma geometria de corte mais positiva. Reduzir o avanço e, algumas vezes também velocidade, para obter um a temperatura inferior. Se a cratera localizar-se próxima a aresta, o aumento do avanço por rotação afasta a cratera da região do fio de corte.



Figura 3: Vista típica de desgaste de cratera em ferramenta de metal duro
(Cartaz promocional Sandvik, 1999)

2.1.3. Deformação plástica da aresta de corte

São depressões ou protuberâncias impostas ao fio de corte, conforme mostra a figura 4. Muitas vezes, a pressão aplicada à ponta da ferramenta somada à alta temperatura gera deformação plástica da aresta de corte. A combinação de altos avanços por rotação com elevadas velocidades de corte contribuem para que esse tipo de avaria ocorra. A deformação plástica provoca deficiência do controle de cavacos e mau acabamento superficial. Promovem ainda um desgaste de flanco excessivo que pode conduzir à quebra ou colapso da aresta.

Causas: Temperatura de corte demasiadamente elevada combinada com uma grande pressão de corte ou força de avanço.

Soluções: Empregar uma classe mais dura com maior resistência à deformação plástica. Diminuir a velocidade de corte . Reduzir o avanço.

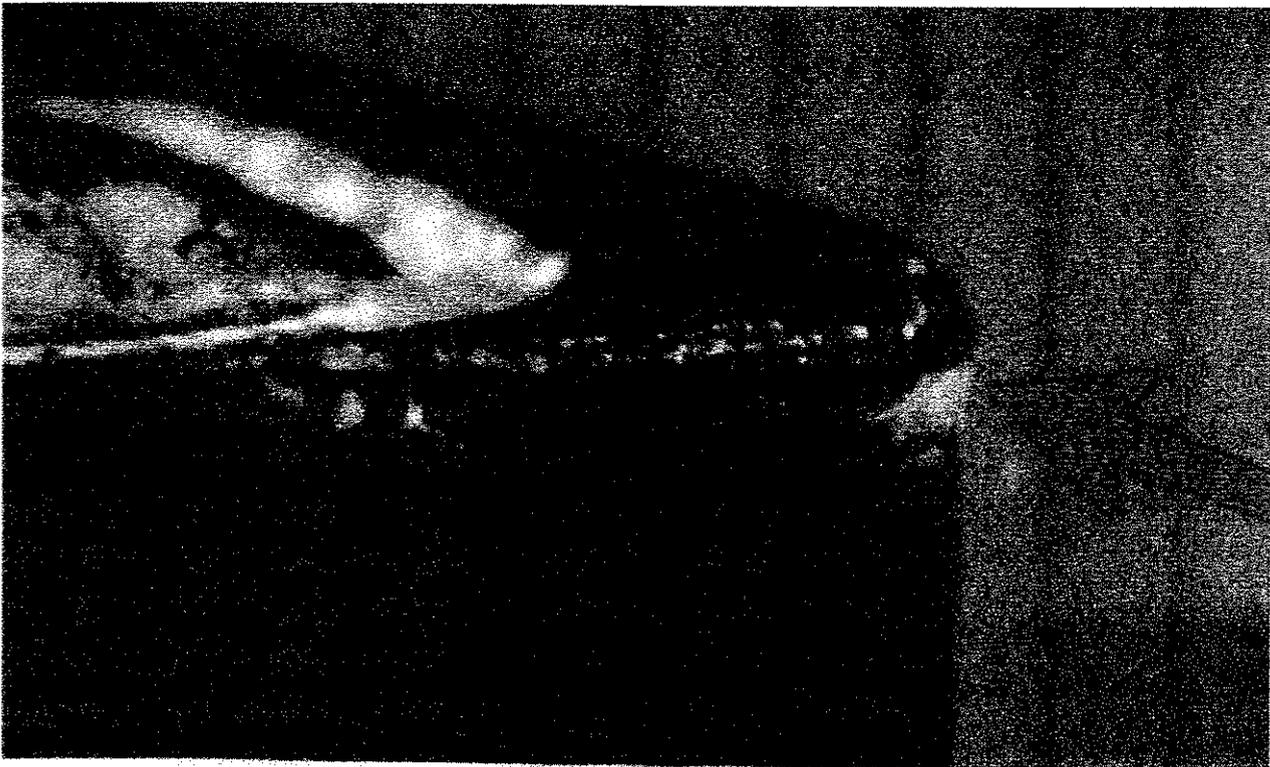


Figura 4: Vista típica de uma deformação plástica da aresta de corte em ferramenta de metal duro (Cartaz promocional Sandvik, 1999)

2.1.4. Aresta Postiça

A aresta postiça consiste no acúmulo de resíduos do material usinado que se solda a aresta de corte, fato este que pode ser observado na figura 5. Não é propriamente um desgaste, mas a medida em que se desenvolve, forma um tipo de crista, que, sendo comumente mais aguda, poderá até reduzir o esforço de corte, porém por ter uma geometria completamente ocasional e mal definida compromete a qualidade do acabamento. Esta falsa aresta pode também promover a ruptura ou avarias na aresta original, pois interfere no direcionamento dos vetores resultantes dos esforços de corte.

Causas: Resíduos dos cavacos que estão sendo removidos soldam-se à aresta de corte devido a baixa velocidade de corte; geometria de corte negativa ou pouco positiva; materiais a serem usinados pastosos. Por exemplo, certos aços inoxidáveis, aços de liga baixo carbono, alumínio puro.

Soluções: Aumentar consideravelmente a velocidade de corte. Se a vida da ferramenta tender a diminuir, aplicar líquido refrigerante abundantemente. Melhor ainda se o refrigerante possuir também propriedades lubrificantes. Selecionar uma geometria com ângulo de saída mais positivo.



Figura 5: Vista típica de aresta postiça formada devido a baixa velocidade de corte
(Cartaz promocional Sandvik, 1999)

2.1.5 .Lascamento

É um tipo de avaria que, ao contrário dos desgastes frontal e de cratera, que retiram continuamente partículas muito pequenas da ferramenta, no lascamento, partículas maiores são retiradas de uma só vez. Ocorrem principalmente em ferramentas de material frágil e/ou quando a aresta de corte é pouco reforçada. O lascamento provoca o mau acabamento da superfície e um desgaste frontal excessivo. Este fenômeno pode ser visto na figura 6.

Causas: Classe de metal duro demasiadamente frágil. Aresta de corte pouco reforçada, com arredondamentos de aresta (edge roning ER) ou chanfro de reforço da aresta muito fino. Ocorrência de aresta postiça que ao se desprender provoca lascamentos na aresta de corte.

Soluções: Selecionar classe de metal duro mais tenaz. Escolher aresta de corte mais robusta. Aumentar a velocidade de corte ou escolher geometria de corte mais positiva, nesse último caso porque diminuindo-se as forças de corte sobre a aresta haverá menos probabilidade desse fenômeno ocorrer.



Figura 6: Fenômeno de lascamento em ferramenta de metal duro
(Cartaz promocional Sandvik, 1999)

2.1.6. Trincas térmicas

São conjuntos de pequenas fissuras paralelas, perpendiculares à aresta de corte que causam o lascamento dessa (figura 7) e um conseqüente mau acabamento seguido de baixo rendimento.

Causas: As trincas térmicas são promovidas por variações bruscas e intermitentes de temperatura provenientes de usinagens intermitentes ou ainda abastecimento irregular de líquido refrigerante.

Soluções: Empregar classe de metal duro mais tenaz com melhor resistência aos choques térmicos. Utilizar refrigeração em abundância ou eliminá-la por completo.



Figura 7: Exemplo de trincas térmicas em aresta de corte
(Cartaz promocional Sandvik, 1999)

2.1.7. Quebras

Fraturas que, conforme ilustra a figura 8, não só ocasionam danos na pastilha como também na própria peça, por consequência, podem ainda contribuir para avaria do alojamento da pastilha no porta ferramentas.

Causas: Classe de metal duro muito rígida. Carga excessiva sobre a pastilha. Geometria de corte inadequada e arestas de corte frágeis. Pastilhas com dimensões abaixo das recomendáveis.

Soluções: Utilizar classe de metal duro mais tenaz. Reduzir o avanço e/ou a profundidade de corte. Selecionar uma geometria mais robusta, de preferência uma pastilha unifacial, ou seja, que tenha apenas uma face voltada para a função de corte enquanto a face oposta seja toda voltada para a função de apoio. Escolher uma pastilha mais espessa ou maior.



Figura 8: Vista típica de quebras da aresta de corte (Cartaz promocional Sandvik, 1999)

2.1.8. Desgaste tipo entalhe (*notch wear*)

Ocorre nas superfícies de folga e de saída da ferramenta conforme indicado na figura 9. Este tipo de desgaste ocasiona mau acabamento e risco de quebra da aresta de corte.

Causas: Ocorre devido ao fenômeno da oxidação e também do atrito entre ferramenta e peça.

Soluções: Reduzir a velocidade de corte . Empregar uma classe de metal duro mais resistente a esse tipo de desgaste . No caso de usinagem de aços, as classes revestidas com dióxido de alumínio (Al_2O_3) proporcionam alta resistência ao desgaste de entalhe. Para materiais de dureza elevada, selecionar um menor ângulo de posição ou empregar uma classe mais dura. Reduzir a velocidade de corte. Selecionar classe de metal duro tipo *Cermet* (*combinação cerâmica / metal*).

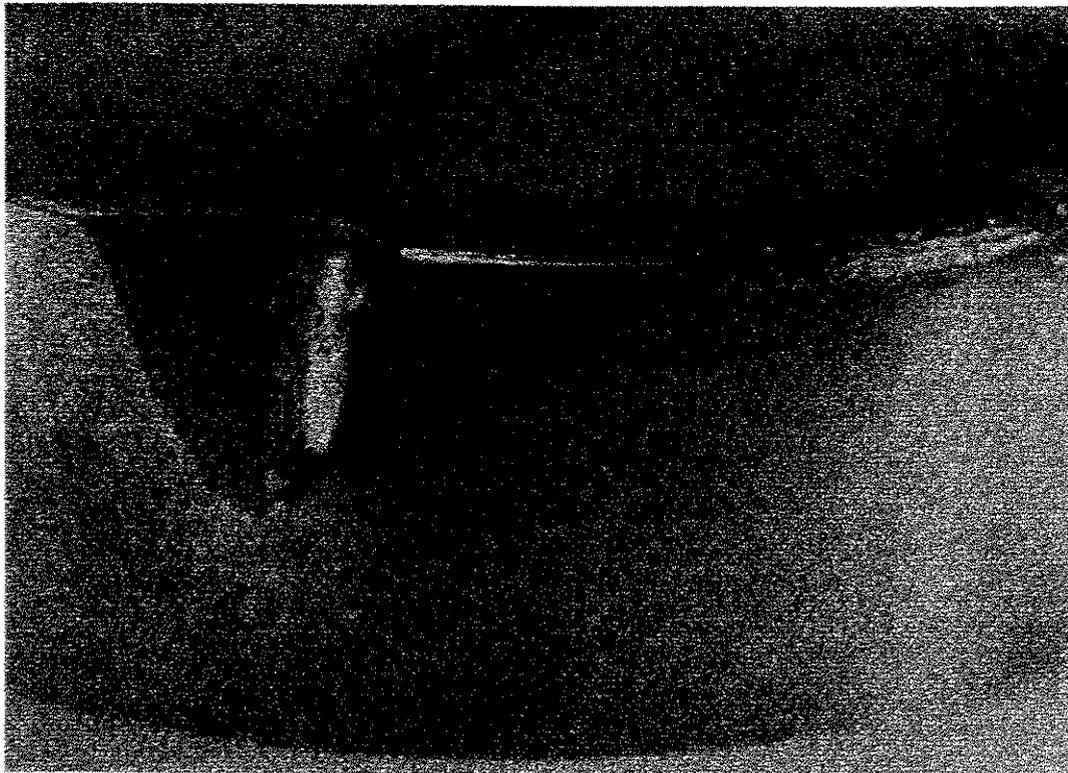


Figura 9: Vista típica de desgaste tipo entalhe
(Sandvik, Modern Metal Cutting, 1994, pag IV-15).

2.2. Manutenção e manuseio das ferramentas

Existem vários fatores que contribuem para a eficácia da usinagem e que implicam diretamente na maior ou menor ocorrência de desgastes. Antes de se iniciar qualquer operação ou teste de usinagem com uma ferramenta de corte é indispensável que se tome alguns cuidados.

2.2.1. Apoio da pastilha intercambiável

Calços ou bases danificadas proporcionam apoio, na maioria das vezes, insuficiente, comprometendo o desempenho ótimo da ferramenta, portanto, é imprescindível conferir o estado do alojamento tanto quanto dos demais elementos de fixação da pastilha, antes de se iniciar uma operação de usinagem com uma ferramenta que não esteja em perfeitas condições de uso.

Usualmente, os porta ferramentas possuem calços de metal duro para proteger os alojamentos da pastilhas de deformações prematuras caso ocorra alguma avaria na aresta de corte, pois, no caso da ruptura da aresta cortante quando em usinagem, estes calços, por serem constituídos de material duro, são resistentes o bastante para suportar as pressões de corte, e proteger o alojamento do porta ferramentas o tempo suficiente para que o operador da máquina interrompa a operação, antes que o assento da pastilha no porta ferramentas seja deformado, pois, o porta ferramentas sem o referido calço, se deformaria quase que instantaneamente e costuma ser mais barato substituir um calço postigo do que um porta ferramentas inteiro.

Os calços de metal duro são retificados e permitem um melhor assentamento da pastilha do que no caso de serem apoiadas diretamente no porta ferramentas. Usualmente, os alojamentos do porta ferramentas são apenas fresados. É mais econômico retificar os calços postigos de metal duro do que temperar e retificar o alojamento propriamente dito, além de que, mesmo temperado, a resistência do aço é menor do que a do metal duro sinterizado.

Os porta ferramentas de secções muito reduzidas 12 x 12 ; 10 x 10 mm, ou menores, normalmente, não possuem calços, isto porque nestas dimensões o calço teria de ser muito pouco

espesso para permitir o assentamento da pastilha sem comprometer a resistência à deformação do porta ferramentas e, portanto, nestes casos o calço tornar-se-ia frágil e quebradiço.

Os porta ferramentas são montados com calços que atendem as necessidades de apoio de pastilhas com determinados raios de ponta, portanto, a medida em que variam os raios de ponta é necessário checar se os calços continuam adequados para o novo raio. Normalmente os catálogos dos fornecedores trazem este tipo de informação em notas de pé de página, onde se encontram os respectivos porta ferramentas. Nem sempre os operadores e preparadores de máquina são informados deste fato e poderão incorrer em erros de montagem, contribuindo assim para um pior rendimento da aresta cortante.

É possível, por exemplo, ocorrer de uma pastilha de raio menor, ser montada sobre um calço adequado para pastilhas de raio maior. Esta inadequação poderá proporcionar um excesso de balanço da ponta da pastilha de raio menor, pois a ponta desta última fica mais distante do ponto de apoio e poderá ficar muito saliente em relação ao calço. Se a montagem for inversa, poderá acontecer do calço ficar mais saliente do que o raio da pastilha. Em ambos os casos, ou o rendimento da pastilha ou a qualidade da superfície usinada estarão comprometidos



Figura 10: Apoio da pastilha

(Sandvik, livreto nº 2 pag 20, Desgastes das Ferramentas, 1989)

2.2.2.Limpeza.

A limpeza dos alojamentos dá estabilidade à pastilha, sempre que se for fazer um rodízio de arestas ou mesmo uma efetiva substituição, é fundamental garantir o perfeito assentamento da pastilha.

O processo de usinagem pode gerar resíduos que acabam se depositando no encaixe de alojamento da pastilha, e o óleo refrigerante pode contribuir para que haja uma maior aderência de tais resíduos devido a uma fina camada gordurosa que vai se formando sobre as faces de apoio. Estes mesmos resíduos também podem ir aos poucos penetrando nos mecanismos de fixação, como parafusos, alavancas, grampos, prejudicando a eficácia do sistema responsável pelo posicionamento firme e correto da pastilha, conseqüentemente interferindo no respectivo rendimento.

Para a limpeza não se recomenda a utilização de ar comprimido, pois o mesmo poderia impelir resíduos para dentro dos mecanismos fixadores dos porta ferramentas provocando posteriormente um funcionamento precário do sistema, além disso, quando se tem o ar comprimido por perto é difícil resistir a tentação de usá-lo para a limpeza da máquina ou até mesmo da roupa e do próprio corpo humano, o que poderia contribuir para a penetração dos já mencionados resíduos por entre os protetores do barramento das máquinas ou nos poros da pele do operador o que em ambos os casos tem conseqüências danosas.



Figura 11: Limpeza do alojamento da pastilha

(Sandvik, livreto nº 2 pag 19, Desgastes das Ferramentas, 1989)

A utilização de um pequeno pincel costuma ser uma boa opção para a limpeza. No caso de se precisar retirar algum excesso de gordura acrescida de sujeira e resíduos deixado pelo óleo refrigerante, aconselha-se embeber o pincel em algum líquido desengraxante não oxidante, tricloretileno por exemplo, antes de se proceder a limpeza.

2.2.3. Apoio de posicionamento

Depois que a limpeza do porta ferramentas estiver garantida é importante que se assegure o posicionamento correto das pastilhas na hora de se fazer a respectiva fixação. Antes de se efetuar a pressão de aperto é necessário certificar-se de que a pastilha está bem assentada em seus pontos de apoio, mantendo-a pressionada contra estes pontos até que a fixação seja feita. A pastilha bem fixada garante estabilidade e precisão.

Em ferramentas multicortantes, onde várias arestas subsequentes vão progressivamente entrando em operação de corte, como no caso das fresas de facear, por exemplo, onde é importante que todas as pastilhas estejam, na medida do possível, na mesma altura para evitar

riscos ou sulcos indesejáveis no acabamento da peça usinada, ou ainda em ferramentas dedicadas a operações de mandrilamento, ou torneamento interno em tolerâncias milésimas, onde o posicionamento preciso da pastilha seja um pré requisito básico, é comum encontrar nos catálogos dos fornecedores mais especializados, recomendações para que se use um torquímetro com os respectivos valores da força de aperto de fixação da pastilha. Com a padronização da força de aperto, consegue-se a repetição precisa do posicionamento quando da troca ou indexação da pastilha para substituição de uma aresta gasta.



Figura12: Apoio correto da pastilha

(Sandvik, livreto nº 2 pag 19, Desgastes das Ferramentas, 1989)

A variação na intensidade do aperto de fixação pode fazer com que a pastilha assuma posicionamentos distintos. Os diferentes níveis de tensão promovidos pelo contato de sujeição dos componentes fixadores com as faces de fixação da pastilha em cada situação particular, contribui para que esses diferentes posicionamentos ocorram.

2.2.4. Fixação dos Porta Ferramentas

As ferramentas bem fixadas contribuem para a estabilidade da usinagem, melhorando tanto o acabamento superficial quanto a vida do fio de corte. Quanto mais rígida a fixação maior a estabilidade e menor a possibilidade de que ocorram vibrações.

É recomendável que se reduza o balanço das ferramentas ao mínimo e se utilize métodos seguros de fixação. As ferramentas devem estar perfeitamente posicionadas na máquina quanto a linha de centro do eixo de corte, de maneira que todos os seus ângulos atuem adequadamente,

pois um leve desvio é suficiente para alterar os ângulos de trabalho prejudicando a performance do sistema.

Em tornos convencionais, é comum encontrar situações em que o operador ou preparador de máquinas utilize calços de apoio, algumas vezes até um “feixe” deles, para que o porta ferramentas alcance a altura de centro desejada, nestes casos os calços nunca deveriam reduzir a base de apoio, tão pouco alterar o posicionamento ideal da ferramenta. O uso de calços é preocupante porque as forças de usinagem resultantes poderiam deformar os calços e deslocar a ferramenta do posicionamento mais adequado durante o processo de usinagem.



Figura 13: Fixação do porta ferramenta
(Sandvik, livreto nº 2 pag 21, Desgastes das Ferramentas, 1989)

Geralmente, quando se adota a ferramenta certa para uma determinada máquina, por princípio, nenhum calço de ajuste de altura deveria ser necessário, pois existem normas que pré estabelecem as dimensões tanto das ferramentas quanto dos dispositivos de fixação da máquina, justamente para proporcionar uma fixação fácil e racional, contudo, quando os calços se tornam

necessários estes deveriam ser absolutamente planos, indeformáveis e nunca menores do que a face do porta ferramentas que sobre eles estará apoiada, de modo a proporcionar o posicionamento ótimo da ferramenta para o trabalho ao qual se destina.

A fixação do porta ferramentas na máquina deve ser feita de tal forma que toda a rigidez e estabilidade possíveis seja conferida ao conjunto, assim, se foram previstos, por exemplo, quatro parafusos para fixar o porta ferramentas no “castelo” do torno, não é recomendável que se utilize para isso apenas dois, ou seja, menos do que o previsto; também o aperto de cada parafuso deve ser feito aos poucos, um de cada vez, de maneira alternada, progressiva e uniforme, para evitar que a ferramenta fique desalinhada.

A utilização de sistemas de fixação modulares e de troca rápida (figura 14), conferem agilidade, dão flexibilidade as montagens e reduzem sobremaneira os tempos de preparação de máquinas, aumentando conseqüentemente a produtividade e reduzindo custos de fabricação.

Um bom sistema modular poderá garantir uma série de vantagens em relação aos sistemas sólidos não flexíveis.

Entre os principais benefícios estão a economia de tempo na preparação da máquina, na montagem, nos ajustes e troca das ferramentas, além da possibilidade de padronização do ferramental para diferentes máquinas, mesmo que essas tenham sistemas de fixação diferentes.

Existem adaptadores para converter o sistema de fixação diferente naquele desejado, com isso, aumenta-se a flexibilidade do sistema produtivo, facilitando ao planejador a distribuição das ordens de produção entre as diferentes máquinas. Um sistema de fixação modular, portanto, oferece um maior número de alternativas ao planejador, na hora de distribuir os serviços e carregar as máquinas.



Figura 14: Exemplo de sistema de fixação de ferramentas modular
(Catálogo Sandvik Coromant – Ferramentas para Tornear pag D11, 2000)

A redução de inventário, também pode ser considerável. A combinação dos módulos, ou seja, adaptadores, extensões, expansões e reduções de ferramentas intercambiáveis entre si, proporciona muita flexibilidade para a montagem das mais diversas versões delas sem que um grande volume de ferramentas seja necessário. Isso facilita o gerenciamento, além de diminuir os custos com ferramental. A economia ao longo de um ano pode chegar a milhares de dólares.

2.2.5 .Fixação da pastilha

Normalmente os porta ferramentas são fornecidos com suas respectivas chaves de aperto, as quais foram desenhadas para proporcionar uma força de sujeição correta.

Ao proceder a fixação das pastilhas, é recomendável que se utilizem as chaves originais, assim como foram fornecidas, portanto, não se deve fazer uso dos populares “caninhos” como extensão para o comprimento do cabo das chaves, o comprimento maior apenas contribui para o excesso de aperto e conseqüente danificação de componentes, podendo ocasionalmente travar ou espanar os parafusos de fixação.

Por ocasião de qualquer manutenção, aconselha-se a utilização de componentes originais para evitar disparidades nas tolerâncias ou nos níveis de qualidade desses elementos.



Figura 15: Utilização de componentes originais
(Sandvik, livreto nº 2 pag 20, Desgastes das Ferramentas, 1989)

É comum encontrar diferenças em componentes produzidos por fornecedores distintos. Essas diferenças podem por em risco o perfeito funcionamento do conjunto de fixação.

Os parafusos, roscas, grampos e demais elementos de fixação dos porta ferramentas são fornecidos, de modo geral, devidamente lubrificadas com óleos grafitados para que o perfeito

funcionamento do sistema de fixação não fique comprometido, todavia, no uso diário, com o excesso de manuseio e também o calor gerado pela usinagem, esta lubrificação, aos poucos, vai se ressecando e desaparecendo, e não raramente, se deixa de fazer a devida limpeza e relubrificação.

Quando o sistema de fixação funciona precariamente, os tempos de manuseio da respectiva ferramenta aumentam, contribuindo para a perda de produtividade além de facilitar a avaria dos respectivos componentes e chaves de fixação.



Figura 16: A fixação da pastilha deve ser feita com a respectiva chave , sem extensões.

(Sandvik, livreto nº 2 pag 20, Desgastes das Ferramentas, 1989)

2.2.6.Utilização das arestas

Na maioria das vezes os usuários finais das ferramentas de corte não têm idéia do seu valor de mercado ou supõem que tenham custo desprezível e, por essa razão, costumam não dar muita atenção para o seu total aproveitamento. É comum encontrar no lixo pastilhas que não tiveram todas as suas arestas de corte disponíveis devidamente utilizadas, isso contribui para o aumento dos custos com ferramentas e paradas de máquinas.

Se uma determinada empresa tem um consumo mensal de 1.000 pastilhas de metal duro e através de uma melhoria de processo consegue aumentar o rendimento das mesmas em 10% ela obteria uma significativa economia nos custos totais com ferramentas e usinagem.

Se as pastilhas renderem 10% a mais, mantendo-se o mesmo volume de produção, poderia-se dar conta de todo o trabalho de um mês com 900 pastilhas ao invés de 1.000, economizando-se assim 100 pastilhas por mês.

Supondo-se que o preço médio de uma pastilha seja US\$ 5,00 a economia direta em consumo de pastilhas seria de US\$ 500,00 por mês ($100 \times \text{US\$ } 5,00 = \text{US\$ } 500,00$), contudo, haveria uma importante economia indireta. Considerando-se uma pastilha que tenha em média 5 arestas, economizar 100 pastilhas é o mesmo que economizar 500 arestas ($100 \times 5 \text{ arestas}$). A menos que a máquina trabalhe com dois jogos de ferramentas e a substituição de arestas seja feita fora da máquina sem interrupção do ciclo produtivo, a cada aresta corresponde normalmente uma parada de máquina ou no mínimo um tempo de “set-up” (montagem, ajuste e alinhamento) da nova aresta no porta ferramentas.

Sempre que se para uma máquina para troca de ferramentas ou indexação da pastilha (giro da pastilha para utilização da aresta subsequente) consome-se um determinado tempo, que varia de acordo com a habilidade e o ânimo de cada operador, além de ser influenciado pelo grau de

dificuldade de se desmontar e montar a nova pastilha ou aresta, em função do sistema de fixação do porta ferramentas e também da fixação do porta ferramentas na máquina.

Quanto mais precisa e bem acabada se desejar a peça, o tempo para se retomar o processo é mais demorado após a parada para a respectiva troca, pois costuma-se fazer ajustes mais finos quando da retomada da operação por uma nova aresta. Assim é possível que em muitos casos uma troca de ferramentas possa consumir até 10 minutos, todavia, nesse estudo será considerado o tempo médio de 2 minutos para tal serviço.

Desta forma, uma economia de 500 arestas em um mês, significa uma economia de 500 paradas, que possivelmente totalizariam 1.000 minutos, ou seja, mais de 16 horas de máquina parada por mês que deixariam de ocorrer. ($500 \times 2 \text{ min} = 1.000 \text{ min} \div 60 = 16,6 \text{ horas}$).

Se as máquinas pudessem trabalhar 16 horas a mais por mês, a produtividade e o custo máquina seriam afetados, multiplicando-se o efeito benéfico do aumento do rendimento da ferramenta. É comum que um aumento de 10 % no rendimento da aresta proporcione uma redução ainda maior nos custos totais de usinagem, contudo, o melhor efeito será percebido em operações que constituam gargalo de produção.

Embora não se tenha a intenção de fazer uma análise detalhada das reduções de custos proporcionada pelo aumento de 10% no rendimento de uma aresta de corte, considere que tal aumento de produtividade gere uma economia adicional de mais US\$ 1.000,00 à economia direta já mencionada. Ao longo de um ano essa economia seria de no mínimo US\$ 18.000,00. Uma quantia significativa em tempos de alta competitividade e grande necessidade de redução de custos.

Em decorrência do acima mencionado, resta saber o quanto é possível se aumentar o rendimento de uma pastilha em 10%. É sabido que uma simples alteração da classe, da geometria, do raio de ponta ou dos parâmetros de corte podem promover melhorias bastante superiores a 10%, dependendo do quão otimizada está uma determinada operação, assim, a escolha correta da ferramenta e dos seus respectivos parâmetros de corte é muito importante.

Há ainda um outro fator para o qual se quer chamar a atenção e que pode contribuir para melhorias de igual ou superior significância. Mesmo que a necessidade de ser mais competitivo tenha crescido com o aumento da concorrência proveniente da abertura e globalização do mercado, e isso tenha forçado muitas empresas a serem mais criteriosas e exigentes quanto ao máximo aproveitamento das ferramentas na produção, é muito comum encontrar pastilhas mau utilizadas, ou ainda com arestas boas, sem uso, já descartadas para o lixo.



Figura 17: Utilização racional das arestas de corte
(Sandvik, livreto nº 2 pag 19, Desgastes das Ferramentas, 1989)

É importante, portanto, ressaltar as conseqüências desse ato. Quando se atira ao lixo uma pastilha de 4 arestas com uma aresta boa, sem uso, joga-se fora no mínimo 25% do seu rendimento. Quando se descarta uma pastilha de 3 arestas com uma aresta sem uso, descarta-se junto com ela 33,33% do seu rendimento. Estes potenciais de rendimento são ilustrados na figura

18. Isso se considerarmos que daquelas arestas que foram utilizadas tirou-se o máximo proveito possível, pois caso contrário a perda seria ainda maior.

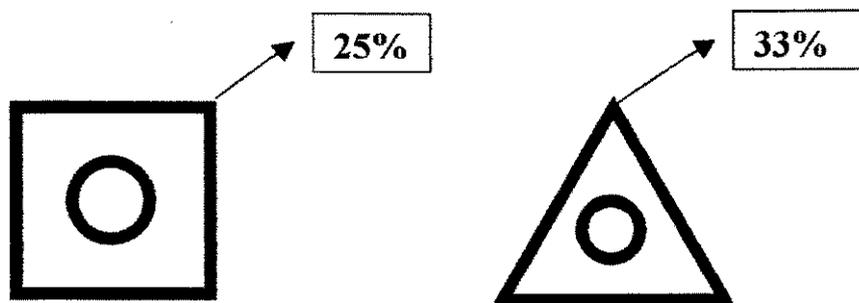


Figura 18: Representatividade do potencial de rendimento em função do número de arestas da pastilha

Ora, se 10% de aumento de rendimento de uma pastilha pode gerar economias tão importantes, a somatória de arestas com 25 ou 33 % de suas capacidades não utilizadas poderão gerar um grande prejuízo. É razoável acreditar que boa parte da competitividade das empresas brasileiras de usinagem, estejam sendo ainda hoje atirada ao lixo, devido ao desperdício. Falta conscientização da mão de obra direta e indireta das empresas de usinagem.

É importante que todos os envolvidos direta ou indiretamente com as ferramentas estejam conscientes do seu custo e dos benefícios gerados pela maximização do seu aproveitamento. Nunca se deve descartar uma pastilha sem ter usado todos os seus fios de corte pois isso pode ter grande influência nos custos totais com ferramentas ao longo de um ano de trabalho.

Conforme PIRES & DINIZ, 1997, a conscientização dos operadores, demonstrando a situação de sub-utilização das pastilhas de metal duro em sua área, faz com que estes sejam mais atenciosos diminuindo assim o desperdício com pastilhas descartadas em utilização.

As pastilhas gastas em operações de acabamento podem posteriormente ser utilizadas em operações de desbaste, pois nesses casos admitem-se desgastes maiores, uma vez que em desbaste a qualidade do acabamento não é determinante. Isto é recomendável principalmente

quando for possível a variação do ângulo de posição para um ângulo mais favorável ao desbaste, e desde que a geometria de corte permita um bom controle do fluxo de cavacos na operação de desbaste também.

Um exemplo desta situação ocorre quando a pastilha trabalhou em acabamento com ângulo de posição de 90° e depois pode ser montada a 75° para o desbaste. Muitas vezes as operações de acabamento gastam a região do raio da pastilha enquanto a região posterior ao raio está intacta e, portanto, poderia ser utilizada com um ângulo menor para operações de chanframentos ou desbastes.

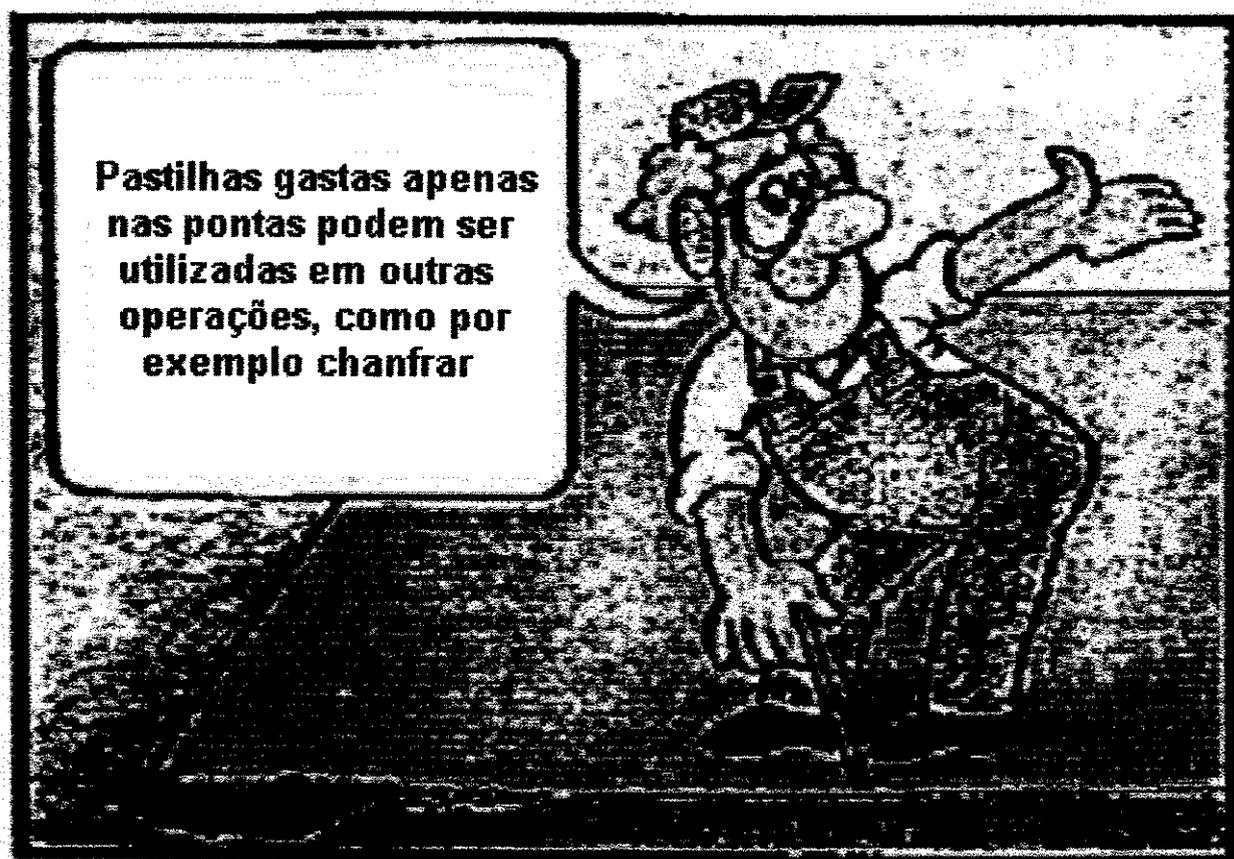


Figura 19: Utilização secundária das arestas de corte
(Sandvik, livreto nº 2 pag 18, Desgastes das Ferramenats, 1989)

Há ainda mais um cuidado relativo ao aproveitamento das arestas, o armazenamento. Ocorre que muitas vezes os operadores retiram as pastilhas de suas embalagens, geralmente caixinhas de plástico com alojamentos individuais, embalagens essas também excelentes para guardar anzóis, segundo pescadores, e as colocam em algum outro recipiente, como latas ou caixinhas de madeira, ou mesmo no fundo das gavetas dos armários das máquinas, deixando-as amontoadas.

Quando operadores procedem dessa maneira, as pastilhas ficam amontoadas uma sobre as outras e a cada movimento de se sacudir a lata ou caixa de madeira, ou a cada abrir e fechar da gaveta do armário, as pastilhas se chocam umas contra as outras, causando avarias no fio de corte que por si só já prejudicam o rendimento máximo das mesmas. As pastilhas devem permanecer em suas embalagens sempre que não estiverem em uso, pois as respectivas embalagens foram projetadas para protegê-las de chocarem-se umas com as outras, assim livrando-as de avarias desnecessárias que poriam em risco o máximo rendimento dessas.

2.2.7. Indexação das arestas

É comum as arestas serem indexadas sem nenhum critério por parte de preparadores e operadores de máquina, contudo, a experiência tem mostrado que ao se indexar uma pastilha (girar em torno de si mesma ou até trocar de face no caso de bifaciais) em busca de uma nova aresta, é importante verificar se a nova aresta não foi afetada pela ação dos cavacos na operação anterior. É comum ocorrer do cavaco que se está formando bater em alguma aresta livre e provocar avarias antes mesmo que essa seja posta em uso.

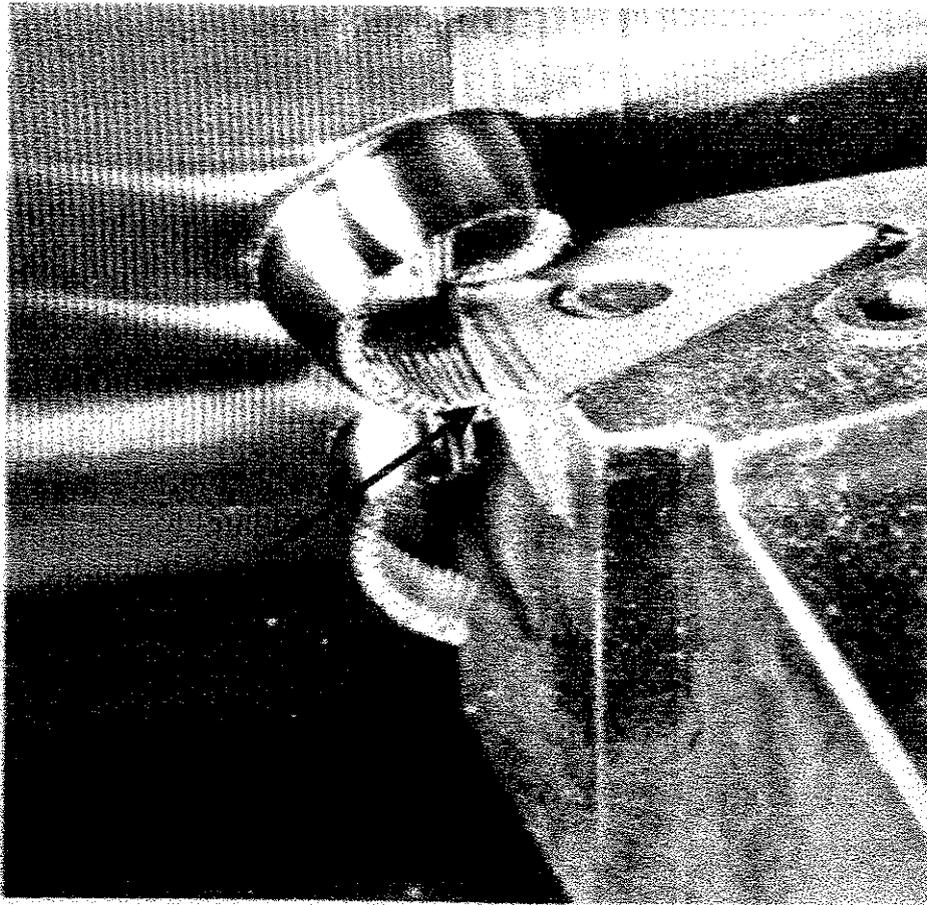


Figura 20: O martelamento da aresta inferior pelo cavaco pode causar avarias
(Sandvik Coromant AB – Brochura nº 4 Modern Metal Cutting pag 7, 1979)

2.2.8. Uso de fluidos de corte

A refrigeração insuficiente prejudica a vida da ferramenta, provocando trincas térmicas. O refrigerante deve ser aplicado em abundância e em fluxo contínuo. Nos casos de corte contínuo, como na maioria dos casos de torneamento, a refrigeração pode aumentar consideravelmente a vida da ferramenta, contudo, nos cortes intermitentes, como em operações de fresamento, a refrigeração é menos benéfica, devido ao fato de a refrigeração não acompanhar cada pastilha ao longo do corte ficando estática em uma determinada posição enquanto a pastilha gira no diâmetro externo da fresa, aquecendo enquanto se afasta do esguicho refrigerante e resfriando enquanto se

aproxima do mesmo. A intermitência da temperatura quase sempre acaba por provocar trincas térmicas ao longo da aresta da pastilha.



Figura 21: Fluxo de refrigeração abundante e contínuo
(Sandvik, livreto nº 2 pag 21, Desgastes das Ferramentas, 1989)

A medida em que uma pastilha se aquece o calor vai se propagando por toda a sua massa provocando dilatações térmicas. Como o calor é gerado pelas forças de corte e também pelo atrito dos cavacos na superfície de saída, este se propaga em gradiente térmico em direção ao centro da pastilha promovendo dilatações por onde passa, contudo, ao receber um jato de refrigerante na superfície, essa se contrai ao passo em que o interno da pastilha continua com a tendência de dilatação, por esta razão, com a superfície se contraindo e o interno se dilatando as trincas térmicas acabam ocorrendo.

Atualmente já existem classes de metal duro adequadas a usinagem sem refrigeração, também existem novas técnicas de refrigeração por névoa pressurizada que contribui sobremaneira para a redução dos custos com refrigerantes, além de serem mais saudáveis do

ponto de vista ecológico, pois o custo do tratamento de resíduos de óleos refrigerantes para posterior liberação dos mesmos no meio ambiente costuma ser elevado.

Estudos recentes indicam que a lubrificação da região de atrito na zona de corte é mais importante do que a própria refrigeração, com a ajuda de um atomizador, vaporiza-se pequeníssimas quantidades de óleo lubrificante, porém suficientes para garantir a diminuição do atrito e conseqüentemente das elevadas temperaturas na região de corte que promovem desgastes prematuros do fio de corte. Assim, obtém-se resultados bastante satisfatórios sem que a utilização abundante de óleo seja necessária. De qualquer modo por tratar-se de técnica ainda não suficientemente dominada e divulgada, prevalece na maioria das operações de usinagem a utilização dos refrigerantes.

2.2.9. O problema dos cavacos contínuos

Cavacos contínuos costumam se emaranhar na peça, pondo em risco a qualidade do acabamento da superfície usinada, além da segurança do operador, da ferramenta e da própria máquina.

É muito comum observar os operadores mais cautelosos pararem as máquinas, interrompendo o ciclo de usinagem para desenroscar os cavacos emaranhados no conjunto peça/ferramenta. Agindo dessa maneira evitam acidentes, contudo, toda parada desnecessária de máquina constitui-se em improdutividade. Pior fazem os operadores mais incautos, que insistem em fazer o mesmo com a máquina em operação, pois além da improdutividade e demais problemas decorrentes dos cavacos contínuos que se embaraçam, ainda correm o risco de se acidentarem.

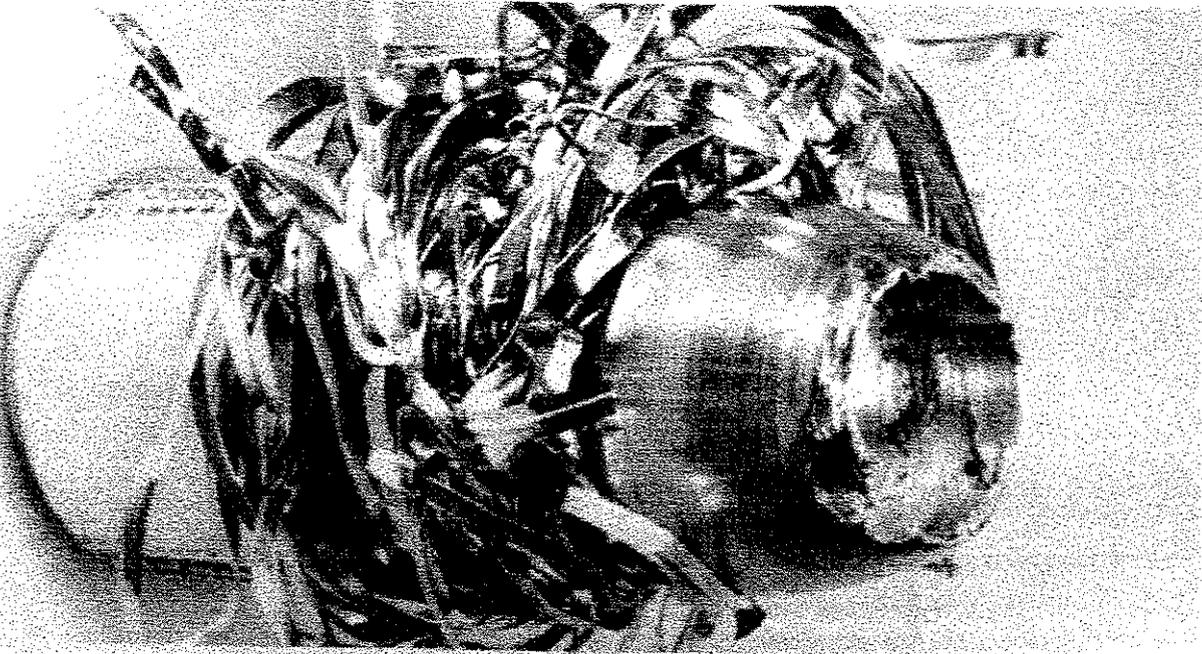


Figura 22: Exemplo de acidente causado por geração de cavaco contínuo
(Sandvik Coromant AB – Brochura nº 4 Modern Metal Cutting pag 7, 1979)

2.2.10. Controle do fluxo de cavacos

O controle eficiente da quebra e fluxo de cavacos facilita a usinagem, pois proporciona um ciclo contínuo de trabalho, diminuindo o tempo improdutivo e prolongando a vida da ferramenta, além de melhorar a qualidade da peça usinada.

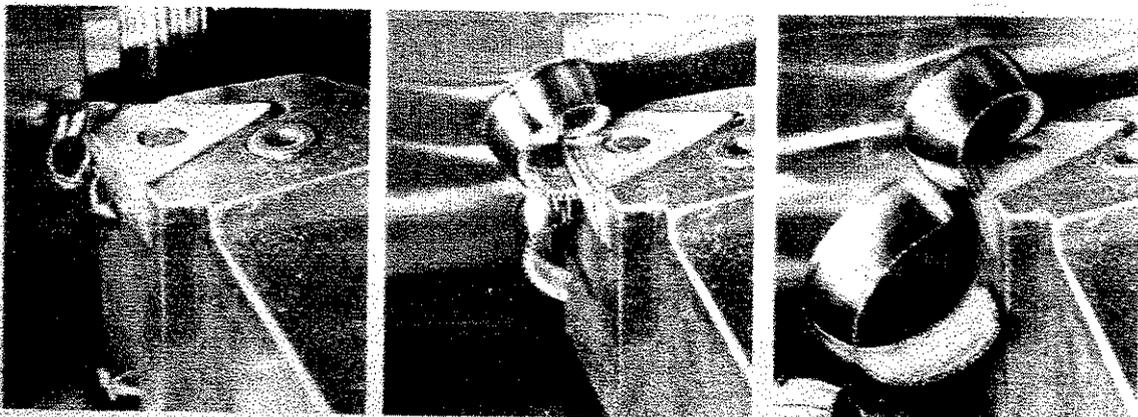


Figura 23: Quebra de cavacos em operações de acabamento, usinagem média e desbaste
(Sandvik Coromant AB – Brochura nº 4 Modern Metal Cutting pag 7, 1979)

Os fatores que mais influenciam o controle da quebra e fluxo dos cavacos são: a geometria da face de saída da pastilha, o avanço da ferramenta por rotação da peça e a profundidade de corte. O item 2.3.2.4 sobre seleção da geometria de corte da pastilha, que se encontra adiante, traz informações complementares sobre como obter eficácia no processo de formação e controle do fluxo de cavacos.

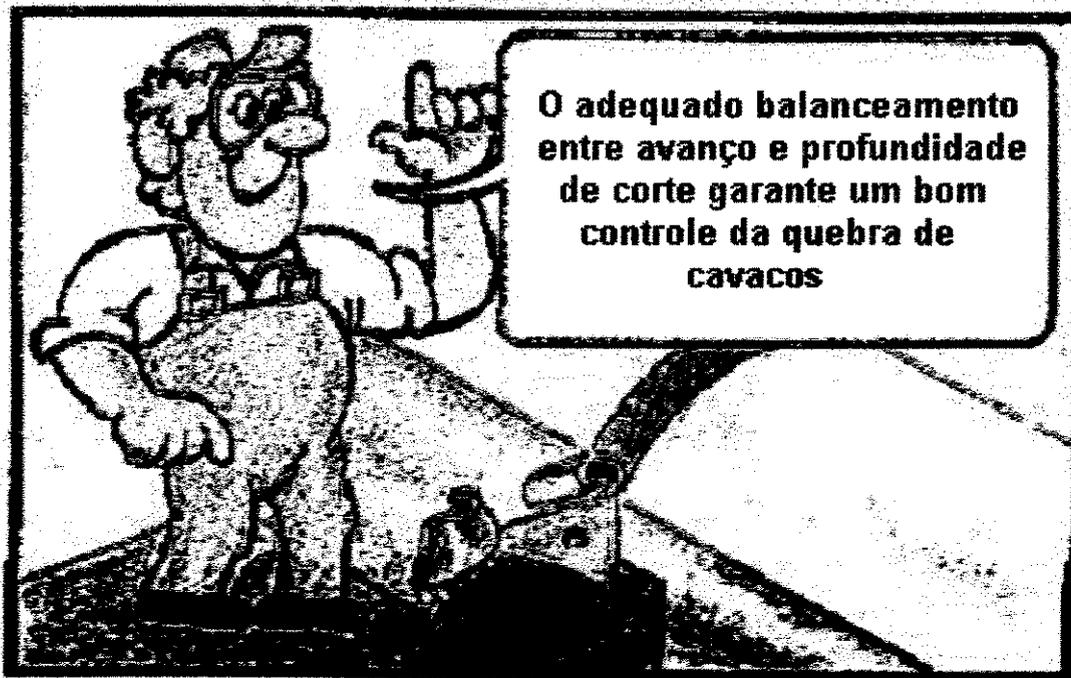


Figura 24: O avanço e a profundidade de corte são fundamentais para a quebra de cavacos (Sandvik, livreto nº 2 pag 21, Desgastes das Ferramenats, 1989)

Apesar de exercer grande influência na vida da ferramenta, a velocidade de corte não influencia tanto no controle de fluxo e quebra de cavacos, inúmeras experiências foram feitas mantendo-se avanço e profundidade e variando-se a velocidade de 50 até 350 m/min e a quebra de cavacos não sofreu alterações significativas. Uma exceção, porém, é feita às operações de furação onde a temperatura na zona de corte interfere na ductilidade do material do cavaco e pode interferir na forma dos cavacos, que se não forem curtos e bem quebrados podem entupir os canais de saída de cavacos da broca.

2.2.11. Pré-CHANFRAMENTO.

A fim de reduzir o impacto da entrada da ferramenta em corte, utiliza-se a prática do pré-CHANFRAMENTO da peça de trabalho. Com isso diminui-se o risco de quebra da ponta da pastilha. Uma entrada em corte de modo progressivo e suave garante maior segurança a ferramenta e portanto assegura um menor número de paradas de máquina para reposição de pastilhas.

Esta técnica é particularmente interessante no caso de utilização de pastilhas cerâmicas, pois estas costumam ser muito mais frágeis e quebradiças do que as pastilhas de metal duro. Pequenos chanfros de $1\text{mm} \times 45^\circ$ são usuais, contudo, deve-se considerar sempre as exigências do desenho da peça acabada.

O pré-CHANFRAMENTO é útil também para minimizar o risco de rebarbas quando a pastilha sai do corte ou para evitar a quebra da borda da peça na saída da ferramenta, principalmente na usinagem de ferros fundidos.

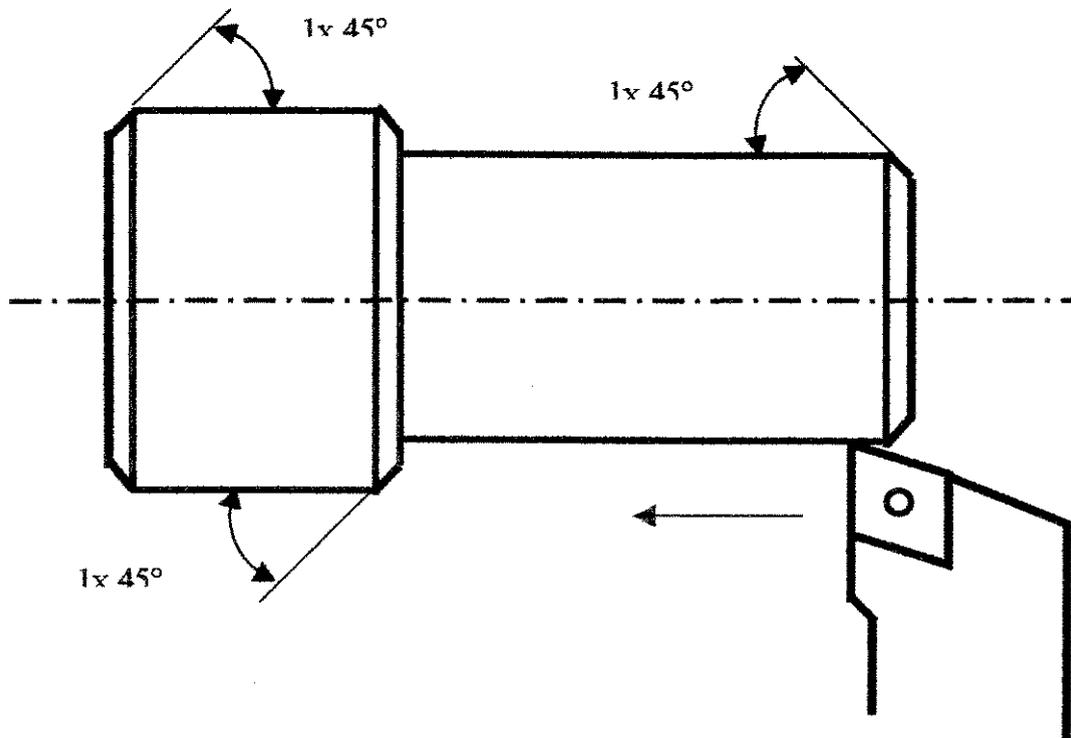


Figura 25: O pré-CHANFRAMENTO suaviza a entrada da ferramenta no corte

2.3. Seleção da ferramenta correta

Para a otimização de um processo de usinagem é necessário que as máquinas e as ferramentas sejam compatíveis com o tipo de operação a ser executada em uma determinada peça, daí a importância da escolha da ferramenta em função de sua aplicação.

Tendo-se por meta a máxima produtividade, a seleção da ferramenta mais adequada a um determinado tipo de usinagem deve ser um princípio e, portanto, mesmo que se vá usinar um lote de uma única peça é imprescindível que se faça a escolha correta da ferramenta.

2.3.1. Fatores de influência na escolha da ferramenta.

Os fatores mais importantes a serem considerados para que se faça a melhor escolha tanto do porta ferramentas quanto da pastilha são os seguintes:

Peça: [Material, desenho, precisão, tolerâncias e exigências de acabamento]

Máquina: [Adequação, potência, rigidez, fixação, velocidades de corte e de avanços]

Ferramenta: [Adequação à máquina e à peça, parâmetros de corte, performance desejada]

2.3.2. Seqüência de escolha.

A fim de se tornar o trabalho de escolha mais racional, é importante que se tome uma seqüência lógica para esse trabalho. Apesar de o material da peça ter importância fundamental na escolha da classe de metal duro da pastilha, não necessariamente a escolha da classe deva ser a primeira decisão a ser tomada. Em função do tipo de usinagem que se pretende fazer, por exemplo: interna ou externa, acabamento ou desbaste, perfil a ser gerado na peça e esforços a que se submeterá a ferramenta, é interessante que se comece a escolha pelo sistema de fixação da pastilha para posteriormente dar seqüência as demais escolhas.

A sequência de escolha abaixo foi retirada das sugestões dos catálogos e manuais da Sandvik. Vale ressaltar que a experiência acumulada em anos de trabalho como assistente técnico e instrutor de treinamento em usinagem, comprovaram a eficácia de tal sequência. Veja a seguir:

Selecionar o sistema de fixação do porta ferramentas.

Selecionar o porta ferramentas.

Selecionar a geometria do quebra cavacos da pastilha.

Selecionar a classe do metal duro da pastilha.

Selecionar o tamanho e espessura da pastilha

Selecionar o formato da pastilha

Selecionar o raio de ponta da pastilha.

Selecionar parâmetros de corte.

Proceder ajustes finais de otimização

2.3.2.1. Seleção do sistema de fixação do porta ferramentas

De acordo com o sistema ISO de normas, os porta ferramentas podem apresentar diferentes sistemas de fixação de pastilhas. Os vários sistemas de fixação foram desenhados para se adaptarem a uma vasta gama de áreas de aplicação diferentes. Seguem alguns exemplos de sistemas de fixação mais encontrados no mercado:

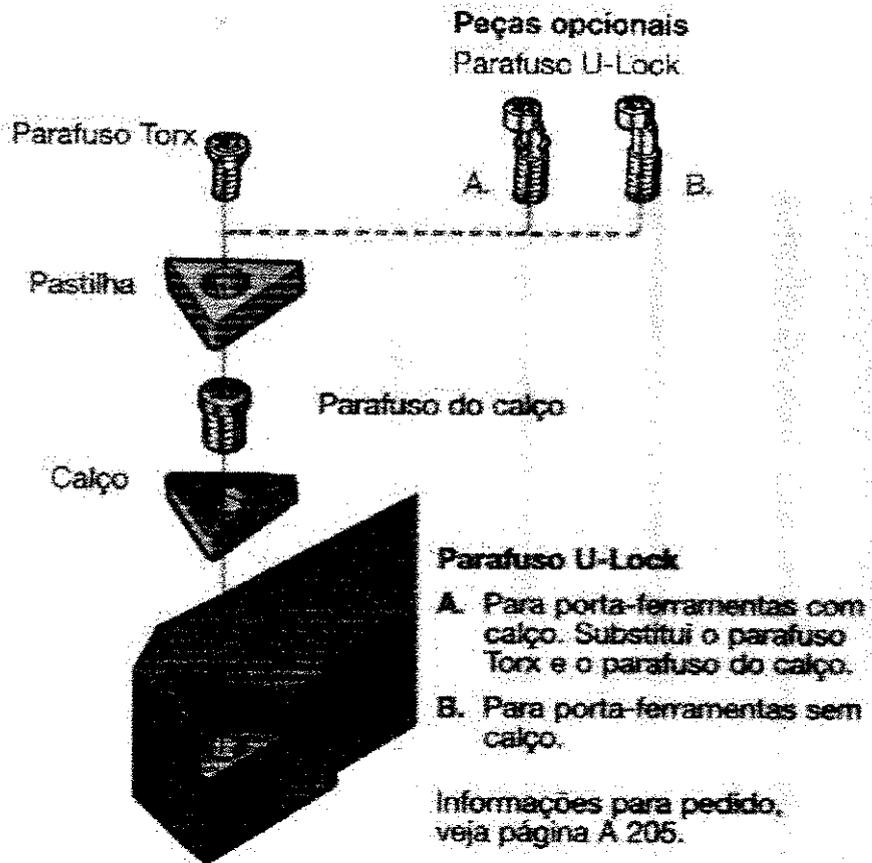


Figura 26: Exemplo de sistemas de fixação de pastilhas de metal duro positivas (Catálogo Sandvik Coromant – Ferramentas para Tornear pag A232, 2000.01)

Desenho com alavanca

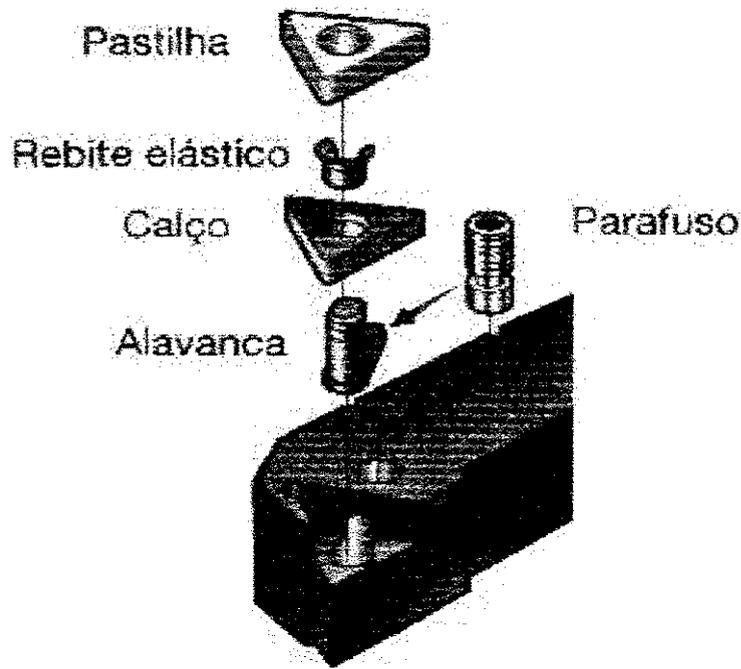
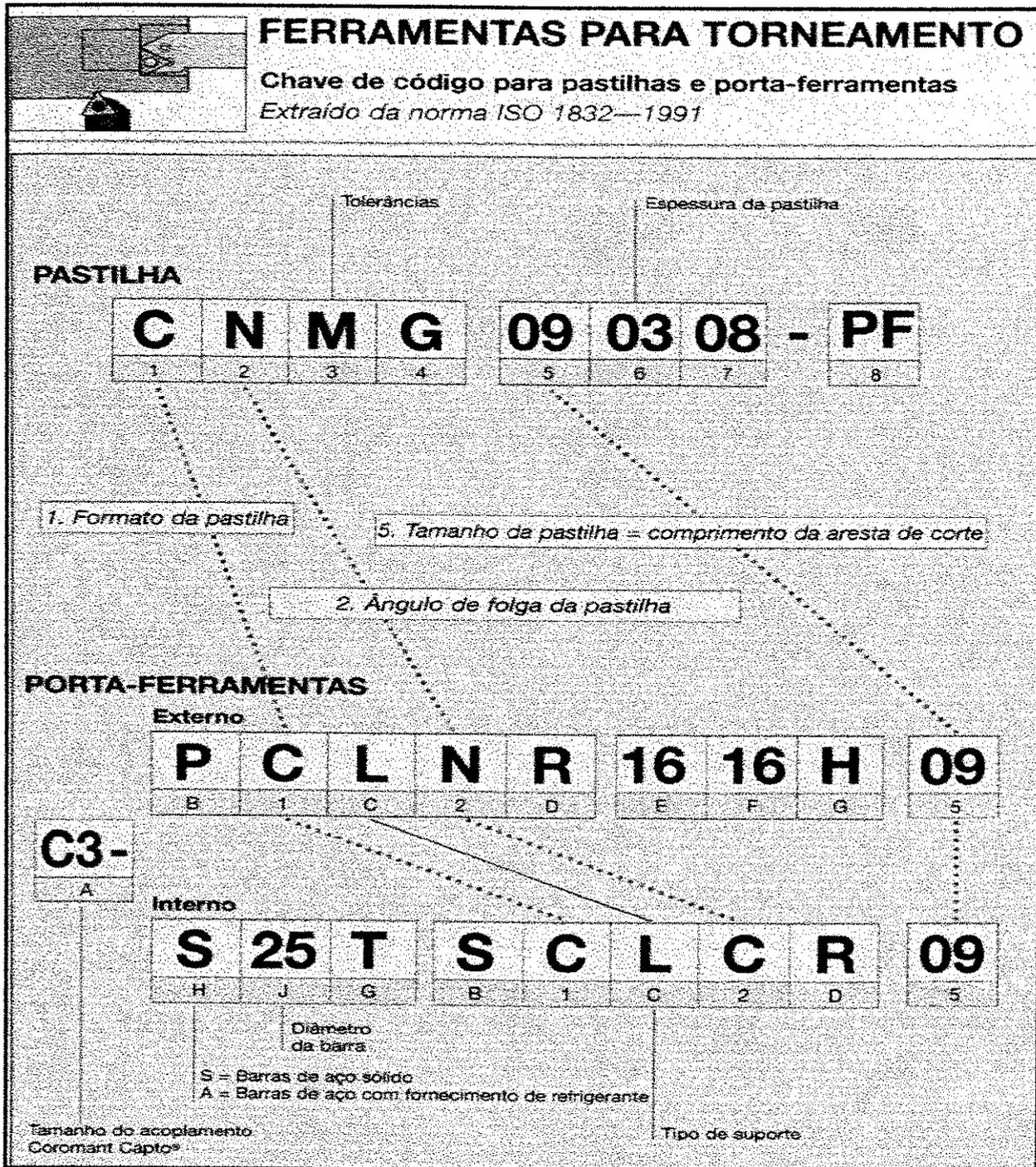


Figura 27: Exemplos de sistemas de fixação de pastilhas de metal duro negativas
(Catálogo Sandvik Coromant – Ferramentas para Tornear C-1000:7-POR pag A 231, 2000.01)

Os catálogos dos fornecedores costumam trazer orientações detalhadas sobre os sistemas de fixação de porta-ferramentas e suas respectivas aplicações.

2.3.2.2 Codificação de Porta ferramentas conforme norma ISO.

Tabela 1 Codificação de Porta ferramentas externos e internos conforme norma ISO (Catálogo Sandvik C-1000:6-POR, Ferramentas para Torneamento pag A50,1998)



2.3.2.3. Seleção do porta ferramentas

A fim de auxiliar o usuário no processo de escolha da ferramenta mais adequada a uma determinada operação de usinagem, essas ferramentas podem ser classificadas de acordo com o sistema de fixação da pastilha e também quanto sua respectiva capacidade de se adaptarem as funções que deverão cumprir quando em operação. Um exemplo desse tipo de classificação encontra-se no catálogo C-1000:6-POR 98:01 da Sandvik Coromant. Utilizando-se uma escala de 1 a 3, onde 3 indica a escolha mais adequada, a tabela faz uma correlação entre os tipos de ferramentas, operações, tipos e formatos de pastilhas. Veja reprodução da referida tabela a seguir

Tabela 2 Seleção do Sistema de Fixação

(Catálogo Sandvik C-1000:6-POR, Ferramentas para Torneamento pag A 141, 1998)

Seleção do sistema de fixação

Os vários sistemas de fixação foram desenhados para se adaptarem a uma ampla gama de áreas de aplicação diferentes. Para ajudá-lo a escolher o sistema mais apropriado para uma dada operação, os sistemas foram classificados de acordo com a capacidade de se adaptarem a essa operação, usando-se uma escala de 1 a 5, onde 5, indica a escolha mais adequada.

PRIMEIRA ESCOLHA na maioria das operações



(RC) Fixação rígida



Alavanca

T-MAX P



Cunha

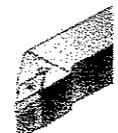


Fixação por cunha



Parafuso e grampo

CoroTurn 107



Parafuso

T-MAX Cerâmica e CBN

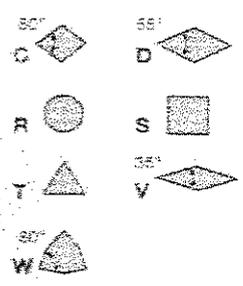


Parafuso e grampo

3 = Melhor escolha

Fixação segura / Estabilidade	3	3	3	3	3	3	3
Copiagem / Acessibilidade	2	2	3	3	3	3	3
Repetibilidade	3	3	2	2	3	3	3
Copiagem / Operações leves	2	2	3	3	3	3	3
Operações de usinagem intermitente	3	3	2	3	3	3	3
Usinagem externa	3	3	1	3	3	3	3
Usinagem interna	3	3	3	3	3	3	3

PASTILHAS



Pastilhas negativas com furos
Face única e dupla face

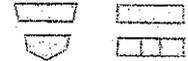
Pastilhas sem quebra-cavaco e pastilhas com quebra-cavaco



Pastilhas positivas com furos

Face única

Pastilhas sem quebra-cavaco e pastilhas com quebra-cavaco



Pastilhas positivas e negativas com ou sem furos.

Face única e dupla face

2.3.2.4. Porta ferramentas para operações internas.

Quando a operação de torneamento for interna, ou seja, o resultado a ser obtido não é um eixo, mas sim um furo, existem algumas considerações a serem levadas em conta. Geralmente em uma operação de torneamento interno, a haste das ferramentas têm formato arredondado para evitar colisões da mesma com a curvatura da parede do furo, além disso a necessidade de se trabalhar com um braço de alavanca maior aumenta a possibilidade de vibrações e o conseqüente mal acabamento. É possível que justamente por serem redondos, tais porta ferramentas costumam ser chamados de barras de mandrilar. Também a necessidade de se avançar com a ferramenta furo a dentro, impede a sua fixação em uma condição de máxima rigidez, pois o braço de alavanca formado pela extremidade onde se encontra a aresta de corte e o primeiro ponto de sustentação e fixação do cabo da ferramenta é aumentado em função do comprimento do furo que se deseja executar. Assim, é necessário que se observe algumas recomendações gerais conforme segue:

- Para usinagens internas, selecione o maior diâmetro de haste que for possível.
- Selecione a barra que possa executar o furo no comprimento desejado, mas que ao mesmo tempo possa ser fixada com o menor braço de alavanca (*balanço*) possível. No caso de se fazer opção por uma barra dotada de sistema antivibratório, é necessário seguir as recomendações do fornecedor para a fixação, pois nesses casos existem certas especificações que devem ser estritamente seguidas para a obtenção dos resultados desejados.

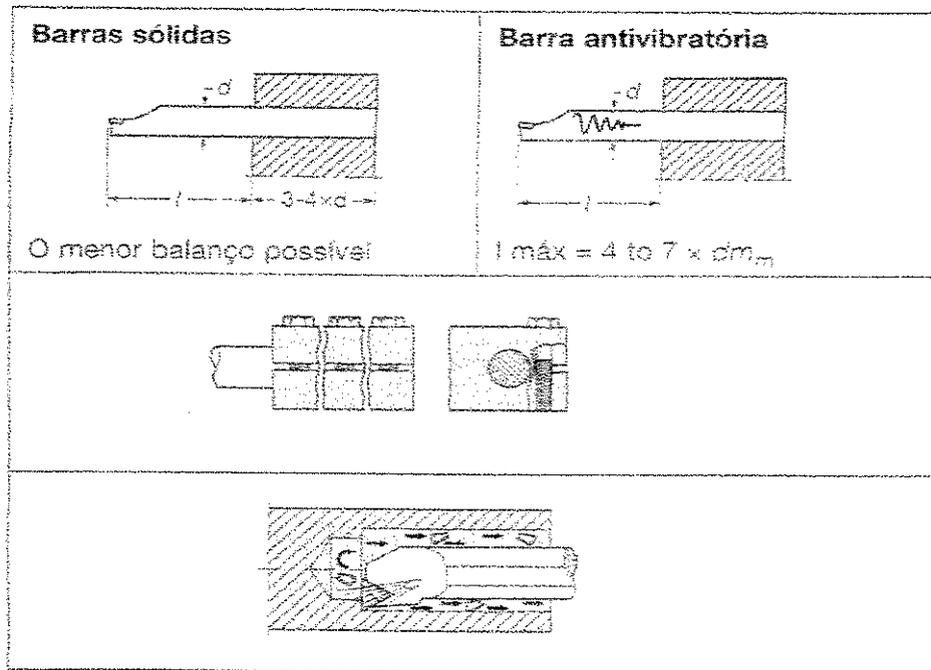


Figura 28: Recomendações sobre fixação da barra para usinagem interna.

(Catálogo Sandvik C-1000:6-POR, Ferramentas para Torneamento pag A 144, 1998)

- Ao usar barras com hastes reforçadas por metal mais pesado, como o metal duro, diminui se a possibilidade de se incorrer em ressonâncias e vibrações, principalmente quando a fixação for mais estável.
- A fixação da barra tem influência decisiva no funcionamento de todo o sistema, especialmente na usinagem com grandes balanços da haste da ferramenta. Quanto maior a solidez da fixação, tanto melhor será o resultado. Fixações por parafusos acionados diretamente sobre as barras, também conhecidas como porta ferramentas internos, costumam oferecer condições precárias de estabilidade. Quando se usa parafusos, a superfície da barra pode ser danificada, resultando em falta de estabilidade. É importante, portanto, selecionar o método mais rígido possível de fixação da barra. Quanto mais envolvida for a barra e quanto mais pontos de apoio e mais firme for a fixação, maior será a contribuição para se obter uma fixação adequada para uma usinagem mais segura e de acabamento melhor.

Atualmente existem vários métodos para se fixar barras para torneamento interno. Abaixo encontram-se quatro exemplos dos mais utilizados pela indústria da usinagem. Os exemplos estão ordenados de acordo com a sua eficiência de fixação conforme a figura 29.

Hoje, vários métodos para fixar as barras são usados dentro das indústrias. Quatro exemplos são mostrados abaixo, variando do melhor ao menos eficaz.

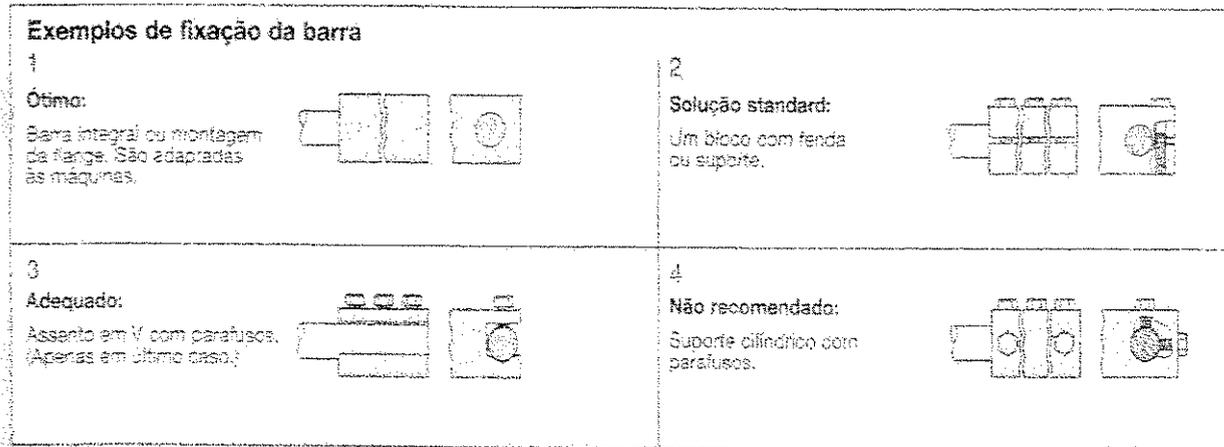


Figura 29: Fixação de barras de mandrilar

(Catálogo Sandvik C-1000:6-POR, Ferramentas para Torneamento pag A 145, 1998)

Quando se faz um torneamento interno, a boa evacuação dos cavacos se torna imprescindível, pois os mesmos se formam dentro do furo e têm apenas duas alternativas para a respectiva evacuação — sair pela boca do furo, no caso de furos “cegos” ou ainda pelo fundo do furo, no caso de furos “passantes” —, contudo, dependendo da velocidade de corte e avanço da ferramenta esta evacuação pode ser insuficiente, podendo, portanto, provocar o entupimento das vias de saída dos cavacos e com a interrupção desse fluxo, aumentam a possibilidade de avarias da ferramenta e acidentes que podem destruir a peça ou no mínimo a qualidade do furo.

Assim, é importante a utilização de refrigerantes sob pressão, ar comprimido ou algum outro meio que possa facilitar a saída de cavacos e proporcionar melhores condições de trabalho, principalmente no caso de furos profundos. Seguem recomendações complementares que ajudam na eficácia de usinagens internas:

- Para usinagens internas, quanto mais próximo de 90° graus, maior a contribuição do ângulo de posição para que se diminua a possibilidade de ocorrerem vibrações. A priori o ângulo de posição deveria ficar entre 90° e 75° como limite. Quanto menor o ângulo de posição, mais a ferramenta tende a fugir no sentido radial e por trabalhar normalmente com maiores balanços, os ângulos menores têm grande possibilidade de promoverem oscilações na haste que contribuem para a ocorrência de vibrações e conseqüente mal acabamento.

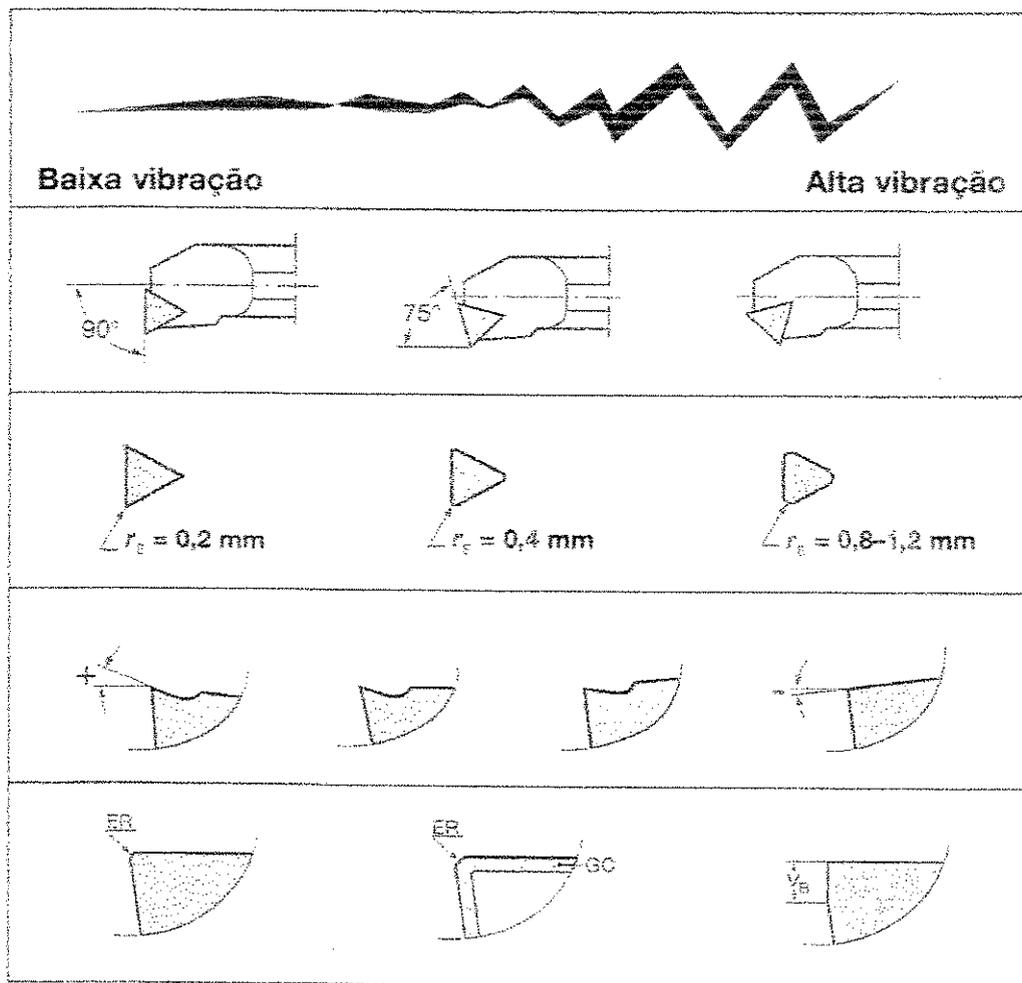


Figura 30: Fatores que influenciam a usinagem interna

(Catálogo Sandvik C-1000:6-POR, Ferramentas para Torneamento pag A 144, 1998)

- Efeito semelhante ao do ângulo de posição agudo é produzido por ocasião da utilização de profundidades de corte menores do que os valores do raio da pastilha. A prática recomenda que, nos casos onde haja folga no eixo árvore da máquina, a profundidade de corte, pelo menos cubra o raio de ponta, pois profundidades de valores menores promovem vibrações por diminuírem significativamente o ângulo de posição, assim contribuindo para o deslocamento radial da barra devido as alterações de direção dos vetores resultantes das forças de corte.

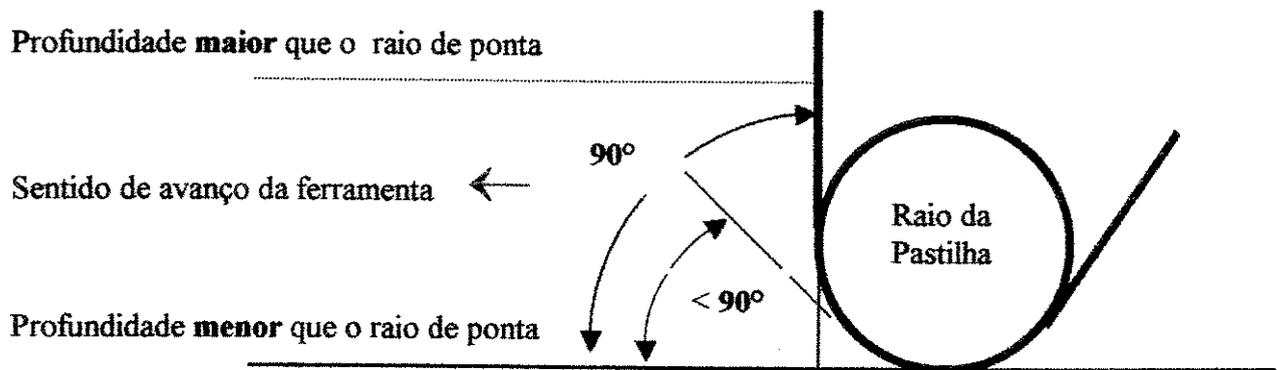


Figura 31: Alteração do ângulo de posição na relação raio de ponta versus profundidade de corte

- Uma vez que as condições de trabalho para o torneamento interno são bastante favoráveis a ocorrência de vibrações, quanto mais suave for o corte, ou seja, quanto menores forem as forças de corte promovidas pela ferramenta e sua respectiva geometria, melhor será esta ferramenta para usinagens internas. Por esta razão, as ferramentas com ângulos de saída mais positivos contribuem para o melhor desempenho da ferramenta em usinagens internas.
- O mesmo efeito do raio de ponta pode ser ocasionado pelo arredondamento da aresta ao longo do fio de corte, por esse motivo, as pastilhas sem cobertura, ou seja, sem o revestimento de finas camadas de nitretos ou carbonetos metálicos, por possuírem arestas de corte mais vivas facilitam o corte promovendo menos desvios e menores forças de corte sendo assim mais adequadas para tal operação.

- Para a fixação de barras cilíndricas de pequenos diâmetros a utilização de pinças expansivas e suportes que possibilitem maior estabilidade da ferramenta podem ser a melhor opção.

2.3.2.5. Seleção da geometria de corte da pastilha.

A geometria do quebra cavacos de uma pastilha tem importância fundamental no controle e formação dos cavacos durante o processo de usinagem, principalmente quando se trabalha com altas velocidades de corte. A medida em que aceleramos o processo de usinagem também aumenta a probabilidade de o operador não ser suficientemente rápido para desligar a máquina caso ocorra um problema de emaranhamento de cavacos.

Atualmente, na grande maioria dos casos, com a combinação ajustada de geometria de quebra cavacos, avanço e profundidade de corte, pode-se obter um controle adequado do fluxo dos cavacos, pois, os fabricantes de ferramentas, oferecem famílias específicas de geometrias de quebra-cavacos para as diferentes operações de usinagem, desde as usinagens mais leves, com avanços e profundidades de corte mínimas, na casa dos centésimos e décimos de milímetros respectivamente, até as usinagens mais pesadas, com parâmetros de corte na casa dos milímetros.

Obviamente, as informações necessárias para se fazer uma boa escolha estão nos catálogos comerciais e manuais técnicos fornecidos pelos fabricantes de ferramentas, contudo, nem sempre esses catálogos estão por perto na hora da necessidade, além disso, podem estar desatualizados, sem contar com a falta de tempo ou até mesmo de boa vontade dos técnicos responsáveis pela elaboração dos processos de usinagem, que muitas vezes se valem da intuição para fazerem tal escolha, daí a importância de se aprender a reconhecer a aplicação de uma certa pastilha através da observação minuciosa do seu “*design*”.

Ao se dividir os quebra-cavacos em famílias, classificando-os em função da aplicação que terão; desbaste, usinagem média e acabamento, por exemplo, pode-se observar certas particularidades comuns a cada uma das famílias.

Os quebra-cavacos indicados para acabamento têm ranhuras e sulcos mais estreitos, suas nervuras de conformação dos cavacos são mais próximas ao fio de corte e quanto mais adequados para profundidades e avanços reduzidos, mais as nervuras se aproximam do raio, no caso de operações em desbaste, ocorre exatamente o contrário.

Profundidades e avanços pequenos, geram cavacos delgados, bastante maleáveis e, por esta razão, precisam ser curvados imediatamente após a aresta, pois se tais cavacos deslizarem por sulcos mais amplos, com nervuras mais afastadas do fio de corte, acabarão tendo o suficiente espaço para a flexão ao invés da quebra e então ter-se-á uma usinagem com cavacos contínuos.

Profundidades e avanços maiores geram cavacos mais robustos, largos e espessos, menos maleáveis, e, portanto, exigem sulcos de quebra-cavacos mais amplos, pois devido a maior resistência à quebra do cavaco, um sulco menos profundo, estreito e menos amplo, não teria a necessária capacidade de curvar o cavaco até o ponto da quebra.

Os sulcos do quebra-cavacos devem gerar a pressão e a curvatura adequada a cada tipo diferente de cavaco a medida em que as profundidades e avanços de corte sejam variados.

Há algum tempo surgiram no mercado novos conceitos para a quebra dos cavacos onde no lugar de sulcos utilizam-se pequenas calotas que servem para levantar os cavacos da superfície de saída durante a sua formação e deslizamento, diminuindo a atrito e conseqüentemente as forças de corte. Neste caso as pequenas calotas exercem a função dos sulcos acima mencionados e o seu posicionamento mais afastado ou mais próximo da aresta de corte determina a sua aplicação para desbaste ou acabamento respectivamente.

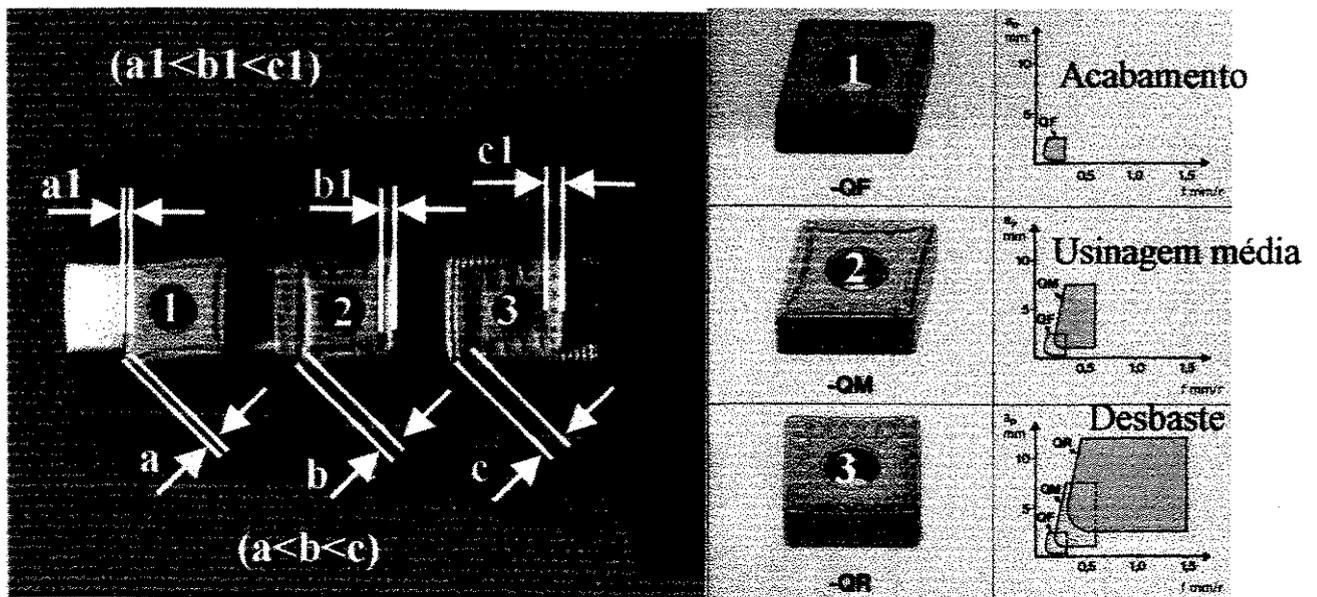


Figura 32: Variação do desenho dos quebra cavacos em função da operação a ser executada
(Sandvik, livreto nº 2 pag 13, Desgastes das ferramentas, 1989)

2.3.2.6 Tenacidade da ferramenta de corte

Uma pastilha de metal duro deve ter tenacidade suficiente para resistir as forças de corte e ao mesmo tempo deve resistir aos desgastes decorrentes do aumento da velocidade de trabalho.

Podemos interpretar tenacidade como sendo a capacidade de resistir a quebras. A tenacidade do metal duro aumenta com maior teor de cobalto, que é o metal ligante mais utilizado na produção de pastilhas de metal duro.

A macro tenacidade implica na resistência à quebra do corpo da pastilha enquanto a micro tenacidade consiste na resistência a avaria da aresta de corte. A micro tenacidade é muito

importante para a manutenção de uma aresta afiada ao longo do processo de usinagem, por esse motivo são utilizados chanfros e arredondamentos ao longo do fio de corte.

O processo mais utilizado para se conferir micro tenacidade a aresta cortante de uma pastilha é um tipo de arredondamento, mais conhecido como tratamento **ER** (*Edge Roning*), que é feito em função da aplicação da pastilha.

Quanto maior o esforço de corte ao qual a pastilha irá se submeter, maior deverá ser o seu arredondamento de aresta, por outro lado, quanto mais indicada para acabamento, mais vivo deverá ser o fio de corte para proporcionar um corte mais suave e uma superfície melhor do ponto de vista da rugosidade. Um arredondamento maior do que o necessário em uma pastilha de acabamento pode torná-la ineficiente na operação a que se destina, um arredondamento menor do que o recomendado para uma certa pastilha de desbaste pode tornar o fio de corte frágil e quebradiço.

Os fabricantes de pastilhas de metal duro para usinagem, testam exaustivamente diferentes tipos de **ER** até encontrarem a combinação que melhor se adapte a cada diferente tipo de aplicação, pois sabem que muitas vezes este pode ser um diferencial de competitividade em relação a concorrência.

Apesar de se ter utilizado o termo arredondamento, com o objetivo de se facilitar o entendimento, o tratamento **ER** consiste em uma combinação bem elaborada de ângulos e raios que se estendem ao longo do fio de corte a fim de evitar arestas muito vivas, como fio de navalha, que se tornariam extremamente frágeis e propensas ao lascamento.

Uma prática adotada pelos operadores mais experientes para se observar quão vivo está um fio de corte em relação a outro, consiste em passar a face da unha do polegar contra o fio de corte da pastilha. Um fio de corte mais vivo remove maior quantidade e mais facilmente material da unha enquanto um outro fio de corte mais grosso remove menos material e com maior dificuldade.

O fio de corte mais vivo possui um valor de **ER** menor e se dá melhor nas operações de acabamento enquanto ocorre o contrário com o fio de corte mais grosso.

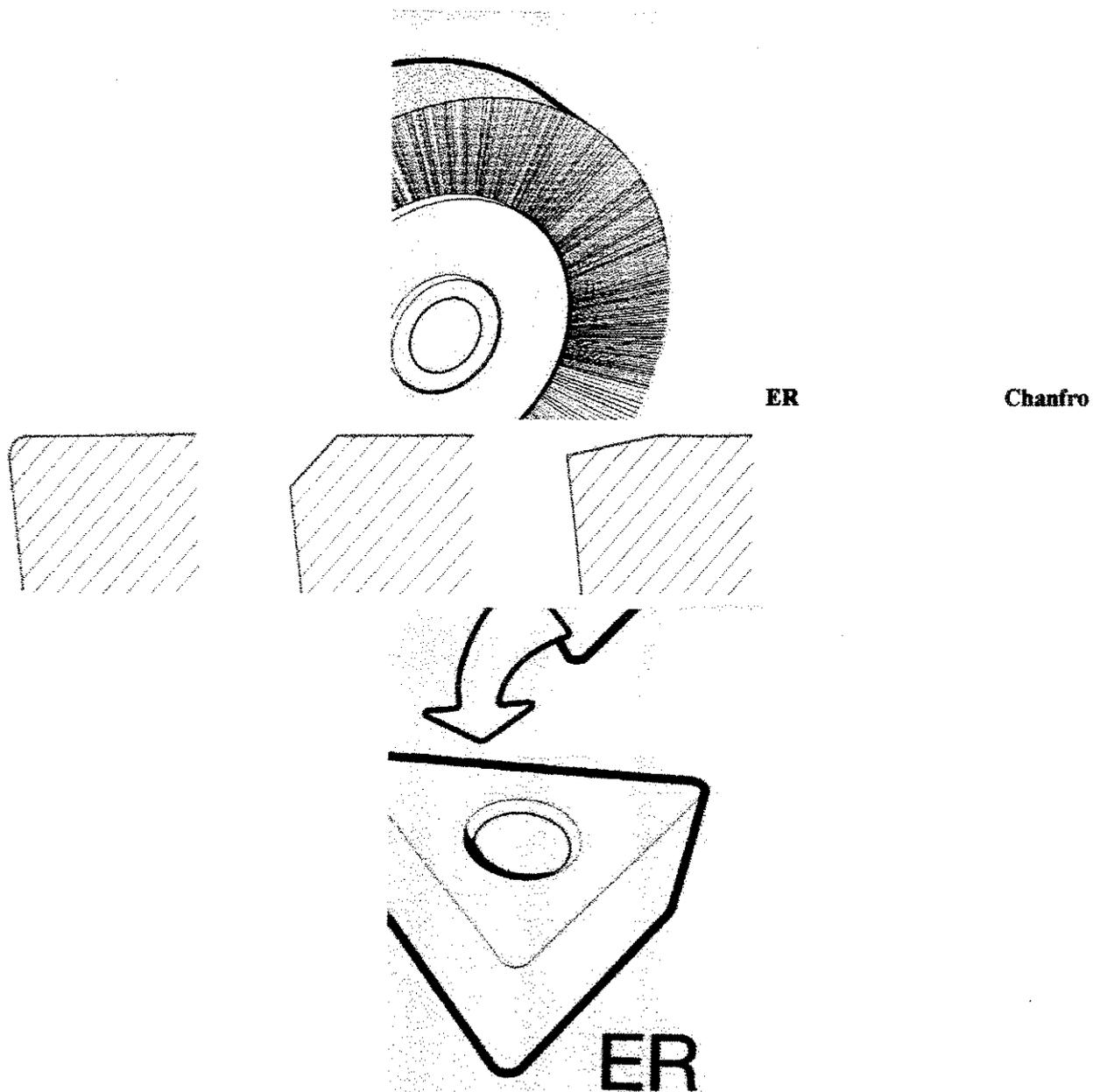


Figura 33: Exemplos de tratamentos de aresta para conferir micro tenacidade à ferramenta
(Sandvik, Modern metal Cutting, pag III-19-20; 1994)

2.3.2.7 Ferramentas com pastilhas de metal duro soldadas.

Apesar de as pastilhas de metal duro intercambiáveis estarem atualmente disponíveis para a grande maioria das aplicações em usinagem, existem casos em que a melhor opção ainda é a ferramenta soldada. Situações que exijam um perfil especial da pastilha cujo consumo não justifique o desenvolvimento e fabricação de um lote de pastilhas intercambiáveis é um exemplo onde a utilização de ferramentas soldadas poderia ser a opção mais adequada.

No caso de ferramentas soldadas, é possível assegurar a micro tenacidade no fio de corte através da execução de um chanfro conforme apresenta-nos a figura 34, com inclinação " γ_1 " ao redor de 10° e comprimento de 0,6 a 1,2 vezes o avanço por rotação " f ". No caso " γ_2 " vai depender da aplicação da ferramenta, pois operações de acabamento, ou mesmo desbastes em máquinas de baixa potência no motor principal (de 5 a 8 KW por exemplo), necessitam de ferramentas mais positivas e, portanto, " γ_2 " deveria ser mais acentuado, ou seja, mais positivo. A medida em que o material usinado for mais pastoso e com tendências a formação de aresta postiça, ou quanto mais frágil for a máquina, mais positivo deveria ser " γ_2 " pois nestes casos a ferramenta mais positiva facilita a usinagem, dificultando a formação de aresta postiça e também consumindo menos potência quando em corte, assim, o referido ângulo pode variar desde 0° até mais de 20° dependendo da situação.

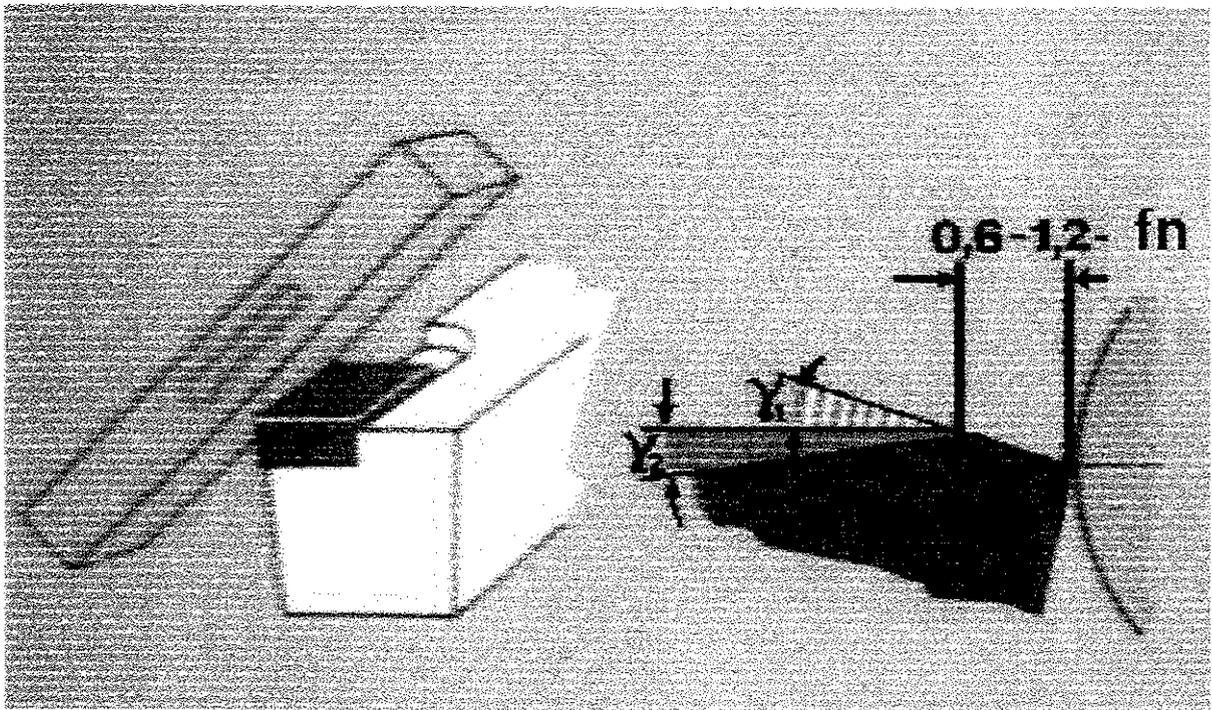


Figura 34 Exemplo de chanfro de aresta para ferramenta soldada
(Sandvik, livreto nº 1 Fabricação e Desenvolvimento do Metal Duro pag 10)

2.3.2.8 Constituição da ferramenta de metal duro.

É comum encontrar, nos catálogos de ferramentas, referências sobre o grau de dureza e tenacidade das distintas classes de metal duro. Não raro, também é possível obter informações sobre os seus materiais constituintes, seja substrato ou revestimento. Essas informações auxiliam na escolha e adequação da ferramenta ao processo de usinagem que se deseja executar.

O metal duro é composto de carbonetos metálicos em forma de minúsculas partículas que são incrustadas em metal ligante. Os componentes mais importantes são o carboneto de tungstênio (WC) denominado fase α e o metal ligante cobalto (Co) denominado fase β . A fase α determina a resistência ao desgaste, enquanto a fase β determina a tenacidade.

Entre as duas propriedades, existe uma relação inversamente proporcional, ou seja, uma alta resistência ao desgaste somente pode ser obtida com a redução da tenacidade e vice versa.

No passado, ocorria o seguinte com as classes convencionais de metal duro, quanto maior a fase α , mais alta era a resistência ao desgaste e quanto maior a fase β , mais alta era a tenacidade. Esta relação entre as propriedades sempre apresentou um grande problema, pois diferentes materiais e tipos de usinagem exigiam diferentes classes de metal duro.

Classes com diversas resistências ao desgaste e tenacidade eram desenvolvidas para cobrir todas as necessidades, modificando-se os teores de constituintes duros e metal ligante.

A formação dos cavacos varia conforme o material usinado. Existem materiais como o ferro fundido que produzem cavacos curtos. Outros como o aço carbono produzem cavacos longos. A cada distinto processo de formação de cavacos corresponde um específico tipo de desgaste de ferramenta.

Os materiais que produzem cavacos curtos, por exemplo, causam principalmente desgastes frontais na face de folga, enquanto os de cavacos longos causam particularmente craterizações na face de saída da ferramenta. O desgaste frontal se origina de um processo predominantemente abrasivo. A craterização é proveniente da combinação dos esforços de corte, aliada ao atrito e a abrasão proporcionados pela formação dos cavacos. Essa combinação de fatores promove altas temperaturas na zona de corte que, por sua vez, contribuem para a ocorrência de fenômenos de degeneração da aresta cortante.

Exemplo desses fenômenos é a diminuição da dureza da ferramenta e a formação de carbonetos de ferro, decorrentes da difusão atômica originária da migração de átomos de carbono da ferramenta para os cavacos retirados da peça usinada. Quanto maior a temperatura na zona de corte, maior será a tendência a geração mais rápida de desgastes. Esse é um dos motivos que faz do metal duro um material de ferramenta tão peculiar, pois uma de suas propriedades mais interessantes é a manutenção da dureza mesmo em temperaturas elevadas.

O material constituinte da ferramenta, portanto, é desenvolvido em função dos efeitos geradores de desgastes originários das distintas características de formação de cavacos de cada tipo de material.

Apesar de o carboneto de tungstênio (WC) fase α , e o cobalto (Co) fase β , serem os componentes mais importantes, com o tempo, outros componentes foram adicionados a essa composição básica. A adição de carbonetos de titânio (TiC), tântalo (TaC) e nióbio (NbC) denominados fase γ , melhoraram muito a performance das ferramentas de metal duro desde quando utilizados pela primeira vez no final dos anos sessenta.

A introdução desses novos componentes proporcionou uma maior abrangência dos campos de aplicação das classes até então existentes, de forma que as novas classes conjugavam propriedades de resistência ao desgaste e tenacidade ao mesmo tempo. Com propriedades mais equilibradas, foi possível desenvolver classes que podiam se adequar a um leque maior de operações e materiais.

Por serem carbonetos mais estáveis, os carbonetos de titânio (TiC) foram adicionados para aumentar a resistência à craterização, enquanto os carbonetos de tântalo (TaC) e nióbio (NbC) deram mais tenacidade ao metal duro.

Um maior teor de carbonetos eleva a dureza da ferramenta e a torna mais adequada para operações de acabamento, que são operações mais leves, executadas em altas velocidades, pequenas profundidades de corte e avanços reduzidos, exigindo, portanto, muito mais da dureza da ferramenta.

Quanto maior o teor de cobalto da ferramenta, mais adequada às operações de desbaste, que são operações comumente executadas em velocidades de corte mais baixas, com altas profundidades e avanços maiores. Assim sendo, essas operações geram grandes esforços sobre a ferramenta e por isso demandam maior tenacidade.

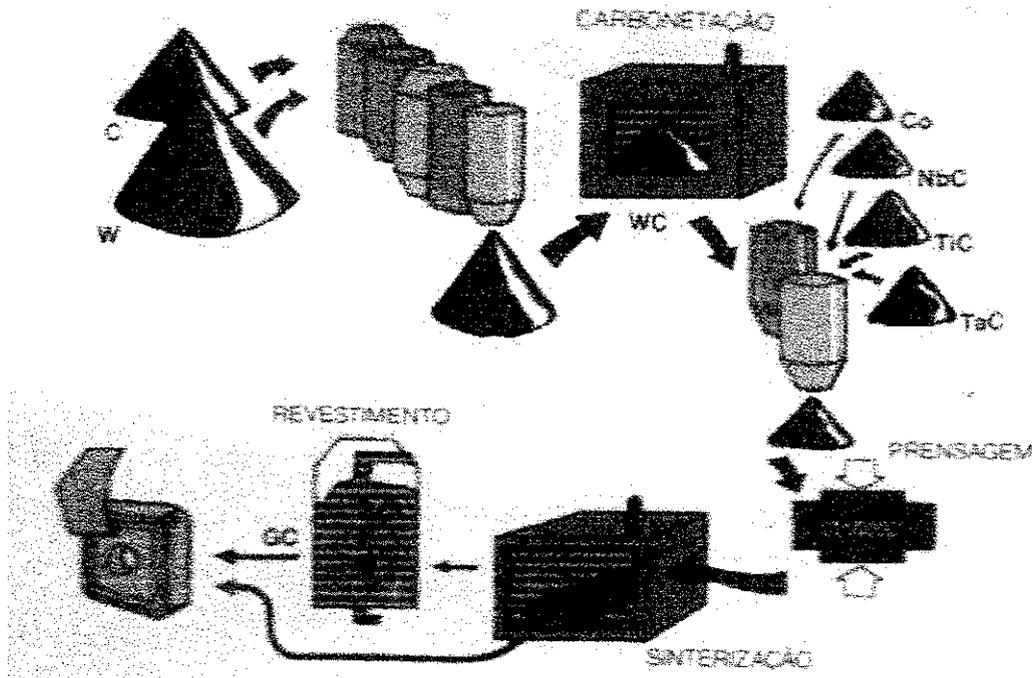


Figura 35: Esquema do processo de fabricação do Metal Duro
(Sandvik, livreto nº 1 Fabricação e Desenvolvimento do Metal Duro pag 12)

2.3.2.9 Revestimentos em pastilhas de metal duro

A relevância de se estudar as funções dos revestimentos implica na escolha ótima da ferramenta em prol de uma produtividade máxima.

A tecnologia de revestimento de pastilhas de metal duro teve início nos anos sessenta. Foi descoberto que o carboneto de titânio (TiC) pode unir-se ao núcleo de metal duro de uma pastilha convencional, por meio de um processo de deposição química, conhecido como **CVD** (Chemical Vapour Deposition).

O revestimento costuma ser extremamente fino medindo de 3 a 5 microns de espessura, porém, sua aplicação proporcionou uma performance bastante superior `a vida do fio de corte das pastilhas de metal duro.

Apesar de no início os revestimentos serem simples, a tecnologia do revestimento evoluiu até as pastilhas multi revestidas que chegam a ter diversas camadas sobrepostas onde cada uma delas exerce uma função específica a fim conter os diferentes processos de desgaste da ferramenta que se desenvolvem durante a usinagem.

Atualmente, uma única pastilha em uma determinada classe, pode ser aplicável tanto em acabamento quanto em desbaste de metais, que podem variar desde o aço carbono ou mesmo inoxidável até o ferro fundido.

Desse modo, uma menor quantidade de classes atende as demandas de uma maior gama de diferentes materiais e operações. Se por um lado as classes mais abrangentes não são tão eficazes quantos as classes mais específicas, por outro lado, não é necessário manter um inventário tão volumoso para dar conta da produção. A adoção de uma ou de outra solução é, portanto, uma questão de custo versus benefício.

De modo geral, pode-se adiantar que, produções em massa de uma mesma peça estão mais para classes específicas, enquanto produções caóticas, com lotes variados em volume, forma e material de peças, estão mais para as classes mais abrangentes.

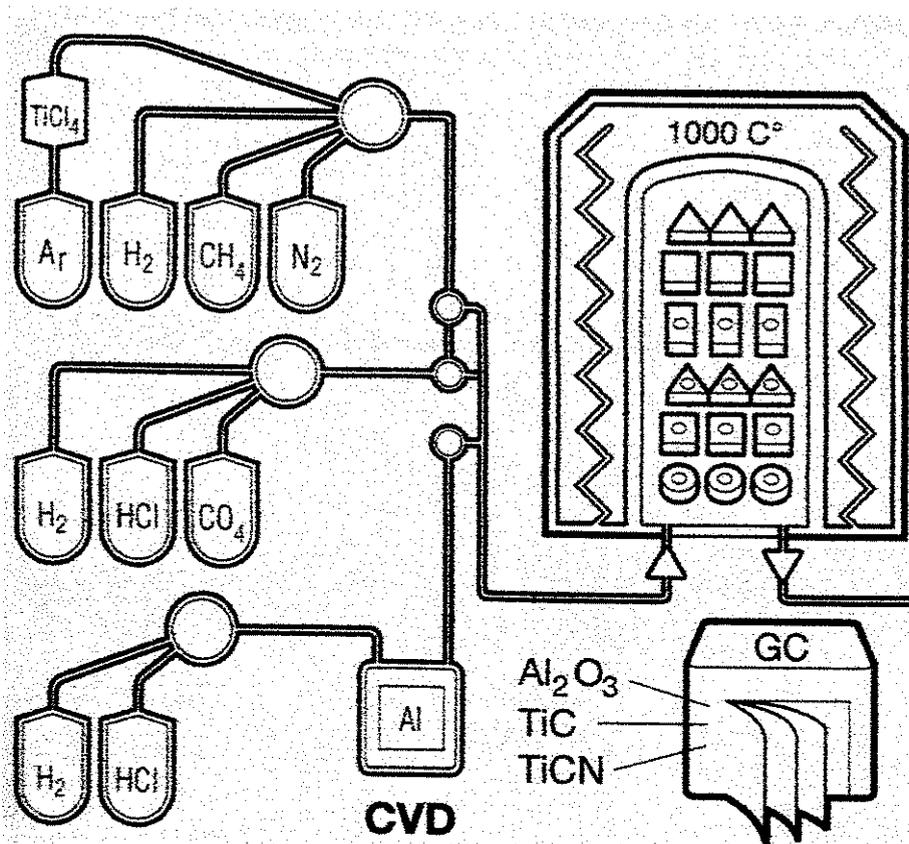


Figura 36: Processo de revestimento CVD (Chemical Vapour Deposition) (Sandvik, Modern metal Cutting, pag III-19-20; 1994)

2.3.2.10 Funções das diferentes camadas de revestimento

Em uma pastilha multirevestida, cada camada desempenha uma função específica na contenção do processo de desgastes. O resultado dos efeitos promovidos por tais camadas é o aumento da vida da ferramenta.

Um exemplo de multi revestimento encontra-se nas pastilhas que do substrato para fora possuem camadas sobrepostas de carbonitreto de titânio (TiCN), alumina (Al₂O₃) e nitreto de titânio (TiN).

A camada de TiCN tem excelente resistência aos desgastes e também funciona como elemento de liga com o núcleo, além disso a presença do nitrogênio (N) contribui para a formação de um gradiente de dispersão do carbono que costumava se acumular sob a primeira camada de revestimento, como ocorria anteriormente com as camadas de TiC. O acúmulo de carbono em pontos dispersos sob a primeira camada tornavam a pastilha frágil aos cortes intermitentes.

A camada intermediária de Al₂O₃, que é uma camada inorgânica pois não contém carbono, garante a estabilidade necessária com temperaturas elevadas e aumenta a resistência ao desgaste por abrasão que é bastante incidente nas usinagens de ferros fundidos.

A camada externa de TiN, funciona como uma espécie de lubrificante sólido reduzindo o atrito entre a superfície da pastilha e os cavacos.

Outras combinações são possíveis como no caso de alguns fabricantes que, por exemplo, sobrepõem sucessivamente camadas de nitreto e carboneto de titânio (TiN e TiC) superando o número de três camadas que é o mais comumente encontrado.

2.3.2.11 Sistema de classificação e escolha da classe de metal duro

Independentemente do tamanho do lote de peças a ser usinado, a escolha correta da classe de metal duro é fundamental para que se obtenha a maximização da produtividade, ou seja, não adianta determinar X e K de Taylor para se obter a máxima velocidade de corte possível para uma classe de metal duro inadequada ao material, operação e condições em que se vai usar.

Cada tipo de operação tem um grau de severidade e solitação mecânica em usinagem. Afim de melhor atender tais solicitações foram desenvolvidas diferentes classes de metal duro mediante variadas combinações dos carbonetos metálicos que, aliadas as distintas geometrias de corte e quebra cavacos, determinam o grau de abrangência de uma determinada classe de metal duro.

Hoje em dia existem dois sistemas de classificação: o sistema ISO, utilizado internacionalmente, e o sistema C americano, de aplicação nos Estados Unidos. Eles não são muito similares, porém o sistema ISO é mais completo. Por esta razão ficará mais claro descrever o sistema ISO e depois relacioná-lo com o sistema C.

Foram estabelecidos três campos de aplicação —**P**, **M** e **K**—, que se referem aos distintos materiais a usinar. O campo **P** abrange principalmente os aços que geram cavacos longos; o campo **M** que se destina as ligas de difícil usinabilidade e materiais resistentes ao calor, enquanto o campo **K** compreende materiais de cavacos curtos ou escamas de fundição.

Estes campos são graduados seguindo simultaneamente dois princípios: as exigências de usinagem e as condições favoráveis ou desfavoráveis de corte.

Quanto menor o valor da graduação, mais dura e resistente ao desgaste será a classe, e por este motivo mais indicada para usinagens em condições favoráveis. Quanto maior o valor da graduação, a classe será mais tenaz e resistente aos choques mecânicos e elevadas pressões de corte, portanto recomendada para usinagens em condições desfavoráveis.

Entenda-se por condições favoráveis a boa rigidez da máquina, a fixação eficiente da peça e da ferramenta, a regularidade e uniformidade do sobre metal; enfim, tudo aquilo que possa contribuir para a estabilidade do conjunto máquina/ ferramenta/ peça durante a usinagem. Por condições desfavoráveis entenda-se o contrário disso. Com base no acima exposto, pode-se afirmar que uma classe P15 é mais indicada para operações de acabamento em aço, enquanto uma classe P35 é mais indicada para desbastes nesse mesmo material, também uma classe K10 é

adequada para a usinagem em acabamento de ferros fundidos ao tempo em que uma K20 é melhor para operações de desbaste deste mesmo metal e assim por diante.

Para uma melhor performance didática quando da orientação de operadores ou preparadores de máquinas, pode-se utilizar da seguinte metáfora:

As graduações das classes de metal duro assemelham-se a performance atlética do homem em função de sua respectiva idade, ou seja, um garoto de 15 anos, de maneira geral, é muito esperto, corre muito e leva grande vantagem nos lançamentos em profundidade em um jogo de futebol, pois o seu ponto forte é a velocidade e a resistência física, contudo, apesar da velocidade e da resistência, não serve para serviços pesados como carregar pianos ou pedras, pois o que ganham em velocidade, perdem em força. Assim, para serviços pesados é melhor designar um homem mais maduro e forte, digamos um senhor de 35 anos que apesar de perder em velocidade para os garotos de 15 anos, são por eles imbatíveis nos momentos em que a força se faz necessária. Homens de 35 anos são mais lentos, porém mais fortes.

Tendo-se em conta as habilidades dos homens de 15 e 35 anos, conclui-se que os rapazes de 25 anos podem atender razoavelmente bem às duas necessidades de velocidade e força, ou seja, quando não se tem bem definido o tipo de trabalho a ser executado, ou quando a variação entre serviços leves e pesados é acentuada, um a boa opção é valer-se de um trabalhador de 25 anos.

Da mesma forma pode-se pensar sobre as classes de metal duro. Uma classe P,M ou K 15 servem para usinagens leves (profundidades de corte de até 2,5 mm e avanços de até 0,2 aprox..) onde se deve trabalhar com velocidades de corte mais altas e pastilhas mais resistentes ao desgaste, enquanto as classes P,M ou K 35 servem para usinagens mais pesadas (profundidades de corte de até 10 mmm e avanços de até 0,7 mm aprox.) onde se deve utilizar velocidades mais baixas e pastilhas mais tenazes resistentes aos choques mecânicos e maiores pressões de corte. Obviamente para operações onde as profundidades e condições favoráveis e desfavoráveis de usinagem se alternam continuamente é melhor se utilizar uma classe mais versátil, portanto P,M

ou K 25 que trabalham com velocidades de corte moderadas e resistem moderadamente aos desgastes e pressões de corte.

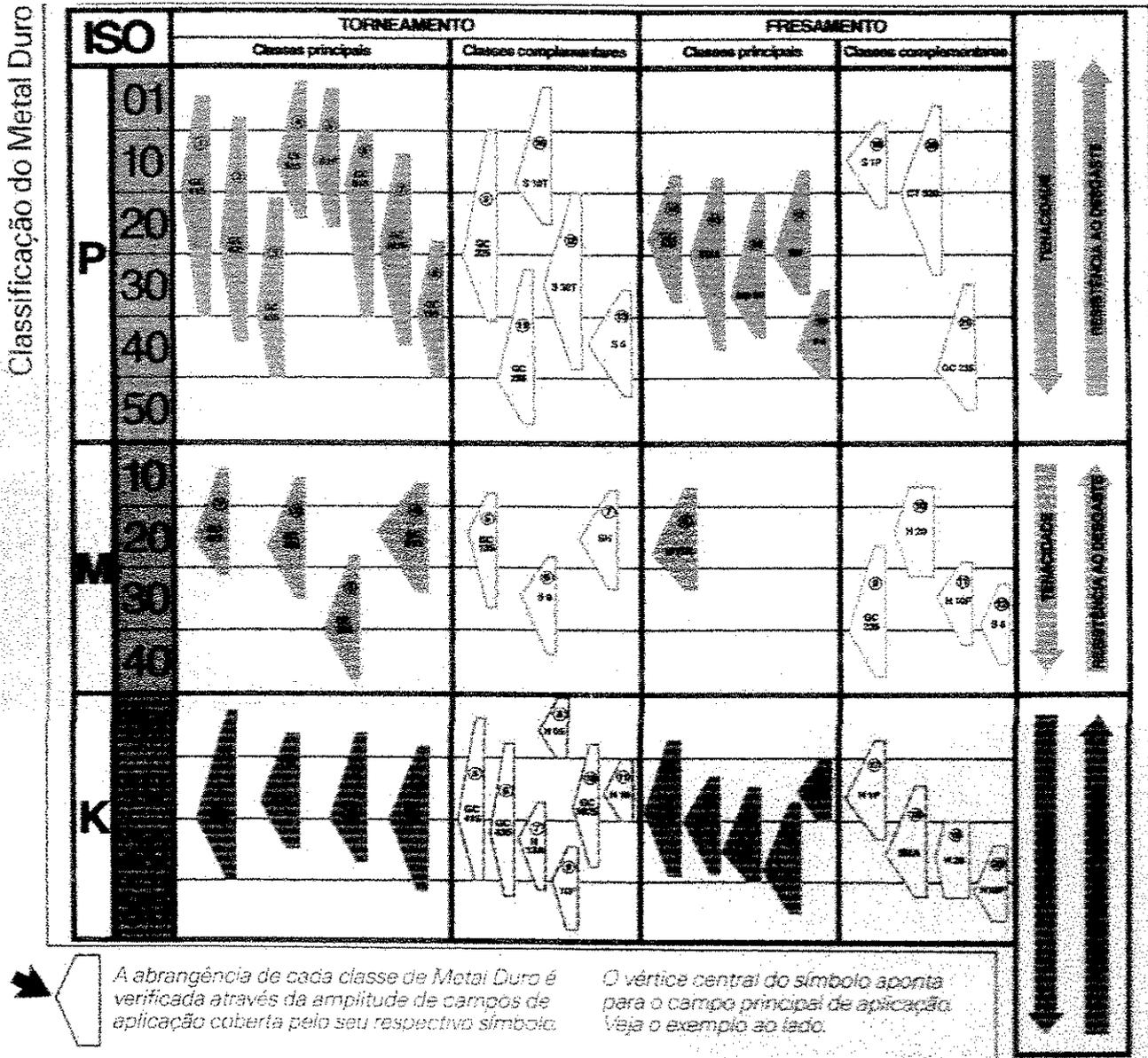
No sistema **C** americano as classes de metal duro para fundição encontram-se nos campos que vão de **C1** até **C4**, como no campo **ISO K**, e continuam com **C5** até **C8** para as classes indicadas para a usinagem de aços em geral, como no campo **ISO P**. No sistema **C** não é feita uma distinção para materiais inoxidáveis, ligas especiais e resistentes ao calor como se faz com o campo **ISO M**, portanto estes materiais são abrangidos parte no campo que vai de **C1** a **C4** e parte no campo que vai de **C5** a **C8**.

Os catálogos técnicos e comerciais dos fornecedores costumam trazer um mapa com todas as classes que esses produzem, contendo informações sobre a aplicação de cada uma delas.

A abrangência de aplicação de cada classe é demarcada no referido mapa de classes de maneira que existem classes que cobrem campos de aplicação que vão desde **P05** até **P30** com seu ponto principal de aplicação em **P15**. Num caso desses, por exemplo, isto significa que tal classe pode ser utilizada desde operações de acabamento até operações de desbaste, porém como o mapa sugere o ponto principal de aplicação em **P15**, o melhor rendimento será obtido quando da aplicação da classe em operações medianas de usinagem, ou seja, profundidades de corte e avanços médios (de 1 a 3,5 mm de profundidade de corte e avanços por rotação de 0,1 a 0,3 mm por rotação).

Tabela 3: Classificação do Metal Duro

(Sandvik, livreto nº 2 pag 4, Desgastes das Ferramentas, 1989)



Quanto menor a abrangência de aplicação de uma determinada classe, obviamente mais específica se torna a sua utilização. As classes adequadas para usinagem de alumínio por exemplo, são específicas e sua aplicação concentram-se na usinagem deste tipo de material, portanto, se uma empresa usina basicamente o alumínio, deveria adotar esta classe específica, por outro lado, uma empresa que usina materiais diversos em operações que variam de usinagens

leves a pesadas, teria vantagens na escolha de classes de metal duro mais abrangentes, pois, conforme citado anteriormente, quanto maior a abrangência menor o inventário, ou seja, se houvesse uma classe que usinasse qualquer material, não haveria a necessidade de se ter uma mesma pastilha em diferentes classes para a usinagem de materiais diversos o que consolidaria uma significativa redução dos custos com ferramentas.

A escolha da classe de metal duro correta é portanto imprescindível para se maximizar a produtividade em usinagem. É necessário que o usuário tenha conhecimento da aplicação de cada uma delas para não incorrer em uma escolha inadequada, conseqüentemente improdutivo.

É sempre interessante procurar a classe mais dura possível que ao mesmo tempo suporte a severidade de uma dada operação, ou seja, a classe deve ser suficientemente tenaz para resistir impactos mecânicos, porém a mais rígida possível para garantir a melhor resitência aos desgastes e assim proporcionar maior vida útil.

Cabe ao analista do processo de usinagem a tarefa de optar pela classe que proporcione o maior volume de produção, no menor tempo de usinagem, com um mínimo de paradas de máquinas para se repor arestas desgastadas. Para esse trabalho deve-se levar em conta as exigências do desenho da peça, tais como acabamento e tolerâncias, o material a ser usinado, o sobremetal a ser removido, as condições operacionais favoráveis ou desfavoráveis do conjunto, máquina, ferramenta e peça. Também deve considerar o volume de produção afim de apurar o custo benefício de se investir em um ferramental mais adequado ao tamanho do lote. Além disso atribui-se também ao analista, a busca, entre os tantos fornecedores, daquele que forneça a tal classe desejada nas melhores condições comerciais de fornecimento.

2.3.2.12 Tamanho e espessura de pastilha de metal duro

Quanto maior a profundidade e o avanço de corte, mais robusta deve ser a pastilha de metal duro para suportar as pressões e as forças de corte sem que ocorram avarias em sua estrutura.

Como regra prática, os especialistas em fabricação e aplicação de ferramentas, recomendam que não se utilize mais do que dois terços ($2/3$) do comprimento útil de uma aresta de corte no caso de operações de usinagem em desbaste. Por outro lado, quando em operações de acabamento recomendam que a profundidade de corte não seja superior a um quarto ($1/4$) do comprimento útil da aresta de corte da pastilha. Esta regra, entretanto, não é determinante, o desenho do quebra cavacos pode, por exemplo, limitar a profundidade de corte de acabamento para menos de um quarto ($1/4$) da aresta, dependendo do campo de aplicação em termos de avanços e profundidades para os quais o seu respectivo perfil foi desenvolvido.

Na ausência de recomendações específicas, principalmente quando os manuais técnicos do fornecedor de ferramentas não estiverem ao alcance das mãos, a regra prática passa a ser uma referência interessante, pois é melhor do que se trabalhar confiando na sorte.

A medida em que se aumenta a profundidade e o avanço de corte é recomendável que também se aumente o tamanho e a espessura da pastilha. A norma ISO prevê diferentes espessuras e tamanhos de pastilhas, e portanto, há uma grande variedade delas no mercado.

Recomenda-se, que a escolha do tamanho da pastilha seja feita de modo que a profundidade de corte a ser usinada possa ser bem suportada pela pastilha, porém, sem desperdícios. Não se deve, por exemplo, utilizar uma pastilha de 9mm de aresta e 2mm de espessura para remover uma profundidade de corte de 7mm com avanço por rotação igual a 0,35mm, pois é uma carga muito pesada para tal pastilha, por outro lado, uma pastilha com 25mm de aresta e 9 mm de espessura é demasiadamente grande para o mesmo esforço.

Assim, aplicar uma pastilha pequena, conseqüentemente frágil, em uma operação de desbaste significa por em risco a segurança da operação, uma vez que a qualquer momento poderá ocorrer uma avaria na aresta de corte. Da mesma forma, utilizar uma pastilha grande para operações de acabamento consiste em desperdício.

Com base no parágrafo anterior, poder-se-ia estabelecer uma relação científica entre parâmetros de corte e dimensionamento de pastilhas, mas o objetivo do trabalho não é este, quer-se, contudo, chamar a atenção para o bom senso quando da escolha da ferramenta, pois, se não se recomenda a utilização de mais de 2/3 da aresta de uma pastilha em operações de desbaste, num outro sentido, não se deve, também, tomar uma pastilha para desbaste e dela se utilizar apenas 1/4 da aresta, seria melhor redimensionar a pastilha.

Grande parte do custo de uma pastilha de metal duro está na matéria prima da qual essa é constituída (cobalto e carbonetos metálicos) e outra parte no processo de fabricação, portanto, ao se escolher uma pastilha desnecessariamente maior, está se encarecendo o custo da usinagem com a utilização de uma pastilha mais cara, quando uma de menor tamanho e, portanto, de menor custo, poderia atender a necessidade. Quanto maior a pastilha, maior o volume de matéria prima e maior o tempo de processo. Maiores arestas correspondem, por exemplo, a um maior tempo de retificação. Apesar de esse não ser um critério absoluto para o estabelecimento de custos e preços de uma pastilha, é o que acontece na maioria dos casos.

Uma pastilha de massa maior pode dissipar melhor o calor, resistindo melhor aos desgastes por difusão atômica, além de resistir melhor a intermitência de corte, comuns nas usinagens em desbaste e, portanto, aumenta a vida útil da ferramenta, contudo, em operações de acabamento, com profundidades e avanços de corte pequenas as dimensões da pastilha também podem ser reduzidas, sem que o seu rendimento seja prejudicado.

2.3.2.13 Comprimento efetivo da aresta de corte

Para a seleção correta do tamanho da pastilha deve-se considerar a maior profundidade de corte, " a_p ", a ser removida pela pastilha, ao mesmo tempo deve-se determinar o comprimento efetivo necessário da aresta de corte, " l_a ", levando-se em conta para isso também o ângulo de posição " κ_r " do porta-pastilhas. Após essas observações e com o uso da tabela 4, pode-se facilmente encontrar o comprimento mínimo necessário de aresta de corte, " l_a ", e assim saber que

tamanho de pastilha poderá melhor atender a demanda proveniente de uma dada condição de usinagem que se deseja executar.

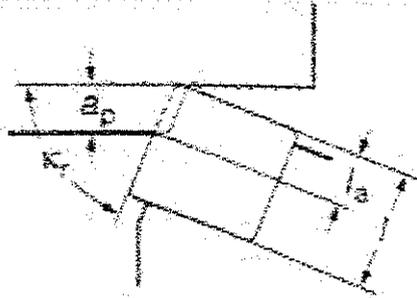
A tabela 5 com diferentes formatos básicos de pastilhas, apresenta os valores máximos proporcionais ao comprimento de cada respectiva aresta de corte, que deveriam ser utilizados para proporcionar maior confiabilidade nas usinagens de corte contínuo em desbastes. Cortes mais profundos podem ser admitidos desde que momentâneos, pois a persistência de uma sobrecarga poderá ocasionar quebras e avarias na pastilha.

Se o comprimento efetivo da aresta da pastilha for menor que a profundidade de corte que se deseja remover em uma única passada, deve-se selecionar uma pastilha maior, caso contrário, um maior número de passadas será necessário.

Quando em fim de corte de um torneamento longitudinal de uma peça com diâmetros escalonados, é possível que ao fim do torneamento de um diâmetro menor, a aresta cortante encoste, a 90° , na face do diâmetro subsequente, aumentando momentanea e demasiadamente a profundidade. Nesse caso convém avaliar a necessidade de uma pastilha maior ou o acréscimo de uma operação de pré faceamento do diâmetro posterior a fim de se manter a segurança da operação.

Tabela 4: Comprimento efetivo da aresta de corte

(Catálogo Sandvik C-1000:6-POR, Ferramentas para Torneamento pag A147,1998)

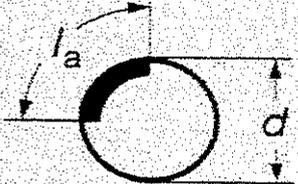
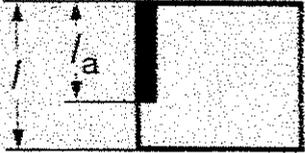
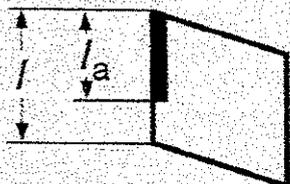
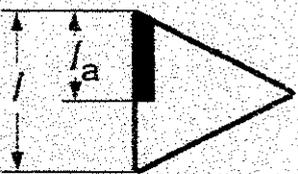
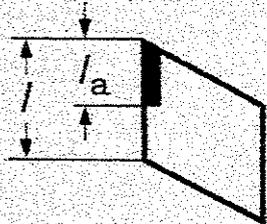
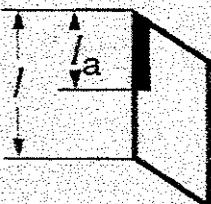
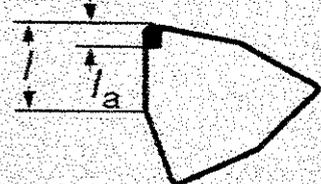
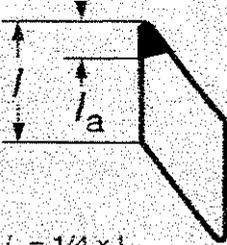


l_a = aresta de corte afetiva

l = comprimento da aresta de corte

Ângulo de posição K_r	Profundidade de corte (a_p) mm										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
	Comprimento efetivo da aresta de corte (l_a) mm										
90	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
105	1,04	2,1	3,1	4,1	5,2	6,2	7,3	8,3	9,3	11	16
120	1,16	2,3	3,5	4,7	5,8	7	8,2	9,3	11	12	18
135	1,4	2,9	4,3	5,7	7,1	8,5	10	12	13	15	22
150	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	30
165	4	8	12	16	20	24	27	31	35	39	58

Tabela 5: Tabela de comprimento útil de aresta das pastilhas de metal duro
 (Catálogo Sandvik C-1000:6-POR, Ferramentas para Torneamento pag A147, 1998)

 <p>$l_a = 0.4 \times d$</p>	 <p>$l_a = 2/3 \times l$</p>
 <p>$l_a = 2/3 \times l$</p>	 <p>$l_a = 1/3 \times l$</p>
 <p>$l_a = 1/2 \times l$</p>	 <p>$l_a = 1/2 \times l$</p>
 <p>$l_a = 1/2 \times l$</p>	 <p>$l_a = 1/4 \times l$</p>

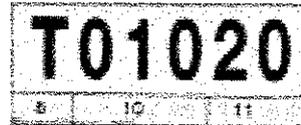
Os valores máximos recomendados na tabela destinam-se a proporcionar confiabilidade na usinagem para cortes contínuos de desbaste. Cortes mais profundos podem ocorrer por um período mais curto.

2.3.2.14 Códificação de pastilhas

O formato da pastilha pode ser definido de acordo com as normas ISO (International Standardization Organization), como se pode verificar na tabela 6. Para a, quase, totalidade das necessidades em usinagem, já existe uma pastilha desenvolvida e padronizada que poderá atender a alguma necessidade específica, portanto, não deverá o usuário se valer da tabela para criar novas versões de pastilhas, antes de verificar a já existência de um item padronizado que possa atender sua necessidade. Itens fora do padrão sempre são mais caros e geralmente não se encontram a pronta entrega.

Tabela 6 Codificação de Pastilhas

(Catálogo Sandvik C-1000:6-POR, Ferramentas para Torneamento pag A2-3, 1998)



1 Formato da pastilha

80° C	25° D
55° K	R
S	T
35° V	30° W

2 Ângulo da folha

B 5°	C 7°
E 25°	N 0°
P 11°	O Descrição específica

3 Tolerâncias ± para ± ICMM

Classe ±	IC / MM	
Q	±0,025	
M	±0,05 - ±0,157	
U	±0,08 - ±0,25 ¹⁾	
^{1) Depende do formato do IC. Ver classe.}		
Círculo inscrito		Tolerância da classe
ICmm	M	U
1,97		
2,0		
2,58		
4,0	±0,06	±0,08
4,35		
4,5		
4,525		
IC0		
12,0	±0,08	±0,13
12,7		
15,875		
16,0	±0,10	±0,15
18,05		
20,0	±0,13	±0,25
25,0		
25,4	±0,15	±0,25
31,75		
32,0		

Para pastilhas positivas IC é válido para um canto vivo. Ver as condições da aresta de corte F (Figura 8).

5 Tamanho da pastilha ± comprimento da aresta de corte, f mm

IC mm	IC inch	C	D	R	B	F	V	W	K
3,97	5/32"					05			
5,0				05					
5,58	7/32"					08			
6,0				08					
6,35	1/4"	05	07			11	11		
8,0				08					
8,525	3/8"	09	11	08	08	15	15	08	16 ¹⁾
10,0									
12,0									
12,7	1/2"	12	15	12	12	22	22	08	
15,875	5/8"	18		15	15	27			
18,0				18	18				
18,05	3/4"	18		18	18	33			
20,0				25					
25,0				25					
25,4	1"	25		25	25				
31,75				31					
32				32					

¹⁾ Para pastilhas de formato K/KNMX, K/NUQ, só o comprimento teórico da aresta de corte é mostrado.

6 Tipo de pastilha

A	Q
G	R
M	T
N	W
X Desenho especial	

2.3.2.15 Escolha do formato da pastilha

O formato da pastilha deve ser selecionado em função do ângulo de posição necessário e das exigências de acessibilidade e versatilidade que a peça a ser executada imponha a ferramenta. Quanto maior puder ser o ângulo de ponta, maior robustez e resistência a quebras terá a ponta da pastilha, contudo, quanto maior o ângulo de ponta, menor se torna a versatilidade da pastilha, principalmente, na execução de perfis em declive ou muito sinuosos.

Quando do torneamento de perfis ou cones, o ângulo máximo em cópia não deve exceder o ângulo de posição secundário do porta ferramentas a fim de evitar a colisão do corpo do porta ferramentas com a peça. Recomenda-se uma folga mínima de 2° entre estas superfícies. A figura 2.3.8 apresenta um exemplo dessa aplicação. Em casos como esse, é recomendado, portanto, que se encontre a pastilha mais robusta possível em termos de ângulo de ponta, mas que ao mesmo tempo permita no mínimo um ângulo secundário de posição de pelo menos 2° .

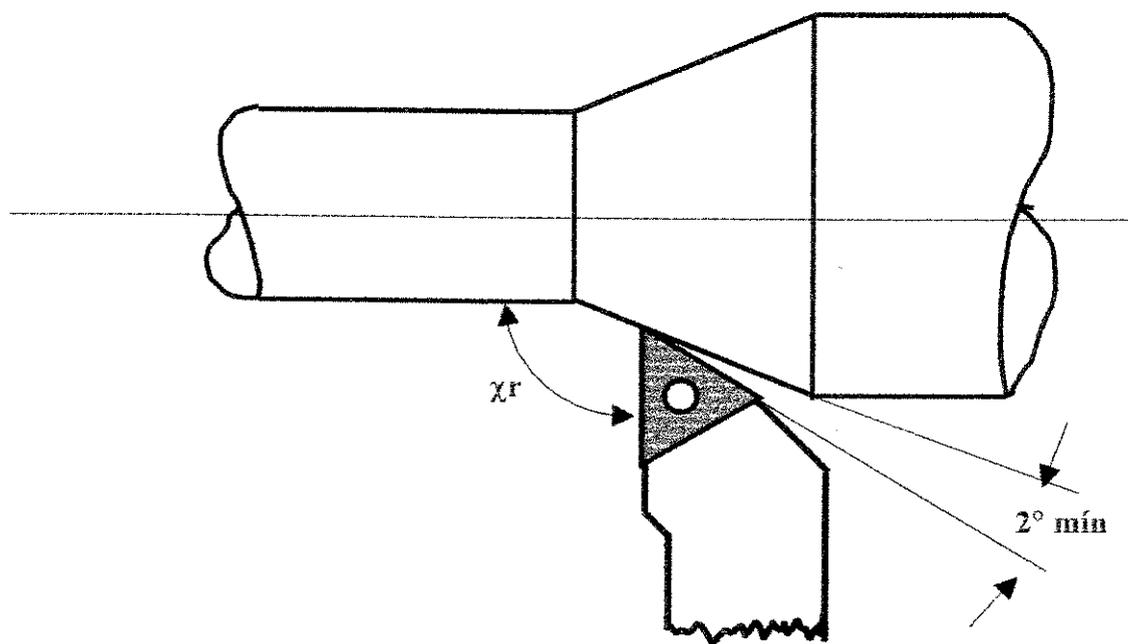
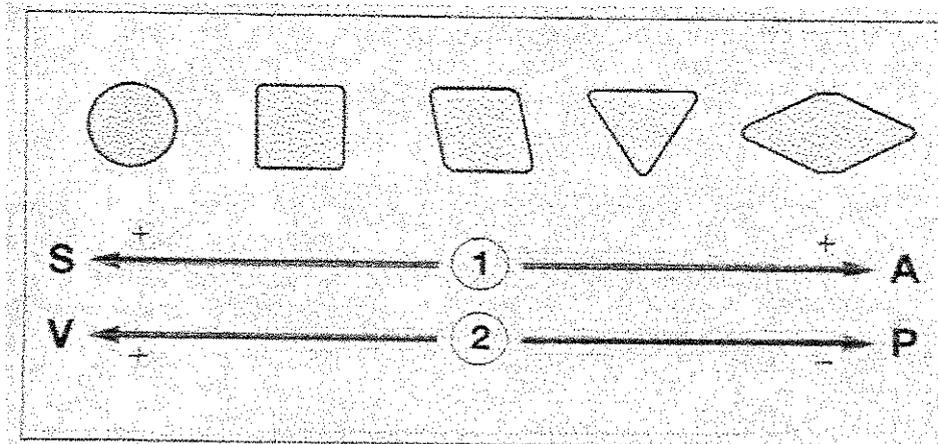


Figura 37: Ângulo secundário de folga mínima para usinagens em declive

De maneira genérica as pastilhas redondas são mais indicadas para operações onde se exija alta resistência da aresta, como na usinagem de materiais endurecidos (acima de 58HRC), ou ainda em desbastes pesados, como ocorre na usinagem de perfis de rolos laminadores em tornos de alta potência (100 CV por exemplo). Já as pastilhas de pontas finas proporcionam maior versatilidade a usinagem devido ao fato de poderem acessar partes mais profundas de um perfil, a exemplo do que ocorre na execução do encaixe "V" de uma polia.

Quanto menor o ângulo de ponta, menor a quantidade de arestas de corte possíveis na pastilha e vice-versa, de modo que a maior quantidade de arestas possível em uma pastilha se encontra na pastilha redonda, pois quanto menor for a profundidade a qual ela se submeter, maior será o número de arestas proporcionadas, bastando girá-la até uma outra região do fio de corte ainda não desgastada para se obter uma nova aresta.

O formato da pastilha também influi na produtividade do sistema de usinagem e, portanto, para a se obter os melhores resultados este fator deve ser considerado.



A figura mostra pastilhas com os ângulos de ponta mais comuns, da pastilha redonda à de ponta de 35 graus.

Escala 1 indica que com relação à resistência da aresta de corte (S), quanto maior o ângulo de ponta à esquerda, maior a resistência. Com relação à versatilidade e acessibilidade (A), as pastilhas à direita são superiores.

Escala 2 indica que a tendência à vibração (V) aumenta para a esquerda enquanto a exigência de potência (P) é mais baixa para a direita.

Figura 38: Formas de pastilha versus acessibilidade, robustês e vibrações

A tabela 38 mostra pastilhas com ângulos de ponta mais comuns, de onde também interpreta-se as seguintes escalas:

Escala 1: Indica que quanto mais para a esquerda maior a robustês da pastilha (*Strength*) e quanto mais para a direita maior a possibilidade de se acessar perfis mais estreitos e declives mais acentuados (*Accessibility*).

Escala 2: Indica que quanto mais para a esquerda maior será a tendência a vibrações (*Vibration*) ao passo em que quanto mais para a direita menor será o consumo de potência (*Power*).

O formato da pastilha deve ser selecionado em função do ângulo de entrada necessário e das exigências de acessibilidade e versatilidade da ferramenta.

Sempre se deve selecionar o maior ângulo de ponta possível pois quanto maior ele puder ser maior será a resistência da pastilha e, assim, poderá proporcionar maior economia, entretanto, dependendo das variações nas profundidades e nos perfis a serem usinados, deve-se combinar resistência de ponta contra quebras versus versatilidade de acesso as regiões da peça às quais se quer usinar, assim, quanto maior o declive a ser copiado, quanto maior o ângulo de rampa, menores ângulos de ponta serão necessários.

2.3.2.16 Raio de Ponta

A produtividade em uma operação de usinagem também está a depender da interrelação raio de ponta e avanço por rotação da ferramenta. Um raio pequeno não é recomendado para grandes avanços. Um grande esforço de avanço sobre um raio pequeno provoca uma superfície usinada pobre em acabamento e ainda põe em risco de quebra a ponta da pastilha. Por outro lado, um raio maior garante um mesmo grau de acabamento com avanços mais generosos, contudo, aumenta consideravelmente o risco de se incorrer em vibrações.

A escolha adequada de raios de ponta e avanços são, portanto, fatores que influenciam a produtividade e a qualidade da superfície usinada. Independentemente do tamanho do lote é importante que o analista encarregado da elaboração do processo de usinagem faça a escolha certa.

O raio de ponta é um fator chave com relação a resistência da pastilha aos esforços de corte, principalmente nos desbastes e além disso influenciam diretamente a textura superficial no acabamento.

Para uma operação de desbaste recomenda-se o maior raio de ponta possível, para se obter uma aresta de corte robusta. Um raio de ponta maior permite avanços maiores. Para desbastes, portanto, os raios mais frequentemente utilizados são 1,2 e 1,6 mm.

Supondo-se que a troca de um raio permita a alteração do avanço de 0,30 para 0,36 mm por rotação, mantendo-se a mesma rugosidade superficial anterior. Apesar de parecer pouco, nesse caso, esses 0,06 mm a mais por rotação estariam aumentando a velocidade de avanço em 20%, o que, em certas ocasiões, poderia contribuir para um aumento quase que proporcional da produção horária

Caso ocorram vibrações durante a usinagem, uma das providências a serem tomadas é verificar a possibilidade de se utilizar um raio menor, pois raios menores oferecem menos tendência a esse tipo de ocorrência uma vez que proporcionam menores esforços de corte. Como visto anteriormente, vibrações, nem sempre são uma decorrência direta da utilização de um raio inadequado. Uma ferramenta mal fixada ou fora de centro, ou ainda com um braço de alavanca excessivo também contribuem para esse tipo de ocorrência

2.4. Seleção dos parâmetros de corte

Ao se iniciar a seleção dos parâmetros de corte é imprescindível ter certeza de que se escolheu a ferramenta correta para a usinagem a ser executada. Uma vez que se tenha garantido a

escolha correta da ferramenta e também se assegurado de que a mesma esteja em perfeitas condições de uso e que sua montagem na máquina tenha sido feita de maneira precisa, pode-se agora partir para a decisão sobre os parâmetros de corte.

As decisões sobre parâmetros de corte abrangem a determinação do avanço em milímetros por rotação “ f_n ”, profundidade de corte também em milímetros “ a_p ”, e a velocidade de corte em metros por minuto “ V_c ”. Toda a produtividade em usinagem estará a depender do quanto esses parâmetros poderão ser maximizados, portanto, deve-se procurar um ponto de viabilidade e equilíbrio entre a máxima velocidade, o máximo avanço por rotação e a máxima profundidade de corte que seja comportável pela potência da máquina, pela resistência ao desgaste da ferramenta e pela usinabilidade do material em função do sobremetal que se deseja remover.

2.4.1 Seleção do avanço por rotação

Os avanços podem ser divididos em avanços para desbaste e avanços para acabamento.

Nos desbastes o objetivo é remover todo o excesso de sobremetal da peça bruta, deixando-a o mais próximo possível do perfil final, de modo que reste apenas uma pré determinada e fina camada de sobremetal para um passe de acabamento.

Dependendo de quanto é o excesso de material, o desbaste pode necessitar de várias passadas, pois, a carga máxima de desbaste depende da potência da máquina, da rigidez da fixação e da capacidade da geometria da ferramenta na quebra e controle do fluxo de cavacos gerados nesse tipo de operação.

O objetivo mais comum é remover, se possível, todo o sobremetal em uma única passada, pois, toda vez que se dá uma passada extra sem necessidade, aumenta-se os custos de usinagem ao mesmo tempo em que se diminui a produtividade.

É imprescindível adequar o avanço ao tipo de acabamento requerido pelo desenho. Não se deve caprichar no acabamento quando isso não é necessário. Quando o acabamento final não exige superfícies lisas e com graus diminutos de rugosidade, qualquer cuidado extra para se refinar o acabamento resulta em perda de tempo e aumento desnecessário de custo.

Sempre que for possível se obter a peça acabada em uma única passada, assim deve ser feito, pois, esse é o caminho da otimização da produtividade. Produzir o máximo no menor espaço de tempo.

Nos acabamentos, como o próprio nome enfatiza, o objetivo é dar o último toque; é deixar a peça pronta de acordo com o desenho; remover todo o excesso restante de sobremetal da peça bruta, deixando-a no perfil final desejado em concordância com as exigências do desenho. Como exemplo de exigências de desenho, têm-se as tolerâncias dimensionais, rugosidade superficial, paralelismos, concentricidades, etc.

2.4.1 1. Seleção do avanço para desbastes

Os avanços para desbastes, naturalmente, promovem maiores esforços, dessa forma, a utilização de ângulos de posição menores do que 90° é recomendada, assim como, velocidades de corte moderadas, pois dessa maneira confere-se maior segurança contra avarias da aresta da pastilha, uma vez que a entrada da ferramenta em corte se dá de modo progressivo e o impacto da entrada da ferramenta no sobremetal a ser removido se distribui por um comprimento de aresta de corte maior. A necessidade de se baixar a velocidade de corte se deve ao alto consumo de potência quando se aumenta a profundidade de corte. O ângulo de posição sendo menor do que 90° , o ângulo de ponta da pastilha se torna naturalmente mais robusto para suportar os esforços do desbaste.

Ao se escolher o avanço para uma operação de desbaste, é essencial que os avanços máximos recomendados na referida tabela não sejam excedidos. Uma regra genérica para a escolha do avanço para desbaste é que o mesmo esteja entre $1/2$ e $2/3$ do raio de ponta.

Os avanços mais altos, recomendados para operações de desbaste, aplicam-se às pastilhas que tenham uma aresta de corte robusta, com pelo menos um ângulo de ponta de 60° e que sejam unifaciais, quer dizer, que tenham a face superior voltada para o corte e formação dos cavacos, enquanto a face inferior é dedicada exclusivamente a oferecer apoio para a pastilha durante o corte.

Tabela 6.1: Avanços recomendados para diferentes raios de ponta

(Catálogo Sandvik C-1000:6-POR, Ferramentas para Torneamento pag A148, 1998)

Indicação dos avanços máximos para vários raios de ponta

Raio de ponta (r_2) mm	0,4	0,8	1,2	1,6	2,4
Avanço máx. recomendado (f_n) mm/r	0,25–0,35	0,4–0,7	0,5–1,0	0,7–1,3	1,0–1,8

Para desbaste, os raios mais frequentemente usados são 1,2 — 1,6 mm.

2.4.1 2. Seleção do avanço para acabamentos

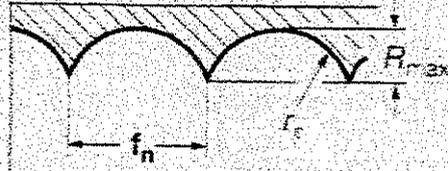
O acabamento superficial e as tolerâncias são afetadas pela combinação do raio de ponta e do avanço, bem como pela estabilidade da peça, da fixação e da condição geral da máquina. Os valores de avanços indicados a seguir são valores iniciais que poderão ser otimizados à medida em que se percebe que o conjunto máquina-ferramenta-peça reage bem as primeiras adoções.

Como regra geral, o acabamento superficial pode frequentemente ser melhorado através de velocidades de corte mais altas e ângulos de saída mais positivos, ou no mínimo neutros. Quando ocorrerem vibrações é recomendável que se adote um menor raio de ponta. Classes de metal duro sem cobertura e também os cermets(*), produzem, geralmente, superfícies melhores do que aquelas geradas por pastilhas revestidas. Isso ocorre porque o revestimento costuma tornar o fio de corte mais grosso e, portanto, torna o corte menos suave, prejudicando o acabamento. Classes de metal duro sem cobertura costumam produzir superfícies melhor acabadas porque proporcionam arestas de corte mais vivas.

(*) Classes mistas compostas de cerâmica e metal, por isso *cermets*

O valor teórico ($R_{\text{máx}}$) do acabamento superficial pode ser calculado com a seguinte fórmula:

O valor teórico ($R_{\text{máx}}$) do acabamento superficial pode ser calculado com as fórmulas:



$$R_{\text{máx.}} = \frac{f_n^2}{8r_\epsilon} \cdot 1000 \text{ (}\mu\text{m)}$$

$R_{\text{máx}}$ = profundidade do perfil em mm

r_ϵ = raio de ponta em mm

f_n = avanço em mm por rotação, mm/r

Faça a conversão da fórmula para calcular a faixa de avanço:

$$f_n = \sqrt{\frac{R_{\text{máx.}} \times 8r_\epsilon}{1000 \text{ (}\mu\text{m)}}$$

Fórmula 1: Cálculo da rugosidade $R_{\text{máx}}$.

(Catálogo Sandvik C-1000:7-POR, Ferramentas para Torneamento pag A149, 2000.01)

Com o objetivo de fornecer valores iniciais para a escolha de avanços para operações de acabamento segue o diagrama 1 que estabelece uma relação entre avanço, raio de ponta e acabamento desejado.

O diagrama mostra valores teóricos $R_{m\acute{a}x}$, a partir da combinação do raio de ponta e do avanço dados.

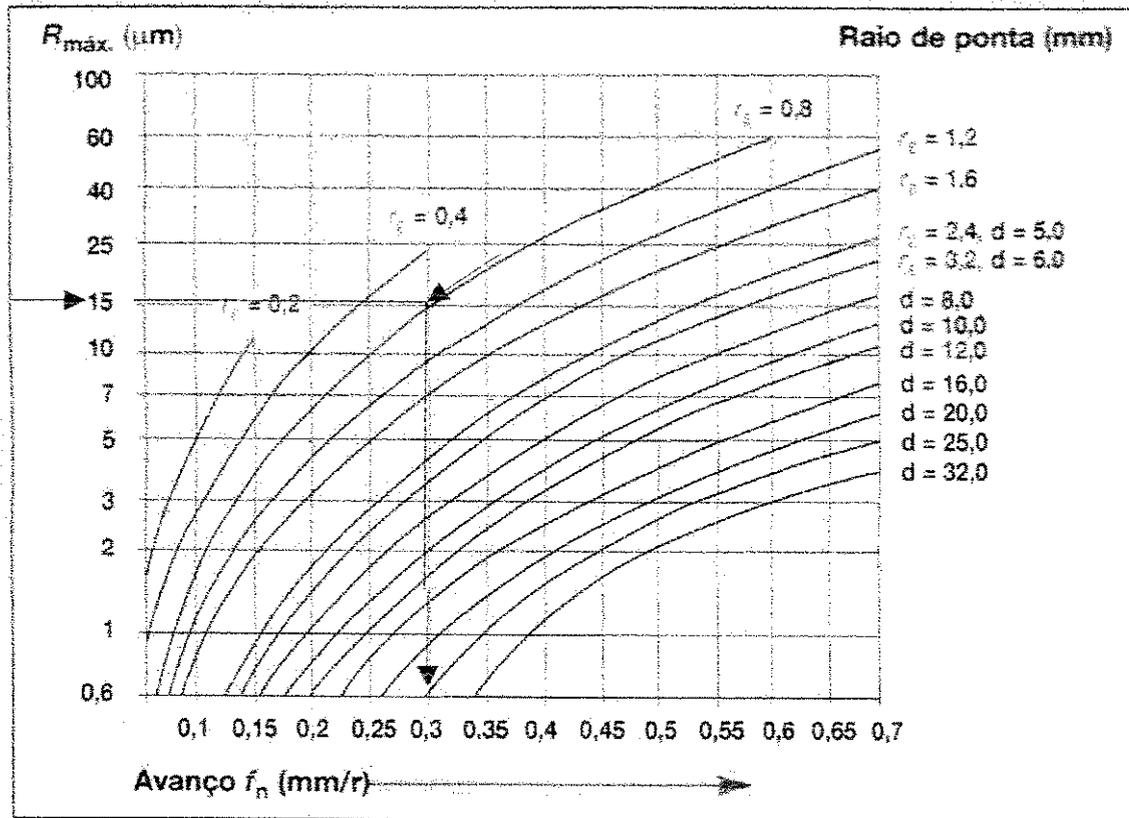


Diagrama 1: Avanços recomendados para operações de acabamento
(Catálogo Sandvik C-1000:6-POR, Ferramentas para Torneamento pag A149, 1998)

Utilizando-se o diagrama da figura acima, dá-se que, para um valor de 15 $R_{m\acute{a}x}$ e trabalhando-se com um raio de ponta de 0,8 mm, encontra-se o valor de avanço por rotação de 0,3mm

Uma outra recomendação para que se obtenha um bom acabamento é não utilizar profundidades de corte inferiores ao valor do raio de ponta da pastilha, já citado no capítulo sobre usinagem interna, ou mesmo inferiores aos valores de arredondamento do tratamento ER. Caso

isso ocorra, a superfície que estiver sendo usinada incidirá em pontos de tangência nos respectivos raios, onde os valores dos ângulos de posição e saída não corresponderão ao nominal esperado e poderão, em tais profundidades tão reduzidas, se tornar mais favoráveis ao amassamento ou brunimento das cristas deixadas pela operação de corte anterior ao invés de cortar efetivamente. Esta ocorrência poderá influenciar negativamente o acabamento e a rugosidade.

Nas operações de torneamento interno ou mandrilamento com ângulos de posição menores do que 90° , há uma forte tendência de se empurrar a ferramenta para fora do corte. Por esse motivo, muitas vezes, em máquinas com folga no eixo árvore, quando se espera que uma determinada dimensão de furo seja alcançada, após um passe de acabamento muito raso, não se obtém o valor correspondente ao quanto se esperava, pois a ferramenta tem uma tendência a não cortar e sim de se afastar até que em determinado momento a pressão de corte se torna suficiente para o corte e então retirasse mais material do que o desejado e “mata-se” a peça.

Há ocasiões em que não se é possível utilizar profundidades de corte superiores aos valores de raio de ponta ou do tratamento **ER**. Nesses casos deve-se optar por ferramentas de raio o menor possível, de preferência, sem cobertura e bem positivas quanto ao ângulo de saída. Assim os efeitos de desvio serão minimizados. Muitas vezes em operações onde se necessita trabalhar com profundidades de corte muito diminutas, para se chegar em uma determinada dimensão de tolerâncias estreitas, é melhor repassar a ferramenta várias vezes do que arriscar um incremento na profundidade e acabar retirando mais do que o necessário.

A tabela a seguir mostra a conversão aproximada entre os diferentes sistemas de medição. É importante observar que não há conexão matemática entre a profundidade do perfil e o valor R_a .

Para se utilizar a tabela, primeiro encontra-se o valor $R_{m\acute{a}x}$, então, dirige-se para a direita na tabela para encontrar os valores correspondentes em outros sistemas de rugosidade.

Tabela 8: Conversão entre diferentes sistemas de medição de rugosidades superficiais
(Catálogo Sandvik C-1000:6-POR, Ferramentas para Torneamento pag A149, 1998)

R_{max} μm	$R_a = CLA = AA$		RMS		Grau de rugosidade	Simbologia de triângulos
	μm	$\mu inch$	μm	$\mu inch$		
1,6	0,30	11,8	0,33	13,1	N5	VVV
1,8	0,35	13,8	0,39	15,3		
2,0	0,40	15,7	0,44	17,4		
2,2	0,44	17,5	0,49	19,4		
2,4	0,49	19,2	0,54	21,3		
2,6	0,53	20,8	0,59	23,1		
2,8	0,58	22,7	0,64	25,2		
3,0	0,63	24,6	0,70	27,3		
3,5	0,71	27,8	0,79	30,9		
4,0	0,80	31,4	0,89	34,8		
4,5	0,90	35,2	1,0	39,1		
5,0	0,99	38,8	1,1	43,1		
6,0	1,2	47,2	1,3	52,4		
7,0	1,4	55,1	1,5	61,2		
8,0	1,6	63,0	1,8	70,0	N7	
9,0	1,8	71	2,0	78,8		
10,0	2,0	79	2,2	87,7		
15,0	3,2	126	3,10	140	N8	
20,0	4,4	173	4,9	192	V	
25,0	5,8	238	6,4	264		
27,0	6,3	247	7,0	274		N9
30,0	7,4	292	8,2	324		
35,0	8,8	346	9,8	384		
40,0	10,7	422	11,9	468		
45,0	12,5	485	13,9	538		N10
50,0	14,0	552	15,5	613		

É importante ressaltar que os valores recomendados no diagrama 1 e na tabela 8 são referênciais, pois há inúmeros fatores que podem influenciar a rugosidade além daqueles considerados no diagrama e na tabela, portanto, ao se adotar determinado parâmetro, é sempre recomendado que se confira o resultado na primeira oportunidade. De qualquer modo é melhor ter um valor de partida do que se adotar qualquer outro valor valendo-se apenas da sorte.

2.4.1 3. Seleção da velocidade de corte

Obviamente a velocidade de corte de máxima produtividade poderá ser obtida mediante análises e experimentos estatísticos, baseados nos estudos de Taylor, quando se estiver trabalhando com produção em massa; contudo, para o caso de um lote pequeno ou de peça única onde um teste seja inviável, uma boa prática é adotar as velocidades recomendadas pelos fornecedores em seus respectivos catálogos técnicos. Há, entretanto, uma recomendação prática que auxilia na determinação da velocidade de maior produtividade, sem a necessidade de se submeter a análises estatísticas, quando essas não são viáveis.

Em muitas situações é possível que uma análise estatística nos leve a determinação de uma velocidade de máxima produtividade que não possa ser aplicada por exceder a potência da máquina, desse modo, a idéia é fazer um cálculo de trás para frente, determinando-se a máxima velocidade que uma certa máquina suportaria antes de se exceder a respectiva potência, e procurando uma classe de metal duro que proporcionasse tal velocidade.

Ciente do acabamento desejado e do sobremetal que se tem de remover, isola-se a velocidade na fórmula do cálculo da potência, assim, conhecendo-se a potência da máquina poderemos saber qual seria a máxima velocidade possível de ser aplicada. Identificada essa velocidade o analista deveria procurar dentre as classes disponíveis em seu almoxarifado ou no seu fornecedor, aquela que atendesse tal velocidade, ou que pelo menos chegasse o mais próximo desse valor. No caso de haver mais do que uma, seria sempre interessante escolher, aquela que oferecesse maior resistência ao desgaste, dentro dos critérios já discutidos no capítulo sobre escolha da classe.

$$P_c = \frac{v_c \times a_p \times f_n \times k_{c0,4}}{60 \times 10^3} \left[\frac{0,4}{f_n \times \sin \kappa_r} \right]^{0,29}$$

Fórmula 2: Cálculo da potência consumida em uma determinada operação de torneamento

Onde:

P_c = Potência líquida em kW

v_c = Velocidade de corte em m/min

a_p = Profundidade de corte em mm

f_n = avanço por rotação em mm/r

$K_{c0,4}$ = Forças de corte específicas para cavacos de espessura de 0,4 mm em N/mm²

κ_r = Ângulo de posição em graus

2.4.2 Intervalo de máxima eficiência

De acordo com a teoria da velocidade econômica desenvolvida por Taylor e levando-se em conta, os desgastes de uma ferramenta, a produtividade em função das velocidades de corte e o custo máquina, é possível identificar o intervalo de máxima eficácia para a adoção de uma velocidade de corte que proporcione, portanto, resultados que se situem entre a máxima economia e a máxima produtividade.

O gráfico da figura 2.4 apresenta a evolução dos custos em função do aumento da velocidade de corte.

V_0 identifica o ponto de maior economia. Velocidades menores do que V_0 incorrem em maiores custos devido ao aumento do custo máquina, enquanto velocidades acima de V_0 também acentuam os custos devido ao aumento dos custos com o desgaste de ferramentas. Assim sendo, o

que poderia ser feito para que pudessemos aumentar a velocidade indefinidamente acima de V_0 sem que os custos aumentassem?

Para que aumentando-se a velocidade acima de V_0 os custos não aumentassem, seria necessário que uma das ocorrências abaixo se tornassem viáveis:

a) O custo máquina e o custo ferramenta deveriam ser igual a zero.

b) A ferramenta deveria ser indestrutível, portanto, seria uma ferramenta eterna.

Independentemente do trabalho e velocidades a que fosse submetida jamais sofreria qualquer avaria.

c) Como ainda não se inventou a ferramenta indestrutível, existe uma outra possibilidade para que a ferramenta seja eterna. O lote de peças a ser usinado deve ser igual a zero. Quando se usina “zero” peças a ferramenta nunca se desgasta.

É verdade que lotes de zero peças não são praticáveis, contudo, quanto mais próximo de zero for o lote de peças, relativamente menos importante se torna a resistência da ferramenta, ou seja, quando se vai usinar muitas peças, quanto menos resistente for a ferramenta, maior será o número de paradas de máquina para a substituição da aresta e isso incorre em maiores custos e improdutividade, contudo, se o lote for de uma única peça, ainda que se aumente consideravelmente a velocidade de corte, de qualquer modo havia uma única peça para ser feita e após a mesma a máquina seria parada de qualquer forma.

O objetivo dessa alegação é reforçar que quanto menor o lote de peças, menos importante se torna a resistência ao desgaste da ferramenta quando se considera um único lote, daí a conclusão de que a proposta de se adotar a máxima velocidade permitida pela potência da máquina, dentro dos limites admissíveis pela classe do metal duro, seja uma idéia útil e interessante para a obtenção da máxima produtividade.

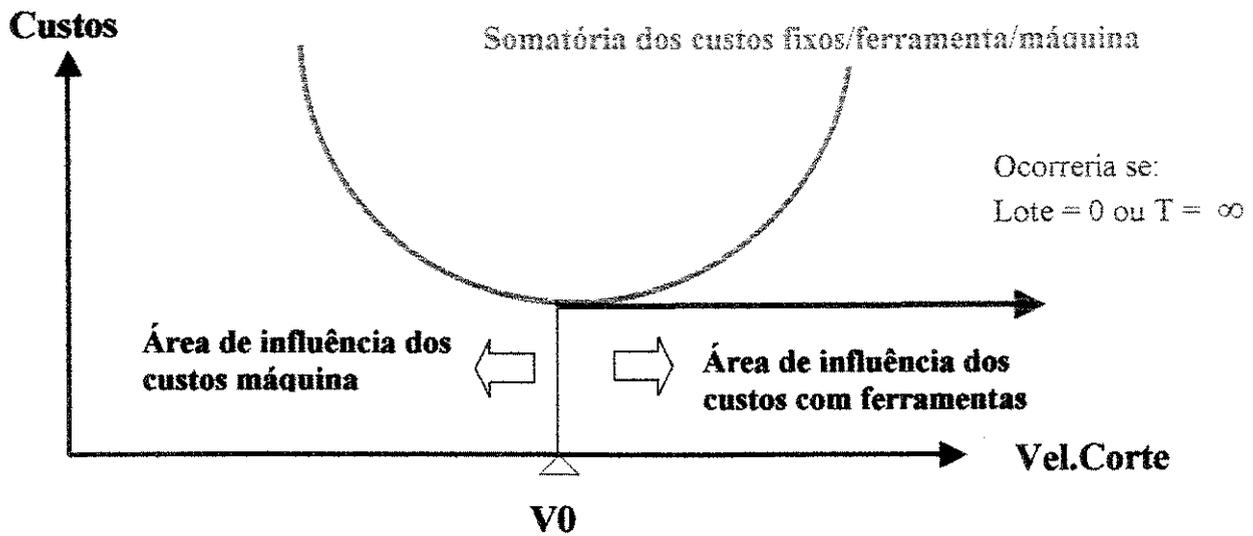


Figura 39 Influência da Velocidade de Corte nos Custos de Usinagem

2.4.3 Importância dos catálogos e manuais dos fornecedores

Apesar da experiência ter grande valia quando os catálogos e manuais técnicos dos fornecedores não estão por perto, principalmente se os vários anos de experiência não significam várias vezes a experiência de um mesmo ano, o melhor procedimento será, sempre que possível, checar as recomendações dos fornecedores em seus respectivos catálogos, antes de se iniciar qualquer processo de escolha de ferramentas ou de dados de corte.

Seguir a orientação do fornecedor além de constituir um procedimento racional, pode até colocar o usuário em condições de defesa inapelável diante do código de defesa do consumidor, para o caso de algo sair errado na aplicação da ferramenta de um determinado fabricante.

Nos mais de 10 anos de assistência técnica ao qual o autor desse trabalho se submeteu, seguramente, mais de 80 % das soluções encontradas para os problemas de usinagem apresentados pelos clientes, vieram de sugestões dos catálogos e manuais do fabricante. O hábito

de confiar nos próprios sentidos ao invés de consultar os catálogos dos fornecedores é antigo, contudo, não raramente a intuição leva a resultados muito aquém do que seria possível alcançar levando-se em conta as recomendações encontradas nos catálogos dos fornecedores.

Estou convicto de que a simples obediência as recomendações dos fornecedores, colocaria a grande maioria das empresas brasileiras de usinagem em condições muito mais competitivas do que se encontra atualmente. É comum o usuário fixar a ferramenta na máquina e sair usinando, tendo por base apenas seu “feeling”, ou seja, seus próprios sentidos e intuições.

As pessoas em geral não lêem se quer os manuais de seus próprios automóveis, imagine o quanto estarão motivadas a ler os catálogos dos fornecedores de ferramentas de metal duro.

2.4.4 Ajuste dos dados de corte

É praticamente impossível prever todas as variáveis que possam interferir no cálculo da potência e no rendimento da máquina. Por exemplo, o estado de conservação da máquina, a composição exata do material da peça que será usinada, distribuição da dureza do material ao longo das diferentes camadas de profundidade, etc. Por essa razão, para se conferir maior grau de segurança ao processo, é aconselhável que se inicie a operação com cautela e se observe a entrada da ferramenta em corte e, certificando-se de que a formação dos cavacos está adequada, a superfície, visualmente, atende o especificado, a estabilidade da máquina e da peça inspiram confiança, não há trepidações, a potência indicada no marcador segue estável ao longo da usinagem. No caso de se observar qualquer irregularidade deve-se reduzir a velocidade de corte de maneira paulatina, até que se chegue a uma condição favorável de estabilidade.

Esse ajuste fino é útil, principalmente quando se tem mais de uma peça para usinar. Não quer-se com isso anular todo o trabalho anterior de escolha de ferramentas e determinação dos parâmetros de corte, mas a observação atenta do fenômeno pode ajudar no ajuste fino da condição ideal de corte e produtividade.

2.4.5 Considerações sobre ferramenta versus o tamanho do lote

Quanto maior for o volume de peças a ser produzido e quanto mais frequente for a sua reincidência na produção, mais fácil de se justificar o investimento em um ferramental mais caro e sofisticado para a sua execução e vice-versa.

Para um volume anual de alguns milhões de peças, não só um ferramental mais específico e caro é justificável, pois nesses casos, até a construção de uma máquina especial para a produção dedicada pode tornar-se viável.

O ganho de 1 segundo no tempo de usinagem de uma peça de um lote único significa bem pouco, porém, o ganho desse mesmo tempo na produção de 2 milhões de peças significariam a economia de 2 milhões de segundos, ou 555 horas que passaria a ser um valor importante.

Com isso quer se enfatizar a importância relativa do tamanho e da frequência do lote quando da determinação do processo de usinagem e escolha das ferramentas.

Quanto maior for o lote, mais se torna interessante a utilização de ferramentas distintas para acabamento e desbaste, enquanto para lotes pequenos a mesma ferramenta utilizada no desbaste pode ser também utilizada para o acabamento, economizando assim uma troca de ferramentas. Como saber, portanto, a partir de que tamanho de lote se deve dividir as operações de desbaste e acabamento para duas ferramentas?

Considerando-se o custo como fator de restrição, é recomendável que se divida as operações de desbaste e acabamento em duas ferramentas, toda vez que o custo de se adotar tal procedimento for menor do que trabalhar com uma única ferramenta para ambas as operações, ou seja:

Toda vez que:

$$L1 \times (Cfd,a) \leq [L2 \times (Cfd) + L3 (Cfa)]$$

Fórmula 3 : Cálculo da viabilidade de se manter uma única ferramenta para as operações de acabamento e desbaste

Onde:

L1 = Quantidade máxima de peças usinadas com uma só ferramenta trabalhando em desbaste e acabamento de um lote “y” de peças “x”

Cfd,a = Custo com ferramenta por peça “x” usinada quando se utiliza uma só ferramenta para desbaste e acabamento

L2 = Quantidade máxima de peças usinadas por uma ferramenta utilizada apenas para desbaste de de um lote “y” de peças “x”.

Cfd = Custo com ferramenta de desbaste por peça “x” usinada.

L3 = Quantidade máxima de peças usinadas por uma ferramenta utilizada apenas para acabamento de um lote “y” de peças “x”.

Cfa = Custo com ferramenta de acabamento por peça “x” usinada.

3. Otimização da escolha da ferramenta através da análise do valor

O cenário que atualmente envolve as companhias, apresentam níveis crescentes de competitividade, assim, desenvolver um diferencial e explorá-lo torna-se algo crucial. Os dirigentes industriais devem, portanto, administrar e promover mudanças de acordo com os níveis de agressividade desse ambiente. Entretanto, qualquer alteração de curso deve estar embasada em uma visão de longo prazo, o que é fundamental especialmente para empresas de pequeno e médio porte (Quezada; Córdova; Widmer e O'Brien, 1999).

Partindo desse pressuposto, a elaboração de novos planos de usinagem, tanto quanto a revisão daqueles já em uso, teriam maior chance de tornarem-se um diferencial de

competitividade, se orientados por alguma base de raciocínio que permitisse o aprimoramento dessa tarefa. A cada operação realizada em um processo de usinagem, corresponde um determinado valor respectivamente composto pelos custos fixos, de máquina e de ferramenta envolvidos, sendo que o tempo de produção e a vida da ferramenta influenciam sobremaneira os resultados. Dessa forma, analisar as escolhas relacionadas as ferramentas e seus respectivos parâmetros de corte, constitui uma atividade estratégica em qualquer tempo, ou seja, tanto no médio quanto no longo prazo e, assim, a análise dos valores decorrentes desse processo de escolha oferece uma eficaz base de raciocínio para a implementação de melhorias.

A análise do valor surgiu por ocasião da 2ª guerra mundial devido a busca de materiais alternativos para a indústria civil, pois grande parte dos materiais nobres, como a platina, chumbo, cromo, níquel, estanho, ferro, alumínio entre outros, haviam sido requisitados para a indústria bélica.

O engenheiro Lawrence D. Miles da General Electric foi um dos principais precursores desta técnica. Na ocasião se empenhou na procura de materiais que pudessem substituir os materiais escassos. Seu objetivo era encontrar materiais que tivessem um custo menor e cumprissem as mesmas funções dos materiais em falta.

Essa linha de atuação foi brilhantemente condensada em um estudo denominado por Miles como *Value Analysis* e publicado com a autorização da GE Co, em 1947.(Pereira Filho, 1994).

Embora essa técnica possa se sobrepor a outras, ela pode contribuir para a redução de custos por um caminho diferente e apresentar certos aspectos de ordem geral, não cobertos de outra forma (Maynard, 1970).

A Análise, ou Engenharia do Valor (AV / EV) é um método sistemático para aumentar o valor de um produto, projeto, sistema ou serviço por meio da identificação e avaliação das funções necessárias para o fornecedor e o consumidor/usuário, permitindo o desenvolvimento de alternativas para maximizar a relação.

$$\text{Valor} = \frac{\text{Função}}{\text{Custos}}$$

A abordagem a ser utilizada está baseada em um processo que consiste em :

- A – Descrição de funções
- B – Avaliação de funções
- C – Desenvolvimento de alternativas

O método estrutura-se em seis fases:

Preparação: fase onde se considera a escolha do objeto de estudo, a determinação do objetivo do estudo, a formação de um grupo de trabalho e o planejamento das atividades.

Informação: Tem por finalidade levar o grupo de trabalho a conhecer a situação atual para uma compreensão total do problema que se está analisando.

Análise: Objetiva a identificação de funções críticas para a partir delas enunciar problemas.

Criatividade: Valendo-se de métodos como o *brainstorming*, ou análise morfológica, entre outros inicia-se a busca por alternativas.

Desenvolvimento: Elege-se as alternativas com maior probabilidade de êxito, seleciona-se os melhores procedimentos a serem seguidos.

Planejamento: Planejar, implantar e acompanhar são as tarefas rotineiras subsequentes ao estudo e que concretizam os resultados a serem creditados ao programa.

Para se chegar a um substituto viável, oportuno e vantajoso é preciso que esse atenda de forma positiva a perguntas do tipo; Contribui com valor? Seu custo é proporcional ao seu benefício? Precisa de todas as suas características? Há algo melhor para o uso desejado? Pode-se achar algo aproveitável em um produto padronizado? Outro produtor fornecê-lo-ia por menos? Alguém o obtém por menos?

A observação sobre o método de AV/EV conduz simplificada a respostas para as seguintes questões (Pereira Filho, 1994):

1. O que é isso?
2. O que isso faz?
3. Quanto custa?
4. Qual é o seu valor?
5. O que poderia fazer a mesma coisa?
6. Quanto custaria esse substituto?

A análise do valor, tal como foi concebida, é uma sistemática e também um esforço criativo que analisa a função exercida por produtos, ferramentas, ou sistemas para assegurar que as funções requeridas estão sendo atendidas na condição mais vantajosa possível e seus objetivos são:

Identificar as funções de um produto; fixar um valor para essas funções; prover funções ao menor custo possível; garantir qualidade igual, se possível melhor, ao produto que é oferecido ao consumidor. (Cogan, 1995).

Outro conceito importante na análise do processo é a determinação do grau de adição de valor de cada atividade.

A Análise do Valor se desenvolve através de profundo questionamento dos processos, no sentido de avaliar o grau de contribuição de cada atividade em relação ao resultado final.

Considera-se que as seguintes questões poderão auxiliar nessa classificação:

- Por que realizo essa atividade?
- Por que eu faço dessa forma?
- Por que faço nesse momento e local?

Se não obtiver boas respostas a essas questões é porque, provavelmente, você está diante de atividades que não agregam valor ao processo.

Alguns exemplos de trabalho que não adiciona valor são:

Redundância: Produção de relatórios ou informações que não são utilizados no processo, níveis de assinaturas repetidos, etc.

Duplicação: Trabalho repetido em etapas posteriores no processo, ou a mesma (ou similar) informação gerada por etapas diferentes do processo em vários departamentos.

Retrabalho(*), inspeção e refugo: Muitas etapas constituem na realidade, retrabalho, inspeção e refugo de etapas anteriores e portanto podem ser eliminadas.

(*) Em usinagem, quando se utiliza um passe de desbaste e posteriormente um outro de acabamento, poderia-se considerar que o passe de acabamento é um passe de retrabalho, e o passe anterior de desbaste desnecessário e agregador de custo, considerando-se que atualmente, muitas vezes, mesmo com uma remoção de profundidade de corte mais elevada é possível, em um único passe, se obter a peça acabada e dentro das exigências de desenho. Nesse caso, a utilização de dois passes quando um único seria suficiente, constituiria uma não efetuação de uma Análise de Valor.

Sequência Inadequada: Em processos deficientes, muito trabalho é feito baseado em dados ou informações que mais tarde serão modificados, causando muito retrabalho. Em alguns casos, a mudança da sequência das operações permite ao sistema adaptar-se melhor a mudança (Honda e Viveiro, 1993).

Resumidamente, a Análise, ou Engenharia do Valor, consiste portanto em fazer uma análise das funções cumpridas pelo objeto em estudo no atendimento de alguma necessidade humana. Após o levantamento de todas as funções, elas devem ser classificadas para que se identifique as funções vitais e as complementares. Posteriormente procuram-se objetos

alternativos que possam cumprir satisfatoriamente, ao menos, as mesmas funções vitais, com a qualidade e desempenho similares por um custo inferior (Pinton, 1989).

Análise Funcional (AF)

Todos os produtos, sistemas ou organizações para responderem às necessidades dos seus usuários, possuem um determinado conjunto de "funções". Segundo a norma EN 1325-1, a função exprime a ação de um produto ou de um dos seus constituintes para responder a uma necessidade, ela é acompanhada de indicações de performance (níveis e flexibilidade). Estas noções embora simples, conferem à Análise Funcional um importante significado (Análise do Valor, Análise funcional e Concepção para um custo objectivo <http://www.cev.pt/noticias/Cedintec/html/tecnologias_analise.html>, acesso em 30/11/01.)

Recorre-se à **AF** para:

- Identificar as funções de um produto, de um sistema ou de uma organização
- Quantificar as performances a se considerar
- Sistematizar e melhorar a comunicação entre aqueles que estão relacionados com a definição, a concepção e desenvolvimento do produto (objeto de análise).

Função:

Convém considerar que existem dois tipos de funções:

Função de Serviço (ou função externa) que descreve o que o produto faz ou deve fazer para satisfazer as necessidades e expectativas dos utilizadores, durante as etapas do ciclo de vida do produto. O Porquê? ou Para Quê?

Função Técnica (ou função interna) que descreve as ações internas do produto para executar as respostas à necessidade, estas respostas são as funções de serviço.

As funções técnicas podem ser a formalização de princípios ou fenómenos físicos utilizados, e de arquitectura da solução que temos em vista ou que desenvolvemos. Elas permitem igualmente uma análise do funcionamento do produto, para melhorar o conhecimento da solução ou permitir submeter completamente a ensaios e verificar o funcionamento do produto. É a formalização do COMO?

Consideremos agora as funções de serviço, são efeitos do produto sobre o utilizador ou sobre os elementos que constituem a sua envolvente (interatores), estas funções visam satisfazer as necessidades do utilizador.

Neste tipo de funções, e sobre a fase das funções efectivamente realizadas por um produto existente, algumas podem resultar duma apreciação ligeira e imprecisa da necessidade, ou dum efeito confuso e desfavorável do produto efectivamente criado. Estas funções podem ser denominadas, respectivamente, funções inúteis e funções nocivas.

As funções técnicas são um tipo de funções completamente diferente, que não têm ligação directa na satisfação das necessidades do utilizador, mas existem para permitir que o produto funcione e finalmente realize as funções de serviço. Estas funções técnicas, de que o utilizador não tem geralmente consciência, são as acções dos componentes dos produtos. Estes componentes podem funcionar separadamente (por exemplo um componente electrónico no registo de informações) ou em outros componentes (sobre uma viatura, a árvore transmite o binário da caixa de velocidade às rodas).

O conceito de função é fundamental dentro da metodologia de AV/EV. Considerando-se a importância desse conceito, várias definições poderão ser dadas de acordo com a Pesquisa Wilcock:

- A característica a ser obtida do desempenho de um item, se o item realizar sua finalidade, objetivo ou meta. É a finalidade ou motivo da existência de um item ou parte de um item.
- A característica de um item ou serviço que atinge as necessidades e desejos do comprador e/ou usuário.
- A característica de desempenho a ser possuída por um item ou serviço para funcionar ou vender.

Se **função** for o que o usuário compra ou busca em um objeto, **valor** é o que o satisfaz em relação a esse objeto. Quanto mais satisfeito estiver o usuário, tanto maior é o valor desse objeto para ele (Maramaldo, 1989).

Isto quer dizer que o valor de um objeto depende:

- Da quantidade de funções necessárias que oferece
- Do índice de utilização de cada função necessária
- Do preço pago para obter os itens anteriores

Valor: Concentrando-se no que diz respeito à Metodologia do Valor, definem-se quatro tipos de valores econômicos:

- **Valor de Custo**, como sendo o total de recursos medido em dinheiro, necessário para produzir/ ou obter um item.
- **Valor de Uso**, como a medida monetária das propriedades ou qualidades que possibilitam o desempenho de uso, trabalho ou serviço.
- **Valor de Estima**, como a medida monetária das propriedades, características ou atratividades que tornam desejável sua posse.
- **Valor de Troca**, como medida monetária das propriedades ou qualidades de um item que possibilitam sua troca por outra coisa.

O valor real de um produto, processo ou sistema é o grau de aceitabilidade de um produto pelo cliente e, portanto, é o índice final do valor econômico. Quanto maior é o valor real de um item sobre outro que sirva para a mesma finalidade, maior será a probabilidade de vencer a concorrência (Csillag, 1988).

Desempenho: O desempenho de um produto pode ser definido como o conjunto específico de habilidades funcionais e propriedades que o fazem adequável (e vendável) para uma finalidade específica.

3.1. Princípio da análise do valor.

Está se tornando cada vez mais difícil diferenciar os produtos e os serviços de “conveniência” . Um meio de muitas empresas não virem a se tornar apenas outro produto “eu também” na prateleira, é criando uma “imagem de valor” associada ao seu produto ou serviço. Ao criar um elo na mente dos consumidores entre os valores particulares e uma oferta específica de um produto ou serviço, o cliente pode sentir-se atraído para esse determinado produto baseado nos valores que ele transmite em vez de escolher uma das alternativas que não é diferenciada por valores implícitos (Kuczmariski, 1999).

A redução de recursos dedicados à realização das atividades que não criam valor para os clientes reduz o risco de redução acidental da funcionalidade percebida do resultado. Algumas atividades podem ser classificadas facilmente com esse esquema. Por exemplo, a fabricação de uma peça para um produto ou a oferta de um serviço ao cliente geralmente são consideradas atividades que geram valor agregado. Por outro lado, a conciliação de uma fatura incorreta, a movimentação de materiais no chão de fábrica mal projetado e o reparo de produtos defeituosos geralmente são considerados atividades que não geram valor agregado, pois se o projeto ou o processo de produção original tivessem sido bem feitos, não haveria necessidade de realizar tais atividades. Na verdade, as atividades que não geram valor agregado representam atividades pelas quais os clientes não deveriam estar pagando (Kaplan e Cooper, 2000).

Ao se tomar algo para se aplicar a análise do valor, por exemplo, um determinado processo, um projeto, um produto ou qualquer outra coisa viável de ser estudada por esse método, é muito importante que se defina adequadamente o problema, para posteriormente formulá-lo e analisá-lo através de uma abordagem funcional.

Para tanto, algumas perguntas básicas devem ser feitas:

- a) O que é o objeto de estudo?
- b) Porque esse objeto foi fundamentalmente criado, qual o seu uso?
- c) Ao ser usado, que benefícios proporciona?
- d) O objeto é realmente necessário?
- e) Haveria outra forma de se obter os mesmos benefícios de um modo mais vantajoso?

Esse tipo de análise pode levar o especialista a uma certa hierarquia de necessidades. É fundamental que se tenha a verdadeira origem do objeto de estudo. Ao se tomar a usinagem como objeto de estudo, cabe então perguntar:

— **O que é usinagem?**

Resposta:

Um processo de remoção de excesso de materiais através de operações de torneamento, fresamento, furações, mandrilamentos, rosqueamentos entre outros, valendo-se para isso de ferramentas de corte capazes de cortar o material em excesso da peça obra.

— **Porque a usinagem foi fundamentalmente criada, qual o seu uso?**

Resposta:

Para transformar peças brutas em peças acabadas, capazes de cumprir posteriormente uma função específica dentro de um engenho, sistema ou conjunto de peças que terá por última finalidade atender alguma necessidade ou desejo humano.

— **Ao ser usada, que benefícios a usinagem proporciona?**

Resposta:

O atendimento de necessidades intermediárias que levarão ao atendimento de uma necessidade maior final.

— **A usinagem é realmente necessária?**

Resposta:

Sim, toda vez que um método mais econômico não for viável para a satisfação da necessidade para a qual a usinagem foi criada.

— **Haveria outra forma de se obter os mesmos benefícios de um modo mais vantajoso?**

Resposta:

Quando a resposta a essa pergunta for não, então estamos mesmo diante de uma necessidade de usinagem, caso contrário deveremos partir para a alternativa mais econômica.

Esse questionamento leva a se estabelecer uma certa hierarquia de necessidades antes de se começar a pensar em usinar algo. Assim, pode-se realizar a seguinte indagação:

O cliente deseja usinar?

Pode-se dizer que não, na verdade o cliente deseja peças acabadas.

Seria mesmo verdade que o cliente deseja peças acabadas?

Pode-se dizer que não, se ele conseguir que o automóvel ande sem as mesmas.

Com isso poderia-se afirmar que o cliente não deseja peças usinadas e sim automóveis?

Apesar de se já ter feito um certo depuramento, pode-se dizer que a necessidade mãe ainda não é essa. Na verdade o que o usuário final deseja é um meio de transporte que se adequa as suas necessidades de tempo e espaço de maneira o mais harmoniosa possível aos seu modus vivendi.

Isso significa que, antes de se iniciar qualquer usinagem, a primeira pergunta a ser feita é:

Essa operação de usinagem é realmente necessária?

Será que na realidade os clientes querem mesmo usinar?

É claro que não! A usinagem de metais constitui-se numa série de operações custosas e demoradas. O fabricante paga o metal pelo preço de matéria prima (fundido, forjado, trefilado ou laminado), remove parte dele transformando-o em sucata em forma de cavacos, gastando para isso mão de obra, energia, máquinas e outros recursos, inclusive as ferramentas de corte, e posteriormente recebe pelo material removido, quando vender a sucata, um valor varias vezes inferior ao que ele pagou.

Para manter-se competitivo, isto é, ganhar dinheiro e continuar promovendo lucros que mantenham a sua empresa ativa, o fabricante não quer remover metal algum, ou, se não houver outra forma, deseja remover o mínimo de metal necessário.

Obter peças acabadas de maneira cada vez mais rápida, mais simples e mais barata deve ser uma preocupação constante para a indústria que busca a melhoria contínua em seus níveis de competitividade, assim, reduzir a remoção de sobremetal através da usinagem é um objetivo que sempre estará em pauta.

Contínuas modificações no produto; métodos e processos que porporcionem peças quase prontas (“near net shape”); materiais progressivamente melhores quanto a usinabilidade e também a mudança na filosofia de produção voltada para uma visão holística, onde as preocupações com os processos de produção já são consideradas ao se projetar um determinado produto, tem contribuído sobremaneira para que os custos de usinagem sejam continuamente reduzidos.

O produto deve ser concebido, já levando-se em consideração a respectiva praticidade de produzi-lo. Toda usinagem que não agregar valor ao produto deve ser eliminada. Muitas vezes peças anteriormente usinadas são substituídas por peças de plástico injetado, microfundidas, sinterizadas, etc, contudo, a usinagem ainda é, e será por um bom tempo, um processo básico e importantíssimo da indústria automotiva e metal mecânica, pois, embora a usinagem possa ter sido substituída com sucesso em muitos casos, usinar ainda é uma operação fundamental na produção de automóveis, ônibus, caminhões, locomotivas, tratores, aviões, laminadores, bombas hidráulicas, elevadores, motores, caixas de câmbio, moldes, matrizes, estampos, autopeças em geral, só para citar os mais importantes.

Por todas as razões essa razão obter o melhor resultado em tudo aquilo que necessitar ser usinado, pode contribuir consideravelmente para o aumento da competitividade da empresa, tanto na melhoria da qualidade do produto, quanto na redução dos custos de fabricação ou em ganhos decorrentes da melhoria da produtividade.

Partindo-se de todas essas considerações e tendo em vista a utilidade da Análise do Valor na melhoria da competitividade em custos, qualidade e performance de produtos métodos e processos é que se originou o interesse de desenvolver essa dissertação onde se aplica a Análise do Valor na busca da maximização da produtividade em usinagem.

A base da Análise, também conhecida como Engenharia do Valor, consiste em avaliar como as funções do objeto de estudo estão sendo e poderiam ser desempenhadas, com o objetivo

de se aumentar o seu respectivo valor. Nesse estudo, portanto, as funções que estarão sendo estudadas serão as relativas a usinagem.

O valor da função é a relação entre desempenho das funções necessárias e o seu respectivo custo.

O valor do objeto de estudo pode ser aumentado quando proporciona:

- a) Melhor desempenho das funções ao mesmo custo
- b) Melhor desempenho das funções a um custo menor
- c) Mais funções pelo mesmo custo
- d) Mais funções por um custo compensador
- e) O mesmo desempenho atual por um custo menor

Na Análise do Valor, um mesmo objeto (produto, processo, serviço, sistema, etc) deve atingir dois objetivos finais, para os quais concorrem todas as funções, são eles:

- Agregar valor na percepção do usuário ou cliente
- Agregar valor na percepção do fabricante ou fornecedor

Valor na percepção do cliente (Vcl) são os benefícios proporcionados através da escolha e utilização do objeto. Valor na percepção do fornecedor (Vfc) é venda, crescimento e lucratividade.

Maximizar “Vcl” pode significar menor lucro para o fornecedor e maximizar “Vfc” pode ocasionar menor satisfação para o cliente.

A proposta da Análise do Valor é buscar o “Ótimo Satisfatório”: O fornecedor lucrar através da satisfação das necessidades e desejos de seus clientes de maneira contínua, aumentando os ganhos do fornecedor a medida em que seus clientes se tornam progressivamente mais satisfeitos.

A isso se denomina: “Competitividade”.

A competitividade, portanto, é fruto do atendimento de necessidades e desejos dos clientes de uma maneira melhor do que os concorrentes tem feito, ou atender, de maneira adequada, necessidades e desejos que os concorrentes não tem atendido.

Em usinagem, em tudo o que estiver a depender de ferramentas, alcançar o ótimo satisfatório poderia se constituir do seguinte:

- Melhorar o desempenho das funções das ferramentas a um mesmo custo
- Melhorar o desempenho das funções das ferramentas a um custo menor
- Identificar ou desenvolver ferramentas que ofereçam mais funções pelo mesmo custo
- Identificar ou desenvolver ferramentas que ofereçam mais funções por um custo compensador
- Promover o mesmo desempenho atual das ferramentas por um custo menor

É fundamental, portanto, que se identifique oportunidades de melhoria através da análise das funções que tem sido desempenhadas pelas ferramentas no processo atual. Feito isso, deve-se estudar a possibilidade de se adotar parâmetros de corte mais otimizados para as ferramentas que estão em utilização, caso não haja nenhuma outra ferramenta que possa desempenhar as mesmas funções de modo mais competitivo. Toda vez que houver ferramenta melhor, essa deveria substituir a ferramenta em uso, sempre que houvesse uma compensação do ponto de vista de custo versus benefício.

3.2. Funções.

Quando um usuário compra uma ferramenta de corte, ou uma determinada pastilha de metal duro, na realidade não está comprando ferramentas ou pastilhas, mas sim, soluções para um determinado problema ou a satisfação de determinadas necessidades.

Como já mencionado anteriormente, o usuário não deseja ferramentas e sim peças acabadas que possam cumprir suas funções no conjunto mecânico do qual tais peças serão partes componentes. Isso significa que se alguma coisa pudesse substituir as ferramentas e a usinagem no ato de transformar peças brutas em peças acabadas por um custo menor, as ferramentas e a usinagem deixariam de ser uma necessidade.

Ainda que atualmente não se tenha uma alternativa viável, melhor do que ferramentas e usinagem para se obter peças acabadas, a AV/EV (Análise do Valor / Engenharia do Valor) pode também ser utilizada de maneira vantajosa no processo de escolha e aplicação de ferramentas.

Sua aplicação poderá ter importância relevante no julgamento do quanto eficaz poderá ser uma determinada ferramenta dentro de um processo de usinagem específico.

É o que se procura esclarecer na sequência.

Uma função deve ser descrita, geralmente com a utilização de um verbo e um substantivo, por exemplo: Procurar desenho, fixar peça, remover sobremetal, etc. A intenção de se restringir a descrição da função a um mínimo de palavras, consiste em facilitar e simplificar o entendimento e a análise das mesmas. É imprescindível se ter certeza de que se está realmente trabalhando com as verdadeiras funções do objeto de estudo. Descrever uma função com adjetivos e adjuntos complementares poderia dificultar a compreensão das atividades fundamentais do objeto de estudo.

É imprescindível que se faça um levantamento da totalidade das funções que sejam desempenhadas pelo objeto em estudo para posteriormente identificar quais funções consistem em restrição a otimização do processo.

3.2.1. Tipos de Funções

Dois tipos de função podem ser encontrados:

Funções racionais:

São normalmente descritas com um substantivo mensurável e quantificável; sendo fruto de uma necessidade ativa e tangível, regularmente correspondem a uma ação de trabalho.

Funções emocionais:

São aquelas funções que atendem mais a emoção do que a razão, portanto, vinculadas aos anseios, carências emocionais, necessidades de status, moda e estética, sendo assim subjetivas e muito dependentes de costumes, culturas e tradições.

3.2.2. Classificação de funções

As funções podem ser classificadas da seguinte maneira:

Funções vitais:

É a função que determina a finalidade pela qual o objeto de estudo existe. O objeto de estudo pode ser por exemplo, produtos, sistemas ou serviços. É normal que a um objeto de estudo corresponda uma única função vital, contudo, excessões poderão ocorrer. A função vital pode ser chamada de função principal daquele objeto de estudo.

Funções complementares:

São funções que auxiliam o desempenho da função vital. Pode existir por exigência do desenho ou projeto, ou ainda para aumento do valor percebido pelo cliente ou usuário quando do contato ou utilização do objeto.

Funções necessárias:

São nas funções que o usuário faz questão que o objeto possua, e portanto, pode se tornar uma restrição de compra caso o objeto não a desempenhe.

Funções desnecessárias:

São funções que não acrescentam valor ao objeto. Muitas vezes estas funções acabam sendo acrescentadas por excesso de zelo do fabricante e, caso sejam eliminadas poderão trazer benefícios mútuos. Para o produtor porque poderá reduzir o custo de produção no caso da função ser eliminada, e ao consumidor porque poderá encontrar o produto a um custo menor com o barateamento devido a eliminação de uma função da qual o usuário não faz conta.

A identificação de funções desnecessárias representam, portanto, um grande potencial de otimização, pois a grosso modo, tudo o que não acrescentar valor ao produto, sistema ou serviço, teoricamente deveria ser eliminado.

A idéia, portanto, consiste em submeter a escolha de ferramentas a uma análise funcional, procurando entre toda uma gama de ferramentas aquela que atenda as necessidades específicas de usinagem proporcionando o menor custo.

A fim de tornar mais claro o conceito, toma-se em seguida o exemplo de um “posto de gasolina”.

Como se vê na tabela subsequente, várias funções são cumpridas por um posto de gasolina, contudo dentre elas uma é vital, outras são complementares, ou seja acrescentam algum valor para o usuário e outras não trariam prejuízo ao desempenho do posto se fossem eliminadas.

Muitas vezes, os comerciantes de gasolina investem muito nas ações complementares e se esquecem da função vital, ou seja, oferecem tantos complementos ao serviço do posto, contudo, são lentos na bomba e promovem o crescimento da fila de espera para o abastecimento do tanque. Frequentemente, são raras as pessoas que tendo a opção de um outro posto por perto se submetam

à espera. Isso significa que desde o projeto do "lay-out" do posto deve ter como meta o atingimento da excelência no desempenho da função vital.

A identificação do que é vital, secundário e desnecessário, portanto, serve de orientação ao comerciante para que se concentre nas funções que promovam os bons negócios e poupe os esforços dirigidos à funções desnecessárias.

Tabela 9: Tabela de análise das funções de um posto de gasolina

Objeto em estudo	Funções Verbo + Substantivo			
		V/C	R/E	N/D
Posto de gasolina	Abastecer Tanque	V	R	N
	Calibrar Pneus	C	R	N
	Lavar Para-Brisas	C	R	N
	Trocar Filtros	C	R	N
	Trocar Óleo	C	R	N
	Lavar Carro	C	R	N
	Dar Informações	C	E	N
	Vender Gêlo	C	R	D
	Vender Carvão	C	R	D
	Servir Café	C	E	D
	Trocar Cheques	C	E	D
	Vender Bens de Conveniência	C	R	D

V=Vital C=Complementar R=Racional E= Emocional N=Necesário D=Desnecesário

A proposta é que se utilize a mesma metodologia para a análise de atividades relativas a usinagem.

A fim de checar a eficácia da escolha de uma determinada ferramenta, submete-se o objeto de estudo, nesse caso, porta-ferramenta e pastilha, à análise do valor.

Tabela 10: Tabela de análise das funções de uma ferramenta de corte

Objeto em estudo	Funções Verbo + Substantivo	Classificação		
		V/C	R/E	N/D
Conjunto Port. Ferr.+Pastilha	1-Remover Sobre-metal	V	R	N
	2-Gerar Perfil	V	R	N
	3-Garantir Acabamento	V	R	N
	4- Assegurar Precisão	V	R	N
	5- Quebrar Cavacos	C	R	N
	6-Oferecer Segurança	C	R	N
	7-Evitar Vibrações	C	R	N
	8- Evitar Fogo (na Ponta da pastilha)	C	E	D
	9- Manter Aparência (da Pastilha)	C	E	D
	10- Manter Coloração (da Pastilha)	C	E	D
	11- Eternizar Máquina	C	E	D
	12-Reduzir estoques (de ferramentas)	C	R	N
	13- Minimizar Custos	C	R	N
	14- Maximizar Produtividade	C	R	N

V=Vital **C**=Complementar **R**=Racional **E**= Emocional **N**=Necessário **D**=Desnecessário

A observação do cotidiano nas oficinas de usinagem evidenciam que, no caso das ferramentas de corte, existem funções que nem sempre são levadas em conta pelo analista de ferramentas quando da elaboração do processo de usinagem e posterior acompanhamento do trabalho. Assim, com o intuito de evidenciar as possíveis razões que levam muitos processos de

usinagem à deficiência quanto a otimização da produtividade e custos, encontra-se abaixo a classificação das funções da tabela 10 quanto a frequência com que ocorrem nos meios produtivos da manufatura.

- a) Alta frequência. (Funções de 1 a 7)
- b) Média frequência (Funções de 8 a 11)
- d) Baixa frequência (Funções 12 a 14)

GARGALO

Na grande maioria dos casos, é comum que os técnicos responsáveis pela escolha de ferramentas e elaboração da sequência operacional, levem em conta as funções de números 1 a 7, até porque, seria quase impossível de se trabalhar se a ferramenta escolhida não as cumprisse. Haveria uma *pressão natural* sobre tais profissionais para que buscassem a satisfação dessas funções por razões óbvias, ou seja, seria praticamente impossível de se produzir a peça em outras condições. Assim, nesse caso, as funções de 1 a 7 são frequentemente levadas em consideração na hora da escolha da ferramenta e elaboração do processo.

Já as funções de número 8 a 11 são puramente emocionais, pois no caso da ferramenta escolhida não cumpri-las, não trariam qualquer prejuízo à execução de uma peça perfeita, contudo, a experiência tem mostrado que são incontáveis as vezes em que os operadores interrompem o ciclo de produção para a substituição da aresta, ou da própria pastilha, porque houve uma mudança na coloração no raio de ponta, ou a operação de corte está promovendo faíscas - o tal “foguinho”-, ou porque depois de algumas arestas usadas a pastilha “ficou feia” ou ainda devido ao fato de a nova geometria estar fazendo a máquina “gemer” mais. Como se a máquina fosse um ser vivo que sentisse dor ou algum desconforto com a nova condição de corte, só porque o som, o ruído, proveniente da operação de usinagem está diferente daquele ao qual o operador está acostumado. Essas funções são muitas vezes levadas em consideração mais por pressão dos usuários finais do que por real necessidade.

Quando tais funções não são atendidas os operadores passam a fazer *pressão psicológica* sobre seus superiores ou sobre o pessoal da engenharia para que tais quesitos sejam levados em

consideração quando da escolha da ferramenta e seus respectivos parâmetros de corte. Não raramente, os próprios operadores, impedem que a aresta de corte chegue ao máximo de produtividade. Esta é uma ocorrência de média frequência.

Finalmente temos as funções poucas vezes levadas em consideração e, portanto, classificadas aqui como funções de baixa frequência. Essas funções identificadas na tabela acima pelos números de 12 a 14, costumam não constituir preocupação e, portanto, deixam de ser consideradas quando da escolha de uma ferramenta, porque para perceber se tais funções estão sendo cumpridas é preciso perícia. Não há nenhuma pressão natural e nem é comum os operadores coagirem os elaboradores do processo para que essas sejam atendidas, até porque, quase que invariavelmente, os operadores são menos preparados do que o engenheiro ou técnico que elabora o processo para se darem conta dessas deficiências e, tão pouco é deles, os operadores, essa obrigação e, portanto, a não observância dessas funções tão importantes passou a ser fato comum de tal maneira que para muitos, preocupar-se com elas parece excesso de zelo, contudo, são justamente essas que podem fazer da usinagem uma vantagem competitiva. Essas funções só passam a ser atendidas quando há uma *pressão científica* para tanto. Isso significa que quanto menos preparo científico houver entre os elementos que se responsabilizam pela elaboração e execução dos processos de usinagem, menos elas estarão sendo atendidas.

Para perceber que uma ferramenta não promove o mínimo custo e nem maximiza a produtividade é preciso ser um especialista, é preciso conhecer muito bem todas as variáveis técnicas e econômicas que influenciam os custos e a produtividade na usinagem e, dificilmente, um profissional que não tenha frequentado um bom curso de engenharia de manufatura com especialidade em usinagem chegará a esse grau de acuidade. É portanto, imprescindível que os empresários que dependam da usinagem, invistam no treinamento adequado dos profissionais que escolhem ferramentas e determinam suas condições de uso, tanto quanto no treinamento e conscientização dos operadores que são os usuários finais. Essa responsabilidade é quase que exclusiva da engenharia de manufatura, pois não é de se esperar que o diretor presidente ou o executivo financeiro de uma determinada empresa, venha a se preocupar se o processo de usinagem está trabalhando na condição de máxima produtividade e mínimo custo, pois não é obrigação dos mesmos entenderem de otimização de processos de usinagem.

3.2.3. Exemplo da aplicação da Análise do Valor em usinagem

Suponha que para uma determinada operação (veja desenho), o técnico encarregado em elaborar o processo de usinagem tenha escolhido as pastilhas KNUX 160405 R11 na classe de metal duro ISO P40 para remover uma camada de sobremetal de 3mm de profundidade. Considere também que para o trabalho de um mês sejam necessárias 200 arestas. Neste caso, como as pastilhas KNUX possuem duas arestas cada, seriam necessárias 100 pastilhas para dar conta da empreitada. Se cada pastilha KNUX custar aproximadamente USD 5,00, teremos uma despesa mensal de USD 500,00.

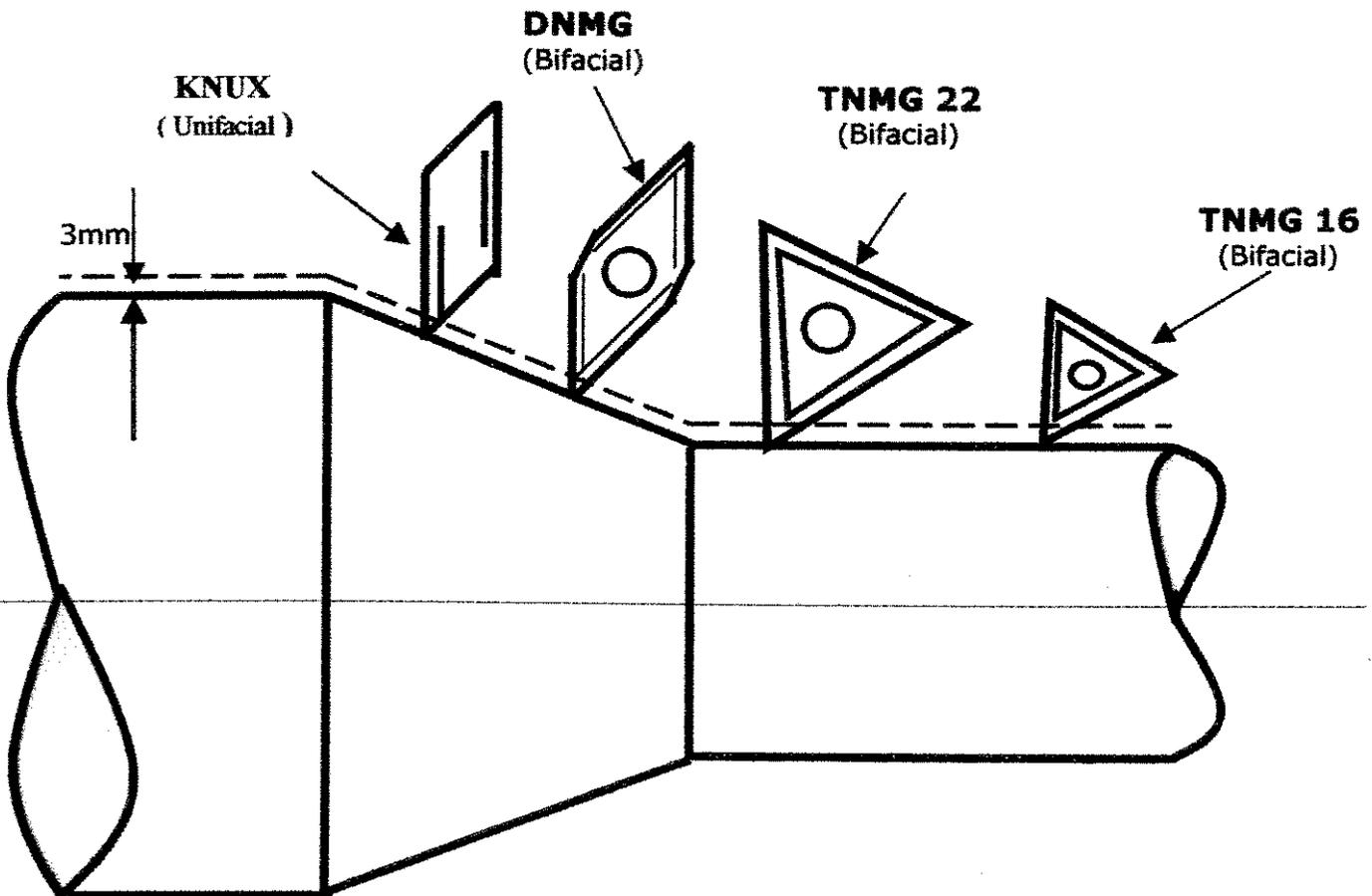


Figura 40 Exemplo de aplicação da teoria da Análise do Valor

Seguindo a teoria da análise do valor, é necessário perguntar se há uma outra pastilha que pode cumprir a mesma função, ou seja, executar o mesmo trabalho de usinagem por um custo menor. Considere a pastilha DNMG150604PM. Com ela seria possível executar a mesma usinagem por um custo menor, uma vez que o preço da pastilha é praticamente o mesmo, contudo, como a pastilha possui 4 arestas úteis ao invés de 2, o custo por aresta seria menor, além do fato de apenas 50 pastilhas darem conta do trabalho ($200/4 = 50$).

Apesar do ganho conseguido com a DNMG, é preciso persistir na pergunta “há alguma outra pastilha que pode cumprir a mesma função por um custo menor?”. Considere agora a utilização de uma pastilha TNMG220404PM que é capaz de realizar o mesmo trabalho e oferece 6 arestas por um preço equivalente ao da pastilha anterior. Desta maneira a necessidade de pastilhas cairia para 34 pastilhas ($200/6 = 33,3$).

A opção da TNMG220404PM é bem melhor, mas deve-se persistir mais uma vez na pergunta “há alguma outra pastilha que pode cumprir a mesma função por um custo menor?”. Com a TNMG de 22 mm de aresta percebemos a vantagem de poder utilizar uma pastilha de 6 arestas, contudo, como a profundidade de corte a ser removida é de apenas 3 mm, por que não utilizar uma pastilha triangular de 16mm de aresta, ou seja, uma TNMG160404PM. Assim tem-se a mesma vantagem das 6 arestas porém em uma pastilha de custo aproximado a USD 4,00.

Comparado ao ponto de partida com as KNUX quando seriam necessárias 100 pastilhas a USD5,00, portanto, USD 500,00 mensais, agora tem-se com as TNMG de 16mm a necessidade de apenas 34 pastilhas a USD 4,00 o que significa USD 136,00 mensais, ou seja, uma economia de aproximadamente 73% comparado a primeira escolha. Porém, a análise do valor ainda não terminou, deve-se prosseguir com a pergunta “há alguma outra pastilha que pode cumprir a mesma função por um custo menor?” até “sangrar a língua”, pois ainda podemos otimizar o tamanho do raio de 0,4 para 1,2, e depois podemos checar se a geometria de quebra cavacos PM é a mais recomendada para tal operação. Em seguida podemos otimizar a classe de metal duro de ISO P40 para ISO P15 com triplo revestimento. Depois poderíamos ainda otimizar avanços e velocidades na pastilha mais econômica, de acordo com o que foi descrito no capítulo II.4, sobre seleção dos parâmetros de corte. Supondo-se que a melhor pastilha e condições de corte foram

estabelecidas, ainda restaria saber que fornecedor propõe a melhor condição de suprimento em termos de preço, entrega, assistência técnica e garantias.

Resumindo, para uma mesma necessidade de arestas por mês, quanto mais arestas oferecer uma pastilha, menor será o volume de compra dessas tais e, quanto mais ajustada a operação que deverá executar maior a contribuição para a redução de custos com ferramentas.

Mais uma vez é importante enfatizar que a Análise do Valor deveria começar pelos gargalos de produção por razões óbvias, mas de toda maneira, mesmo a otimização em alguma operação anterior ao gargalo pode ser útil, desde que se faça um adequado balanceamento da linha de produção após as melhorias que se tenha obtido no pré gargalo. A Análise do Valor também poderia ser aplicada não somente na escolha e aplicação de ferramentas para usinagem, mas desde a concepção dos projetos de peças e sequenciamento de operações, ainda que tenham nada a ver com usinagem. A Análise ou Engenharia do Valor é uma técnica que poderia ser aplicada a qualquer processo de desenvolvimento.

3.2.4. Importância da Mão de Obra

Apesar de haver uma tendência de mudança, em direção a se ter operadores de máquinas responsáveis também pelos programas e processos de usinagem, na maioria das vezes, atualmente, as atividades do fazer e do pensar se encontram separadas em diferentes departamentos, ou seja, os técnicos de processos pensam e elaboram os programas, enquanto os operadores executam a usinagem. Ocorre que os problemas de usinagem muitas vezes surgem quando o técnico ou engenheiro responsável não está por perto, e é até possível que o operador da máquina saiba que alterações se deva fazer para que o problema seja sanado, porém, nada pode ser feito sem a autorização da engenharia e enquanto a assistência não chega, ou a máquina pára, ou se trabalha em condições de produtividade desfavorável.

É verdade que muito se tem feito para a busca de um sistema autônomo de gestão, onde o fluxo de produção seja ininterrupto, todavia, ainda existem muitas empresas onde os operadores

poderiam ser melhor aproveitados para a melhoria contínua dos processos de usinagem, pois, ao invés de simplesmente apertar botões ou girar manivelas poderiam também pensar e processar mudanças para otimização da usinagem, até porque passam aproximadamente 100% do seu tempo acompanhando a usinagem e é ali que os fenômenos acontecem, não lá no escritório onde os programas e processos estão sendo elaborados.

O treinamento é a única forma de se manter os recursos humanos atualizados com as contínuas mudanças das necessidades técnico-administrativas impostas pela dinâmica mercadológica quanto a mão de obra, seja ela técnica ou operacional. O concorrente pode copiar produtos e métodos de trabalho, porém, dificilmente poderá copiar a cultura de uma empresa, portanto, a maior das vantagens competitivas que uma empresa pode apresentar contra seus concorrente é o investimento no acultramento tecno-administrativo de todos os seus "Stakeholders", ou seja, de todos aqueles que tem interesse ou algo a ver com o bom andamento dos negócios da empresa, entre esses, os profissionais da usinagem por exemplo.

As chances de a Análise do Valor obter sucesso são totais, principalmente se toda a companhia estiver voltada para essa filosofia de investir no que agrega valor e eliminar o que, ao contrário, só significar custo.

3.2.5. Critérios para a troca de ferramenta ou aresta de corte

Muito da produtividade em usinagem se perde pelo simples fato de não haver um critério claro, objetivo e bem definido para que qualquer operador saiba quando deve parar a máquina e substituir a ferramenta. É comum que a troca de ferramenta se dê de acordo com critérios pessoais de cada operador, sendo que na maioria das vezes tais critérios não os conduzem ao momento de troca em que a ferramenta de corte realmente produziu tudo o que era possível. Por esta razão, muitas vezes quando um teste comparativo se prolonga por mais de um dia de trabalho, obtemos diferentes índices de produtividade para cada turno, pois a cada um desses turnos corresponde um operador específico com seus critérios particulares para substituição de

uma aresta gasta. Uma vez variado o critério de troca, o volume de peças produzidas por aresta de corte logicamente também varia.

Valendo-se da Análise de Valor, um bom critério de troca seria considerar que uma troca de aresta só deveria ser efetuada quando houvesse uma falha em uma função vital. Desse modo, a máquina apenas seria parada para troca de arestas quando a pastilha deixasse de remover metal, não garantisse mais as tolerâncias, o acabamento e nem gerasse o perfil desejado. A substituição da geometria, da classe ou até mesmo do fornecedor poderia ocorrer quando as funções complementares não fossem atendidas, contudo, quando uma função desnecessária não fosse contemplada, nada precisaria ser feito.

Observando-se o cotidiano é possível notar que muitas paradas de máquina ocorrem, pelo fato de o operador observar mais a ferramenta do que a peça. Exagerando, pode-se dizer que enquanto a usinagem ocorrer com dados de corte otimizados e no final do processo se estiver obtendo peças de acordo com as especificações do desenho pouco importa a cor da pastilha, a fiação ou a fumaça promovida pelo corte. Afinal, o que importa mais é a peça. Embora essa afirmação possa gerar controvérsias, no mínimo serve de base para a orientação de operadores, no sentido de se atender ao bom senso para obter o máximo, evitando desperdícios com ferramentas que acabam sendo mal utilizadas.

O fato de os operadores não possuírem um critério adequado para substituição da arestas, não consiste em novidade e justifica a razão pela qual o departamento de engenharia de produção atribua a eles, parte da responsabilidade pela não obtenção da máxima produtividade, contudo, a responsabilidade pelo adequado treinamento, conscientização e motivação desses operadores, para que desempenhem suas atividades da melhor maneira, também depende muito da iniciativa do próprio departamento de engenharia.

Um outro ponto a ser destacado é que, em geral, os engenheiros são mais sensíveis às falhas práticas oriundas do mal desempenho dos operadores do que os operadores são sensíveis às falhas técnicas oriundas da engenharia. Assim, a atividade do engenheiro é mais pensante e menos física, ao passo que os operadores agem fisicamente e têm menos tempo para pensar e

detectar se a engenharia está cometendo alguma irregularidade técnica nos procedimentos que encaminham para a produção. A não ser que tal irregularidade incorra em falhas que interfiram diretamente na prática, ou seja, nas funções vitais de desempenho da ferramenta ou em funções de estima do operador como mencionado anteriormente nesse trabalho. É possível, portanto, que esse seja o motivo pelo qual a falta de critério do operador em decidir o melhor momento para a troca de ferramentas seja mais evidenciada do que a falta de critério do engenheiro para escolher a melhor ferramenta e adotar parâmetros ótimos de usinagem quando da elaboração de um processo de usinagem.

4. Pesquisa.

Com o objetivo de evidenciar o pressuposto de que também os engenheiros não possuem um critério claro e bem definido de como escolher ferramentas e elaborar um processo ótimo de usinagem, realizou-se uma pesquisa onde submeteu-se a elaboração de um processo de usinagem específico a um grupo de engenheiros, técnicos e especialistas em usinagem de diferentes empresas. Nesta pesquisa também foram avaliados alguns procedimentos importantes para a obtenção da máxima produtividade.

O grupo de pessoas pesquisadas foi selecionado entre os contatos profissionais que os vendedores da Sandvik mantêm em seu cotidiano. São pessoas que trabalham em empresas onde a usinagem responde por parte significativa dos custos de fabricação dos produtos que essas produzem. Tais empresas consomem dezenas de milhares de pastilhas de metal duro por ano e as pessoas pesquisadas exercem funções diretamente ligadas a escolha e aplicação de ferramentas nos respectivos processos de usinagem e são também responsáveis pela aprovação técnica para introdução, substituição e baixa (cancelamento) de itens de ferramentas nos inventários dos almoxarifados de ferramentas das empresas onde trabalham.

A intenção da pesquisa foi verificar se havia alguma convergência nas respostas desses especialistas e também quão apuradas eram suas respostas em comparação com as recomendações dos catálogos e manuais técnicos do fabricante de ferramentas. Quanto maior a convergência e a acuidade de suas escolhas, tanto das ferramentas, quanto dos respectivos

parâmetros de corte adotados para essas, maior seria a probabilidade de que estivessem trabalhando de forma racional, com vistas a proporcionar mínimos inventários e resultados tendendo a produtividades mais elevadas e custos conseqüentemente menores.

Para essa tarefa foram considerados dois tamanhos de lotes de peças. No primeiro caso sugeriu-se um lote de apenas 100 peças/mês e no segundo caso um lote de 2.500 peças/mês. No Anexo I, encontra-se o desenho da peça e as especificações da máquina. Também foi fornecido a cada um dos técnicos pesquisados um mesmo catálogo de ferramentas da empresa Sandvik.

4.1 Detalhes da Pesquisa

Para lotes de 2500 peças/mês, foram pesquisadas 26 especialistas de 13 empresas diferentes. Para lotes de 100 peças/mês, foram pesquisadas 25 pessoas de 19 empresas distintas. Para se ter uma idéia mais apurada sobre os participantes da pesquisa e suas rotinas de trabalho, além da elaboração do processo de usinagem, outras perguntas de interesse para a dissertação foram submetidas aos especialistas

As repostas foram compiladas e apresentadas em forma de gráficos de distribuição para se poder visualizar e observar melhor a convergência das repostas.

O fato de todos os entrevistados de cada respectivo grupo, serem pessoas experientes em usinagem e, além disso, terem recebido exatamente as mesmas informações sobre o serviço a ser executado, características de máquina e ferramentas disponíveis através do catálogo que lhes foi fornecido, esperava-se que pudesse haver um mínimo de convergência em suas repostas.

Uma divergência muito acentuada enfatiza a falta de critérios semelhantes para a tomada de decisões na elaboração dos processos, ou seja, critérios de decisão divergentes, levam a processos divergentes e escolhas de ferramentas e parâmetros de corte distintos que promoverão grande número de itens de ferramentas diferentes nos almoxarifados que contribuirão em muito

para o aumento dos custos com inventário e a falta de um padrão adequado de produtividade para a usinagem proposta na pesquisa.

Acredita-se que se não houver uma rotina, ou sistema, seja ele informatizado ou não, que possa orientar de modo homogêneo os elementos responsáveis pela escolha e aplicação de ferramentas nos processos de usinagem das empresas, estar-se-á perdendo uma grande oportunidade de tornar a indústria da usinagem muito mais competitiva.

Seguem informações sobre o perfil dos especialistas pesquisados e os gráficos que espelham o nível de preparo em que se encontra os profissionais da usinagem em nosso país.

4.1.2 Perfil dos analistas pesquisados.

Considerando todos os entrevistados sem exceção

Total geral: 51 entrevistados	
Escolaridade:	
Superior:	= 18 => 35 %
2° Grau:	= 27 => 53 %
Não Informou	= 6 => 12 %

Considerando apenas clientes (Sandvik, Distribuidores e Unicamp fora)

Total geral: 31 entrevistados	
Escolaridade:	
Superior:	= 6 => 19 %
2° Grau:	= 22 => 71 %
Não Informou	= 3 => 10 %

Considerando apenas os clientes:	
Já fez algum curso de usinagem:	SIM = 22 => 71 % NÃO = 6 => 19 %
Não informou:	3 => 10 %

Considerando apenas os clientes:	
Na sua empresa, após a elaboração do processo, você acompanha o primeiro lote na produção (try out):	
SIM =	23 => 74 %
NÃO =	7 => 23 %
Não informou =	1 => 3%
	Quem acompanha? = Operador
	Analista de ferramentas
	Entregador técnico
	Processista

Considerando-se apenas os clientes:

As condições de usinagem são seguidas rigidamente pela produção ?

SIM = 7 => 23 %

NÃO = 23 => 77 %

Considerando-se apenas os clientes:

A interferência é ...

Grande = 2 => 9 %

Média = 7 => 30 %

Pequena = 14 => 61 %

Onde ocorre a interferência:

VC (RPM) = 12 => 52 %

fn = 12 => 52 %

ap = 8 => 35 %

outros = 5 => 22 %

(Processo)

Considerando-se apenas os clientes:

O operador tem oportunidade de interferir no processo

SIM = 24 => 80 %

NÃO = 6 => 20 %

Considerando-se apenas os clientes :

Qual o critério adotado pelo operador para a troca de aresta ?

Acabamento superficial = 17 => 57 %

Varição Dimensional = 22 => 73 %

Quantidade de peças usinadas = 7 => 23 %

Outros = 4 => 13 %

Considerando-se apenas os clientes :

O operador foi orientado e treinado quanto ao critério adotado ?

SIM = 26 => 87 %

NÃO = 4 => 13 %

Considerando-se apenas os clientes :

Se sim que tipo de orientação foi usada:

Curso = 6 => 23 %

Palestra = 19 => 73 %

Outros = 1 => 4 %

(preparador/ supervisor)

Considerando-se apenas os clientes :

Em caso de alteração do processo, como o sistema é realimentado para que o mesmo ou os processos semelhantes sejam otimizados no futuro ?

RESPOSTAS (reproduzidas na íntegra mesmo com erros de português):

Os programas são arquivados em micro computador com a última alteração.

Uma nota na pasta de arquivo é colocada para se atualizado ou otimizar o processo

O operador passa as alterações para a supervisão ou analista de processo para que seja acompanhado as verificações

Cada processo é estudado separadamente

A empresa oferece a todos os funcionários programas de participação na gestão administrativa e de processos. As propostas são avaliadas pelas áreas competentes e as melhorias, quando aprovadas são implantadas. (SOPE - Solução de Problemas em Equipe; Programa de idéias Imediatas e Equipe Multifuncionais de Apoio ao Processo)

Depto de processos também acompanha *try-out*, coleta novos dados, corrige o processo

Não há realimentação

A alteração é feita na folha de processo que segue com desenho e alterado no sistema onde são armazenadas informações dos processos

É elaborada a alteração através de listagens de CNC e ou folha de preparação antes da peça entrar na máquina.

Através de folha de operação.

O analista encarregado atualiza os dados no sistema

Alteração na folha de processo da operação (parte do plano de trabalho do produto)

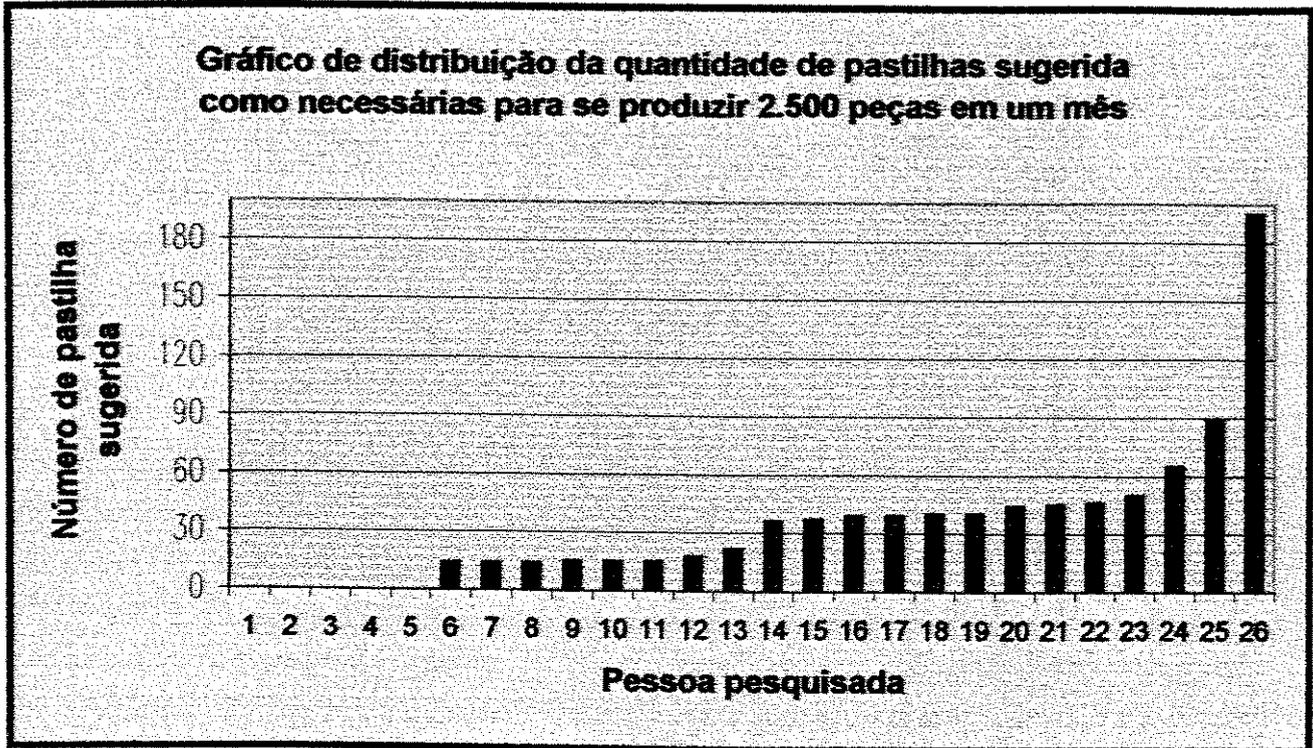
É registrada todas alterações em uma folha a parte do processo atual e no final do lote e enviado toda esta documentação p/ o setor de engenharia do processo p/ que seja modificada e atualizada no sistema.

Segue-se o plano de usinagem feito para cada peça

A fixa de produção

Não responderam = 12 => 44 %

Tabulação dos resultados da pesquisa sobre elaboração do processo de usinagem referência desse trabalho:



Esse gráfico indica que os participantes não tem uma idéia apurada de quantas pastilhas seriam necessárias para a produção mensal da peça proposta na pesquisa. Poderia tanto haver uma parada de máquina por falta de pastilhas, quanto um excesso delas no estoque encarecendo custos, além de 5 pessoas não terem oferecido qualquer resposta.

GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO NA SELEÇÃO DE PASTILHAS DE DESBASTE PARA PRODUÇÃO DE 100 PÇS / MÊS

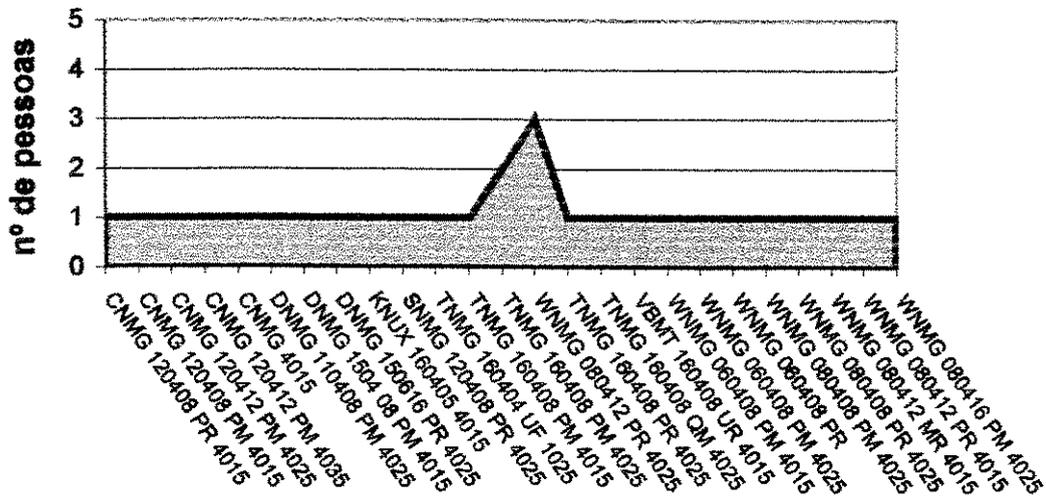
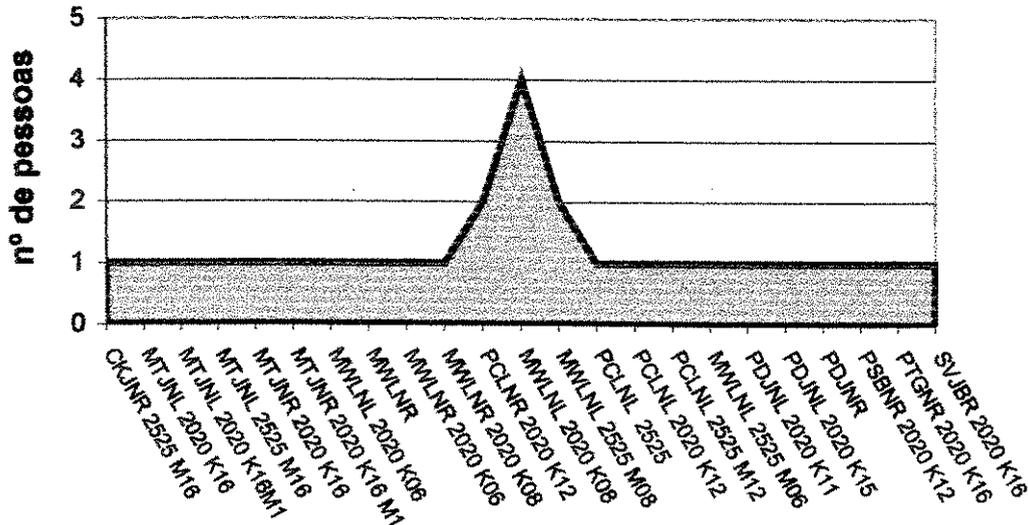
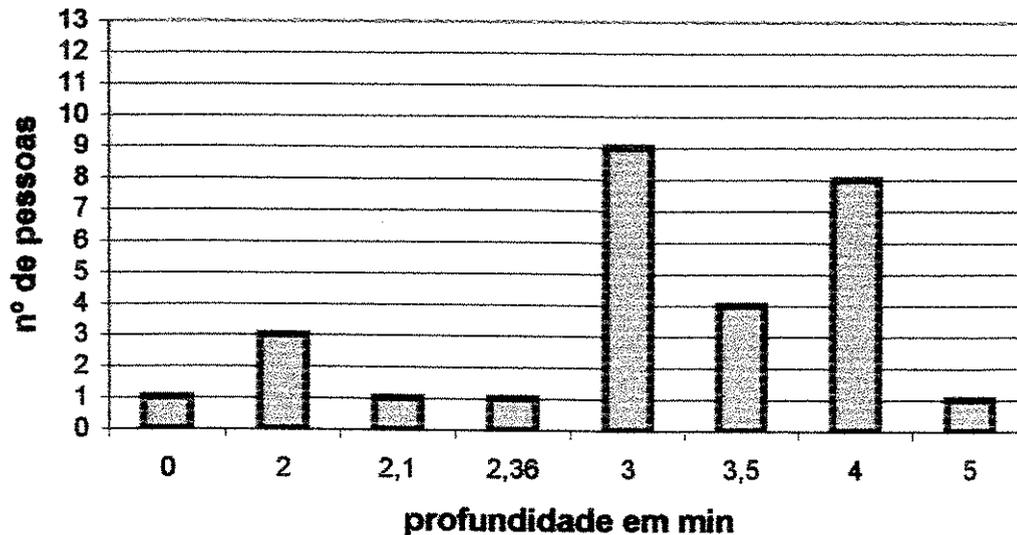


GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO NA SELEÇÃO DE SUPORTES NO DESBASTE PARA PRODUÇÃO DE 100 PÇS/MÊS



**GRÁFICO DE DISPERSÃO NA SELEÇÃO DE PROFUNDIDADE
(ap) - OP DE DESBASTE- PARA PRODUÇÃO DE 100 PÇS/MÊS**



**GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO NA SELEÇÃO DE AVANÇO
(fn) - OP DE DESBASTE-
PARA PRODUÇÃO DE 100 PÇS/MÊS**

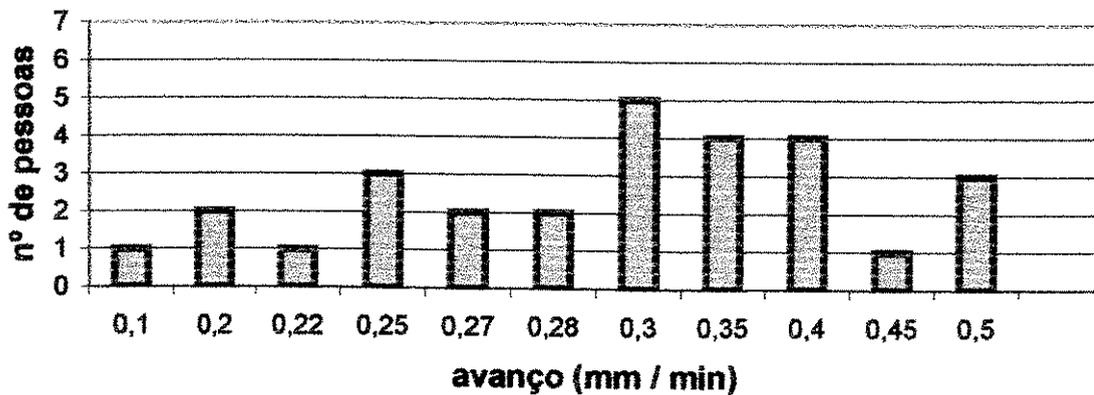


GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO NA SELEÇÃO DE VELOCIDADE DE
CORTE (V_c) - OP. DESBASTE-
PARA PRODUÇÃO DE 100 PÇS/MÊS

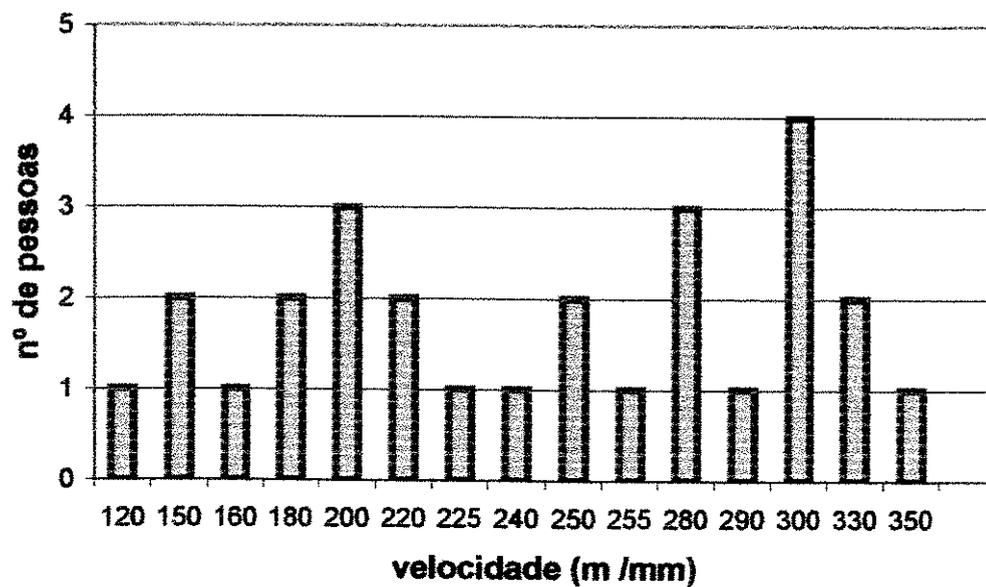


GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO NA SELEÇÃO DE PASTILHAS PARA ACABAMENTO PARA PRODUÇÃO DE 100 PÇS/MÊS

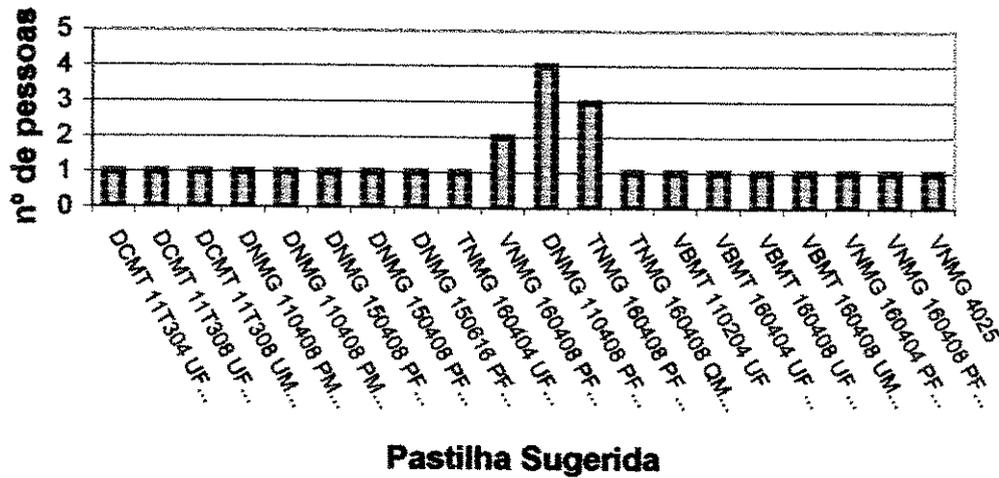


GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO NA SELEÇÃO DE SUPORTES NO ACABAMENTO PARA PRODUÇÃO DE 100 PÇS/MÊS

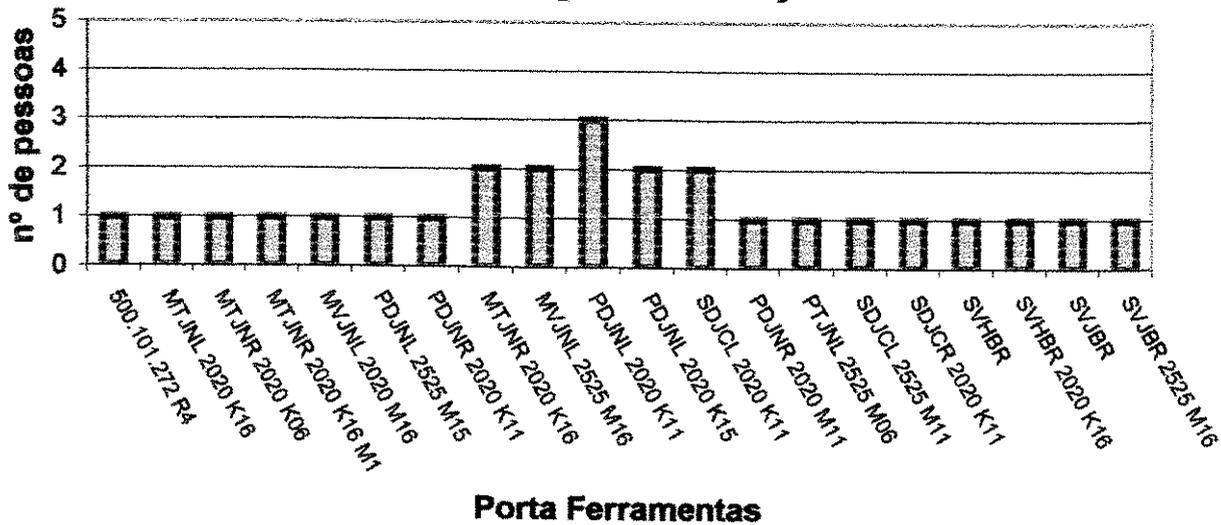


GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO NA SELEÇÃO DE PROFUNDIDADE (ap) - OP DE ACABAMENTO- PARA PRODUÇÃO DE 100 PÇS/MÊS

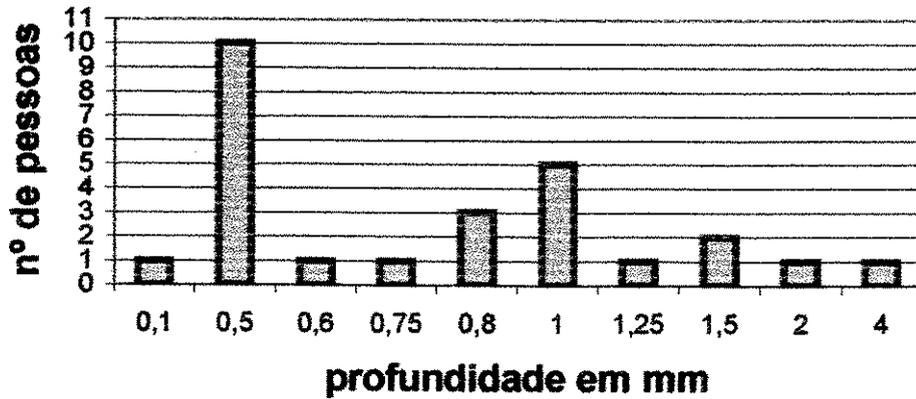


GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO NA SELEÇÃO DE AVANÇO (fn) - OP DE ACABAMENTO - PARA PRODUÇÃO DE 100 PÇS/MÊS

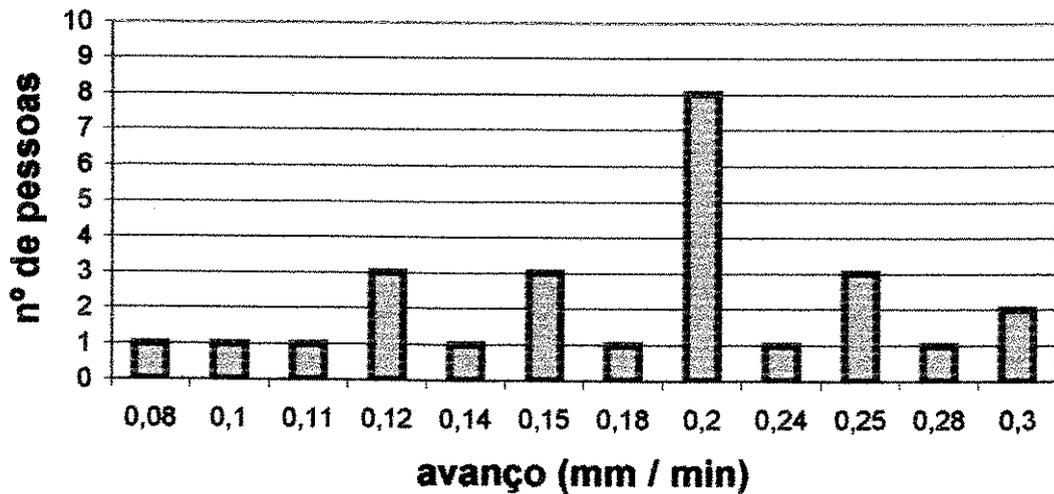


GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO NA SELEÇÃO DE VELOCIDADE DE CORTE (V_c) - OP. DE ACABAMENTO - PARA PRODUÇÃO DE 100 PÇS/MÊS

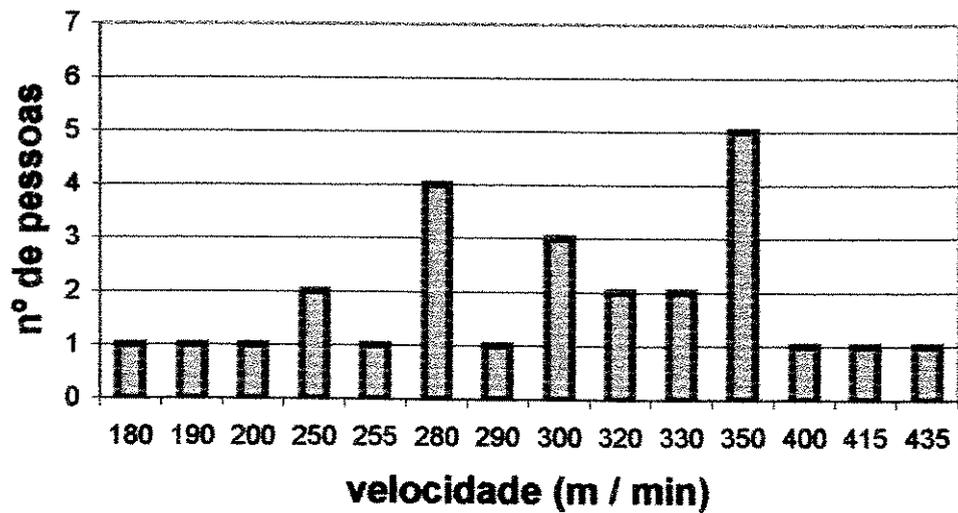


GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO NA SELEÇÃO DE PASTILHAS DE DESBASTE PARA PRODUÇÃO DE 2500 PÇS/MÊS

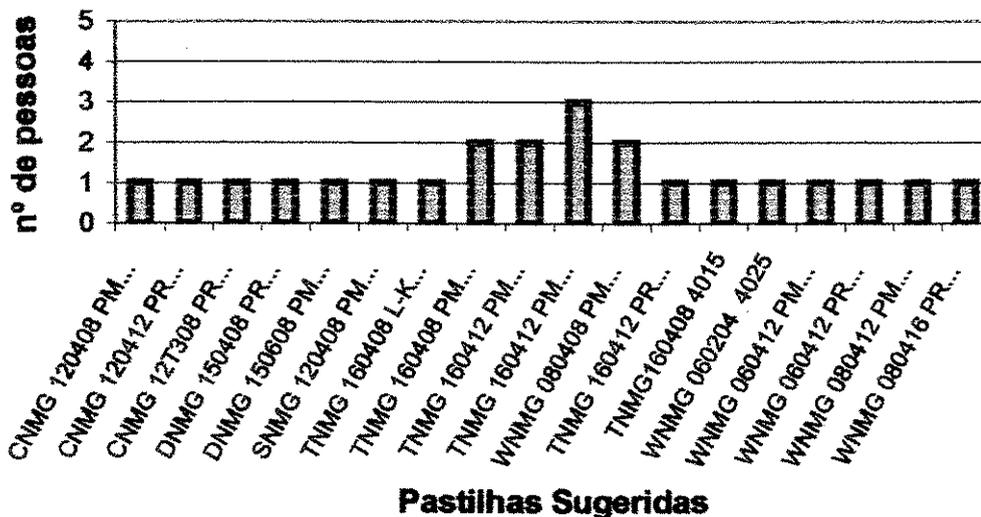


GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO NA SELEÇÃO DE SUPORTE NO DESBASTE PARA PRODUÇÃO DE 2.500 PÇS/MÊS

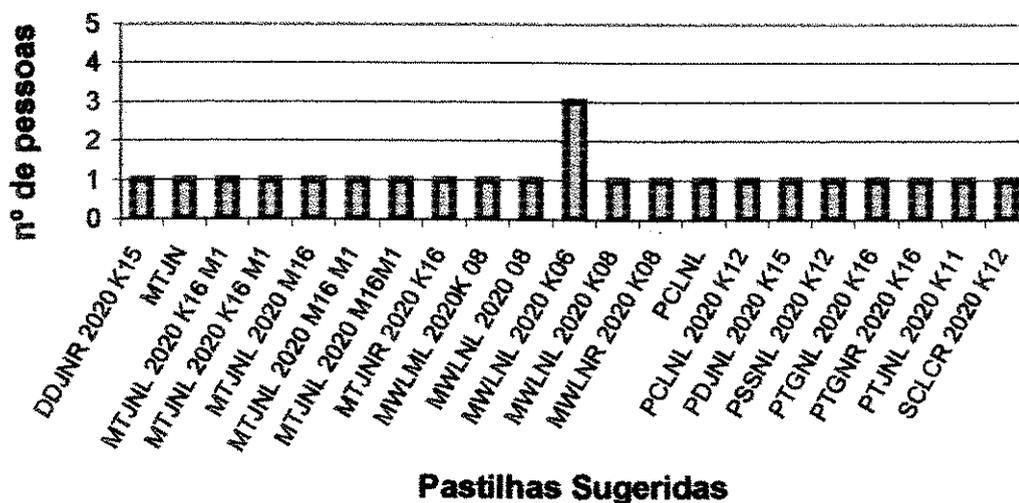


GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO NA SELEÇÃO DE PROFUNDIDADE
 (ap) - OP DE DESBASTE-
 PARA PRODUÇÃO DE 2.500 PÇS/MÊS

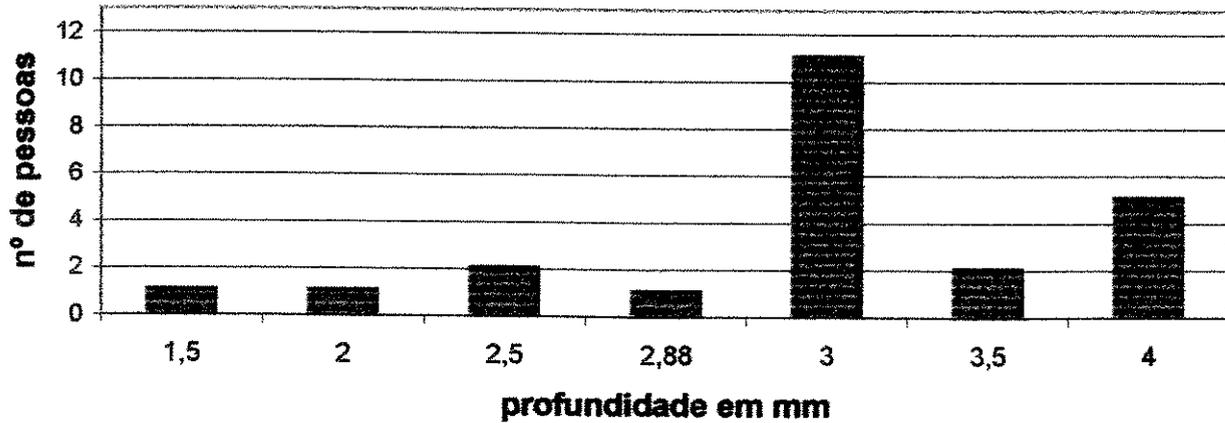


GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO NA SELEÇÃO DE AVANÇO (fn) - OP
 DE DESBASTE-
 PARA PRODUÇÃO DE 2500 PÇS/MÊS

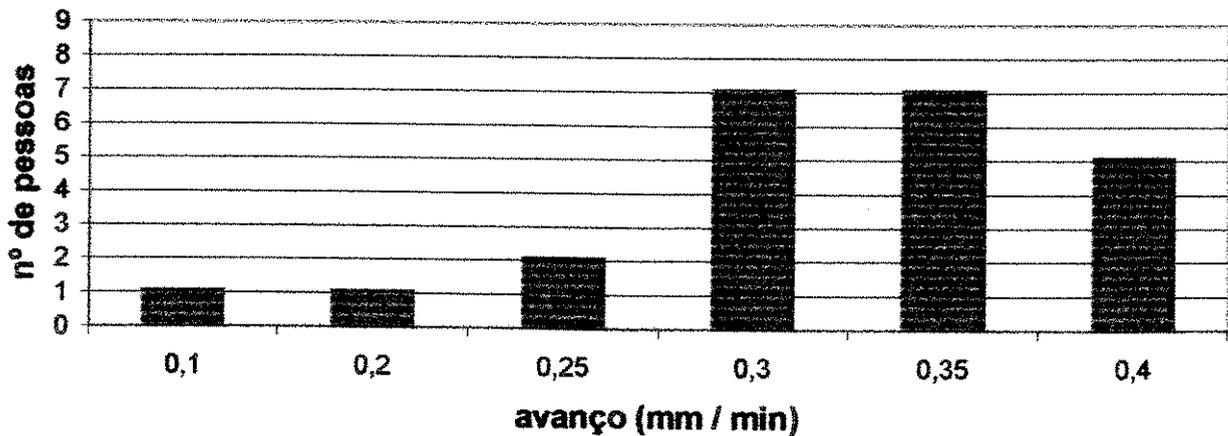


GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO NA SELEÇÃO DE VELOCIDADE DE CORTE (V_c) - OP. DE DESBASTE - PARA PRODUÇÃO DE 2500 PÇS/MÊS

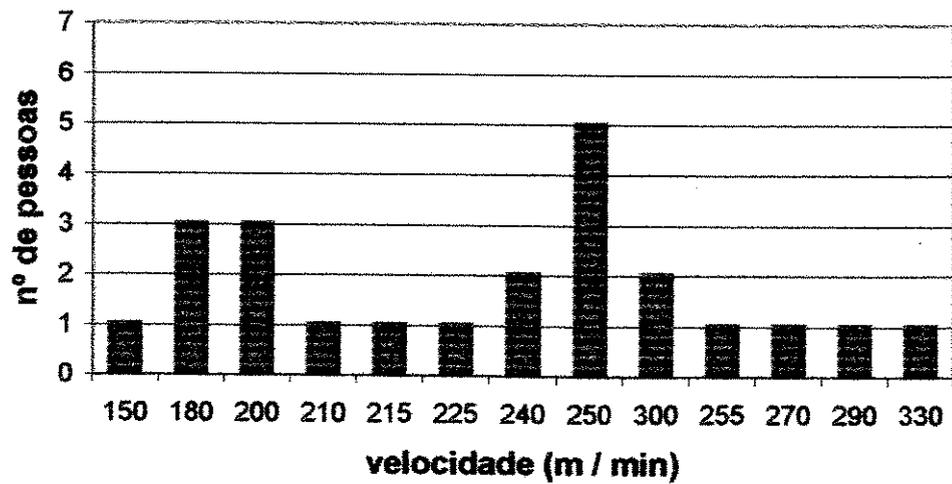


GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO NA SELEÇÃO DE PORTA FERRAMENTAS NO ACABAMENTO PARA PRODUÇÃO DE 2500 PÇS/MÊS

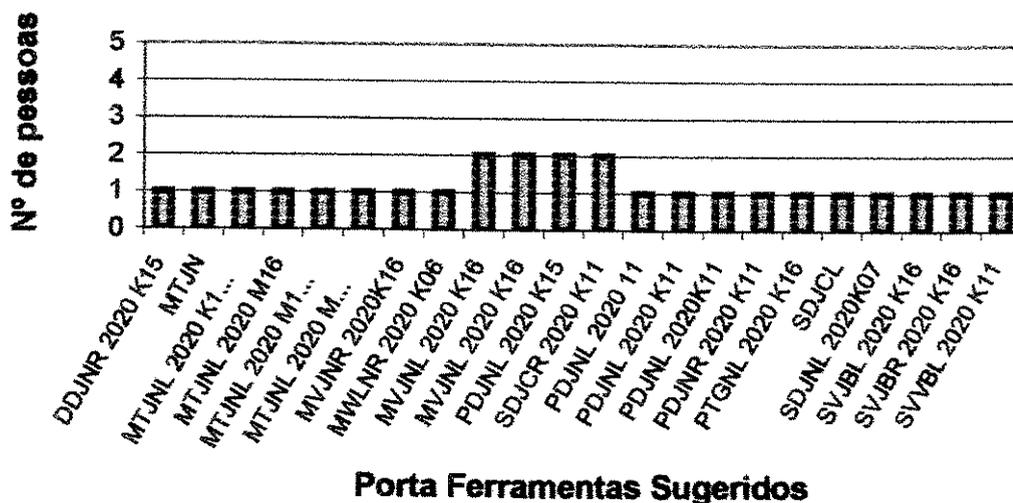
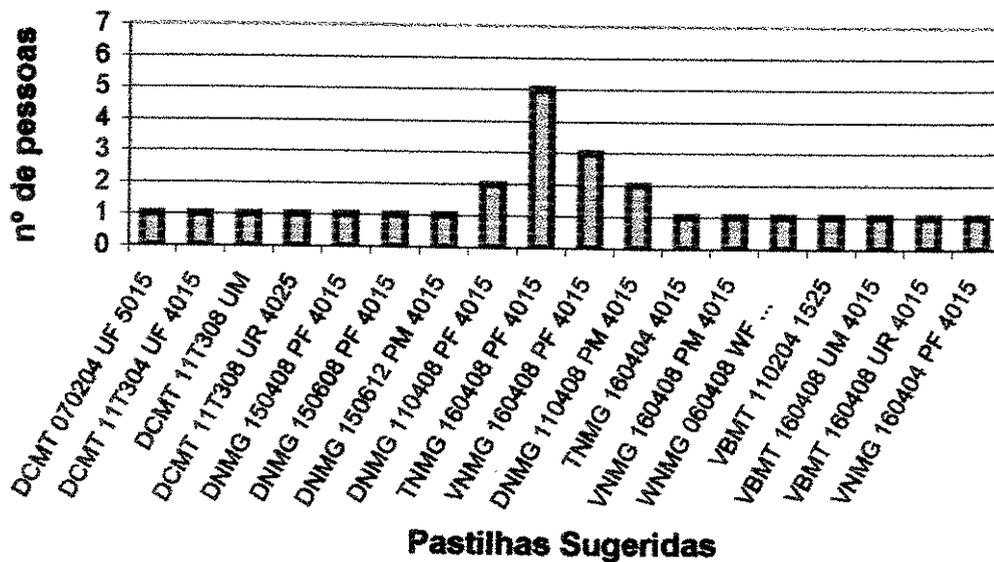
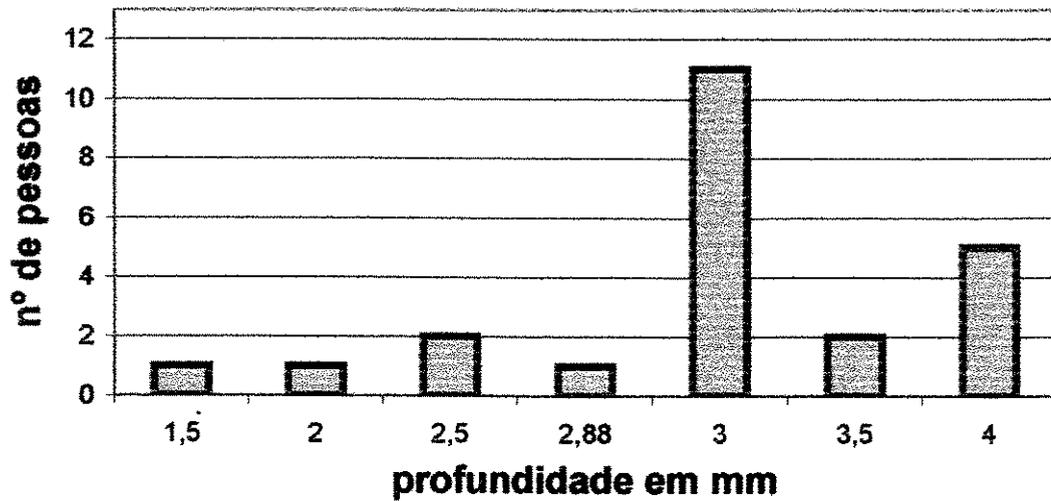


GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO NA SELEÇÃO DE PASTILHA - OP DE ACABAMENTO- PARA PRODUÇÃO DE 2500 PÇS/MÊS



**GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO NA SELEÇÃO DE PROFUNDIDADE
(ap) - OP DE ACABAMENTO - PARA PRODUÇÃO DE 2500
PÇS/MÊS**



**GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO NA SELEÇÃO DE AVANÇO DE
CORTE (fn) - OP. DE ACABAMENTO-
PARA PRODUÇÃO DE 2500 PÇS/MÊS**

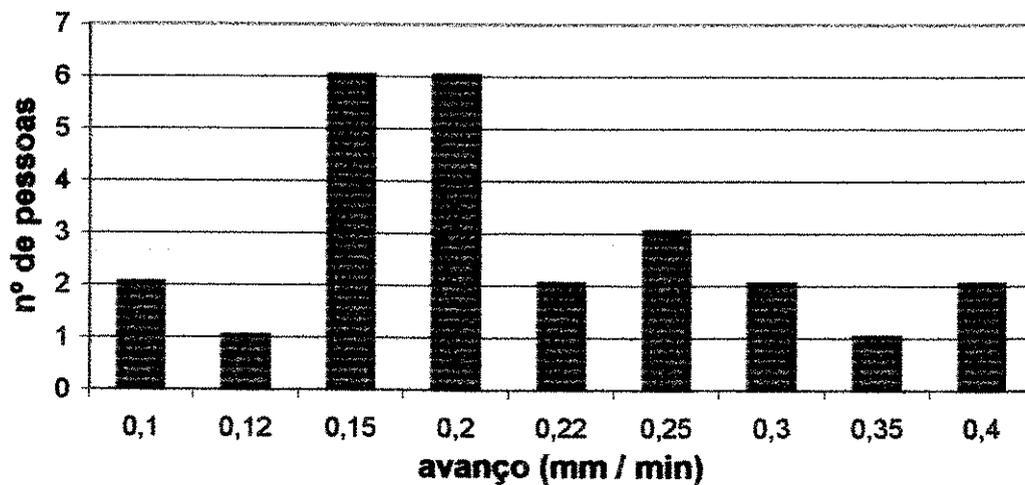


GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO NA SELEÇÃO DE VELOCIDADE DE CORTE (V_c) - OP. DE ACABAMENTO- PARA PRODUÇÃO DE 2500 PÇS/MÊS

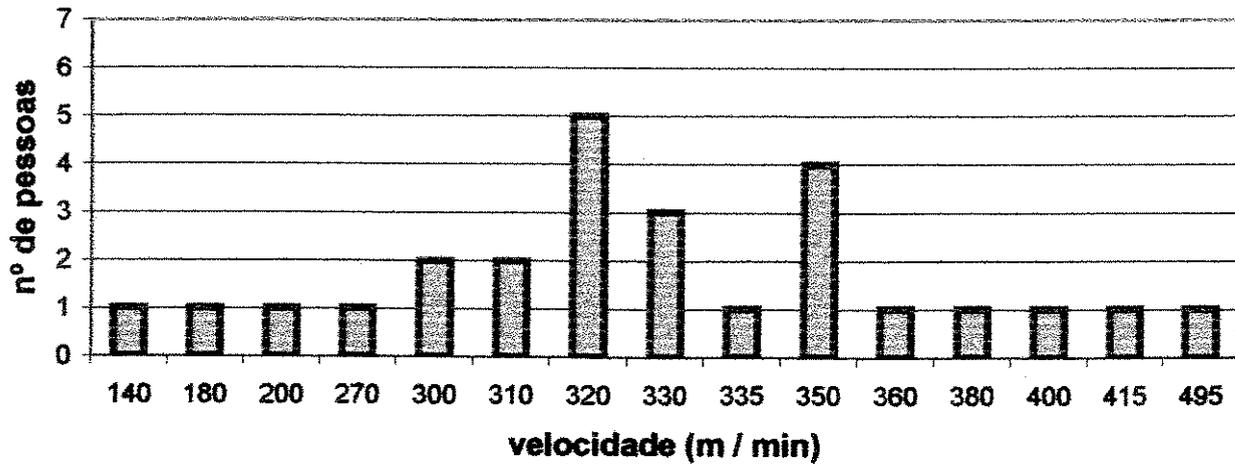
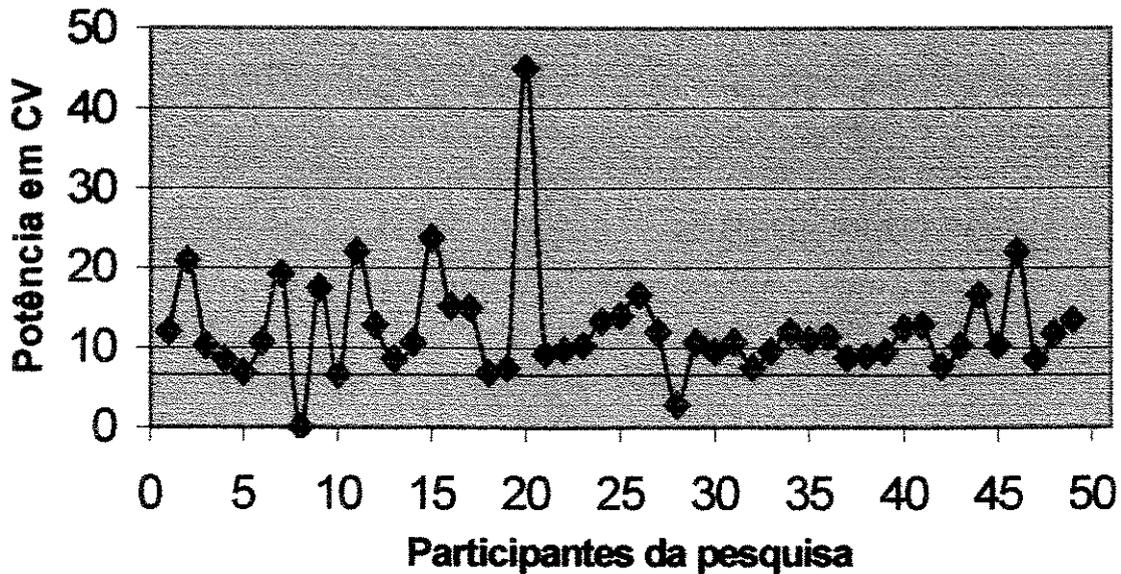


Gráfico da potência consumida conforme dados de corte sugeridos



Observando-se o gráfico acima observa-se que dos 51 técnicos que elaboraram o processo apenas 5 trabalharam dentro dos limites de potência recomendados pelo fabricante (7,5 CV), pois a condição de 10 CV, que é o limite de potência da máquina, somente poderia ser utilizada eventualmente.

De modo geral, todos os gráficos anteriores, referentes a pesquisa, mostraram que cada especialista utiliza critérios próprios, muito particulares, tanto para a escolha e aplicação de ferramentas, quanto para a respectiva determinação de parâmetros de corte, ou seja, cada cabeça uma sentença. O interessante é pensar que, partindo-se do pressuposto de que há uma única resposta ótima, se um dos pesquisados a sugeriu, todos os demais estão errados.

Percebe-se que a usinagem tem sido tocada de maneira empírica e sem princípios científicos de orientação para que o ótimo competitivo seja alcançado.

Na sequência do trabalho, convocou-se um outro grupo de pessoas, nesse caso, não especialistas em usinagem, que foram submetidos a um treinamento intensivo.

Foram revistos todos os pré-requisitos para a realização de usinagens otimizadas, abordou-se também a teoria e prática da Análise ou Engenharia do Valor como ferramenta de trabalho para a elaboração de processos de usinagem a custos mínimos, enfim, apresentou-se a eles a teoria contida na presente dissertação.

Os resultados obtidos antes e depois do curso encontram-se a seguir, representados em gráficos de distribuição de escolha. Apesar de encontrar-se algumas excessões, na maioria dos casos, os participantes apresentaram melhora significativa na qualidade de suas decisões e uma maior convergência pode ser notada em suas respostas.

Fica muito claro que se não houver um treinamento adequado, ou mesmo um software de apoio a elaboração de processos de usinagem, que possam induzir às melhores práticas, muito da competitividade que se poderia obter através da usinagem, estará sendo perdido por falta de um método adequado de gestão desses processos.

Os resultados obtidos na presente pesquisa, provam que a observância do conteúdo desse trabalho, pode conduzir os responsáveis pela elaboração de processos de usinagem de qualquer empresa, não só a respostas mais convergentes, mas acima de tudo muito mais produtivas e econômicas.

Seguem os gráficos com as respostas desse segundo grupo de pessoas pesquisadas, onde se pode verificar o progresso promovido pelas técnicas de escolha e aplicação de ferramentas aqui prescritas.

Tabulação dos resultados da pesquisa sobre elaboração do processo de usinagem referência desse trabalho (turma 2 antes e depois do treinamento) :

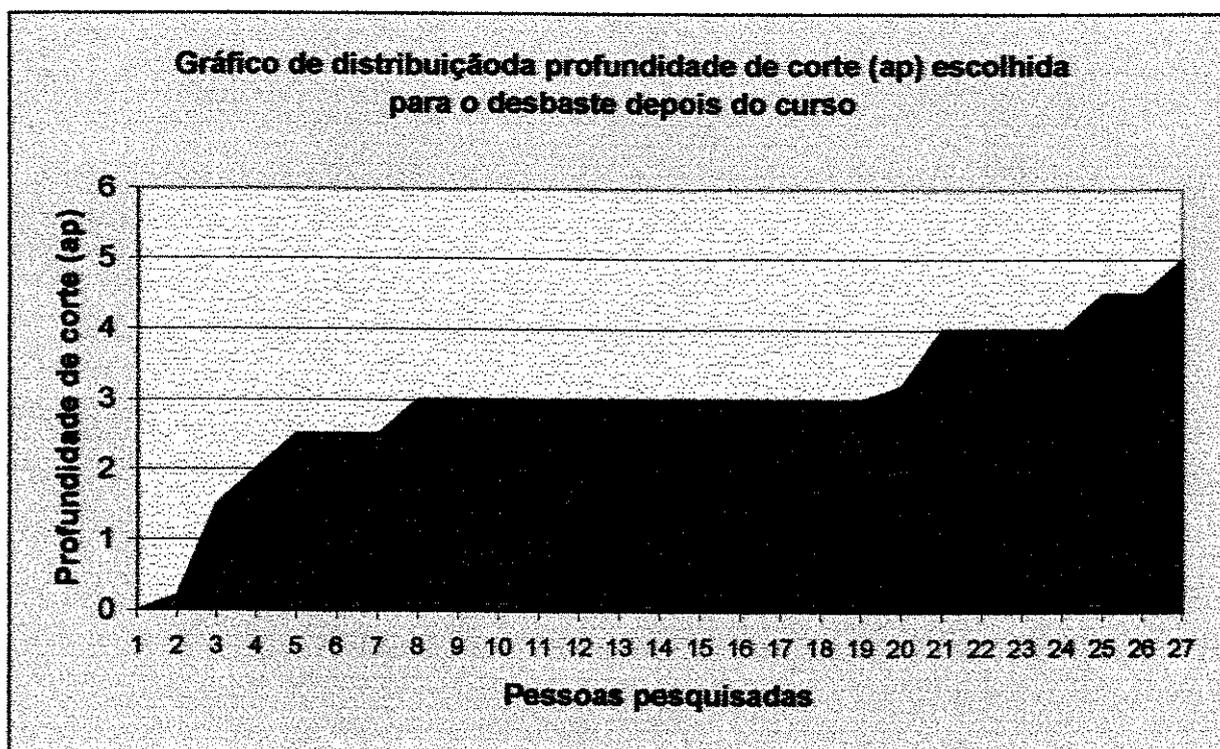
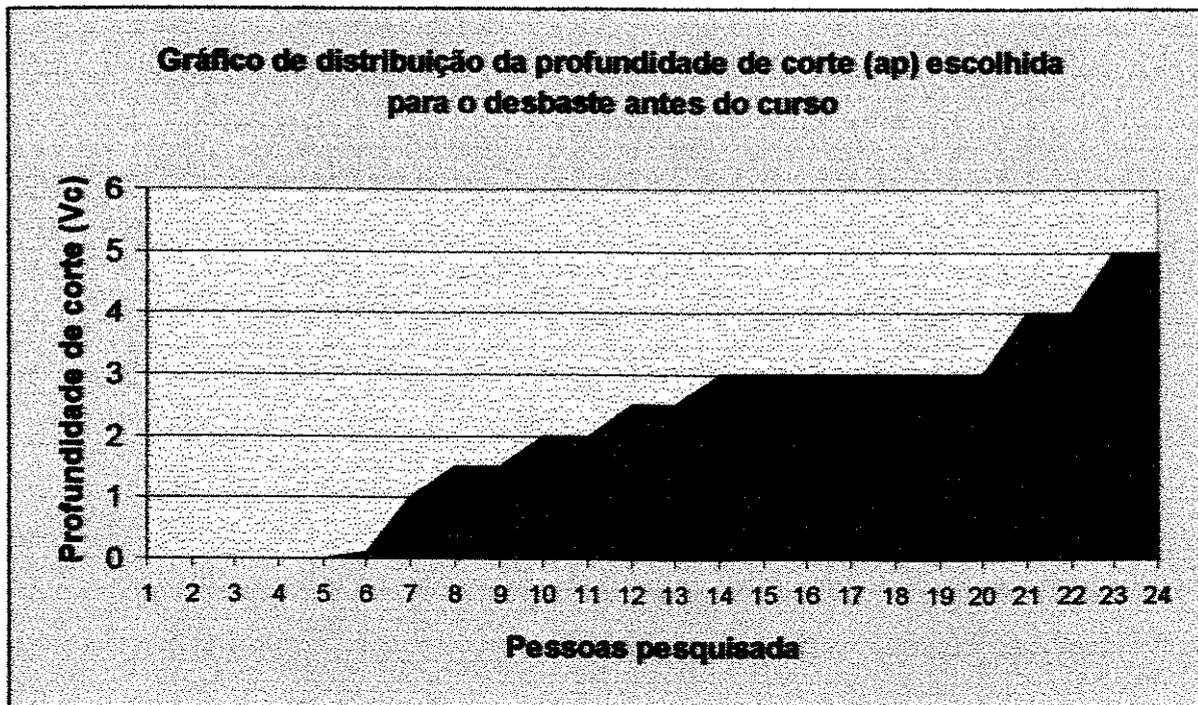


Gráfico de distribuição de avanços por rotação (fn) escolhidos para o desbaste antes do curso

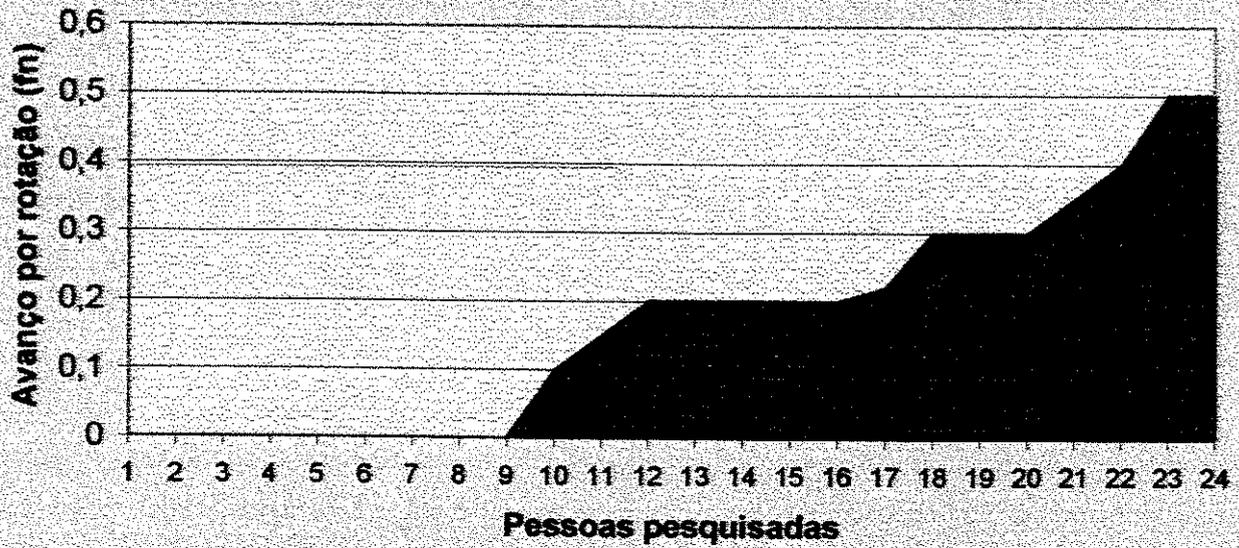


Gráfico de distribuição de avanços por rotação (fn) escolhidos para o desbaste depois do curso

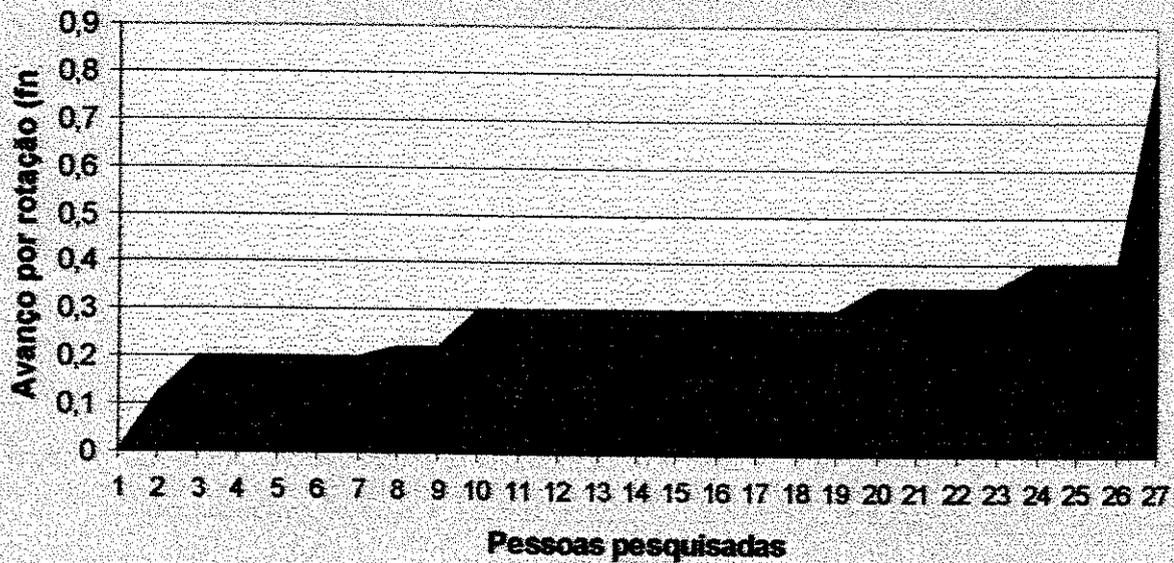


Gráfico de distribuição da velocidade de corte (V_c) escolhida para o desbaste antes do curso

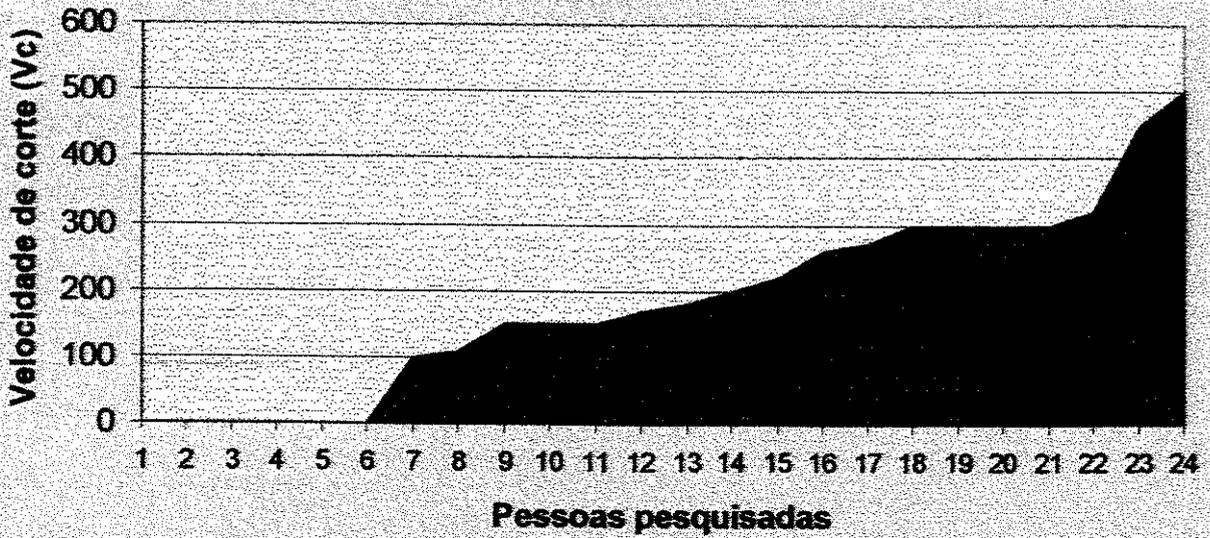


Gráfico de distribuição da velocidade de corte (V_c) escolhida para o desbaste depois do curso

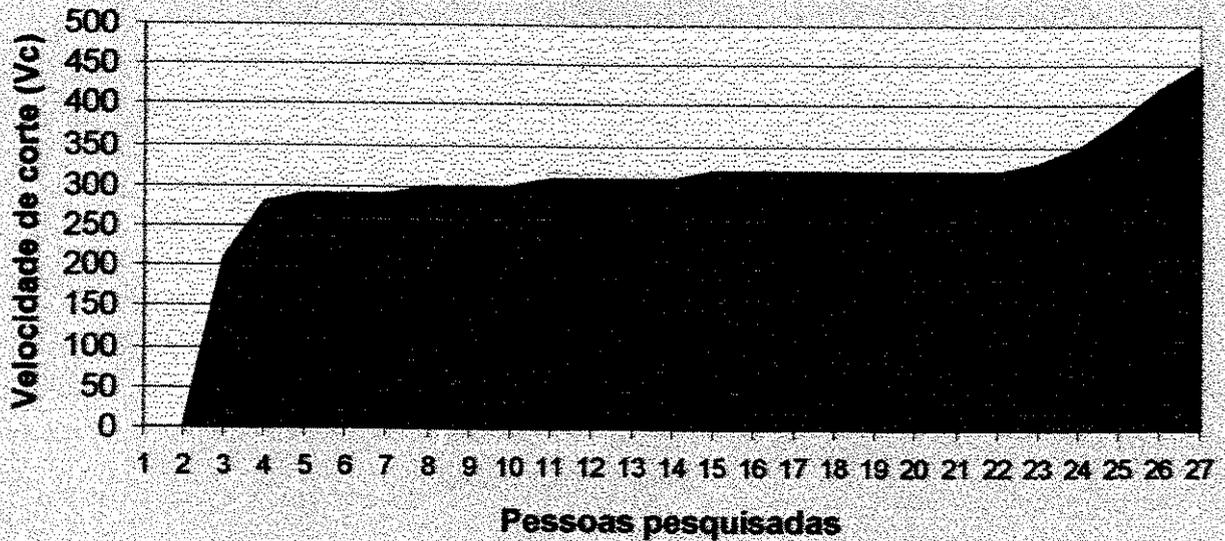


Gráfico de distribuição da profundidade de corte (ap) escolhida para o acabamento antes do curso

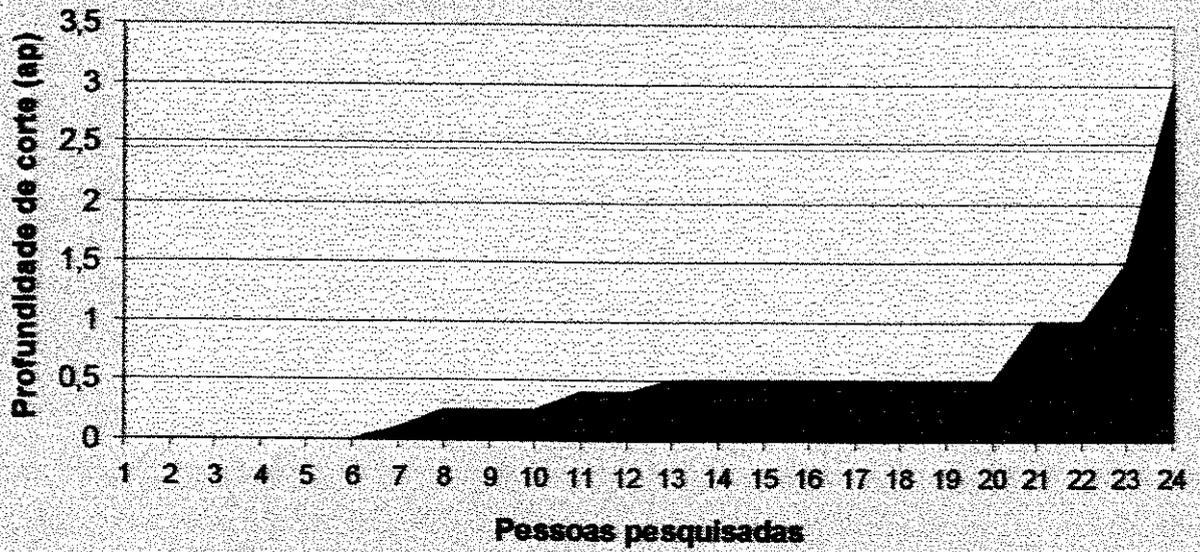


Gráfico de distribuição da profundidade de corte (ap) escolhida para o acabamento depois do curso

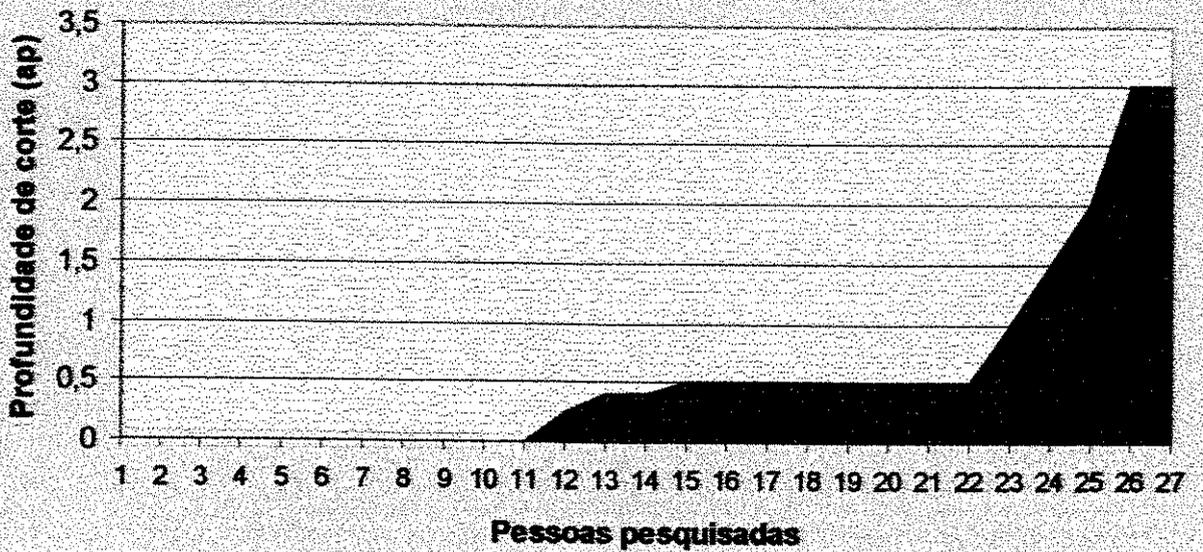


Gráfico de distribuição dos avanços por rotação (fn) escolhidos para o acabamento antes do curso

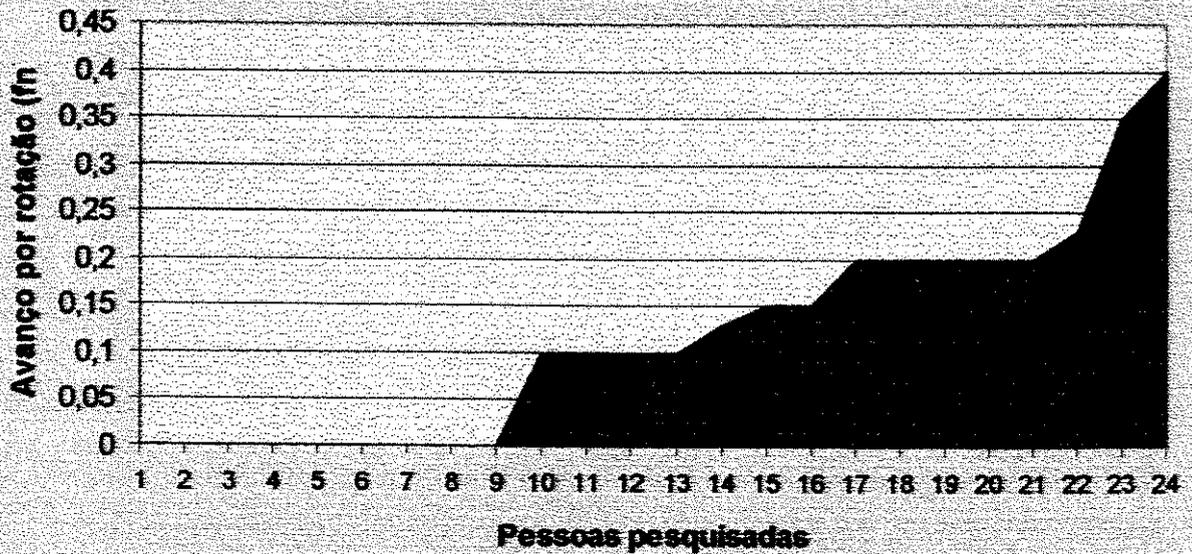
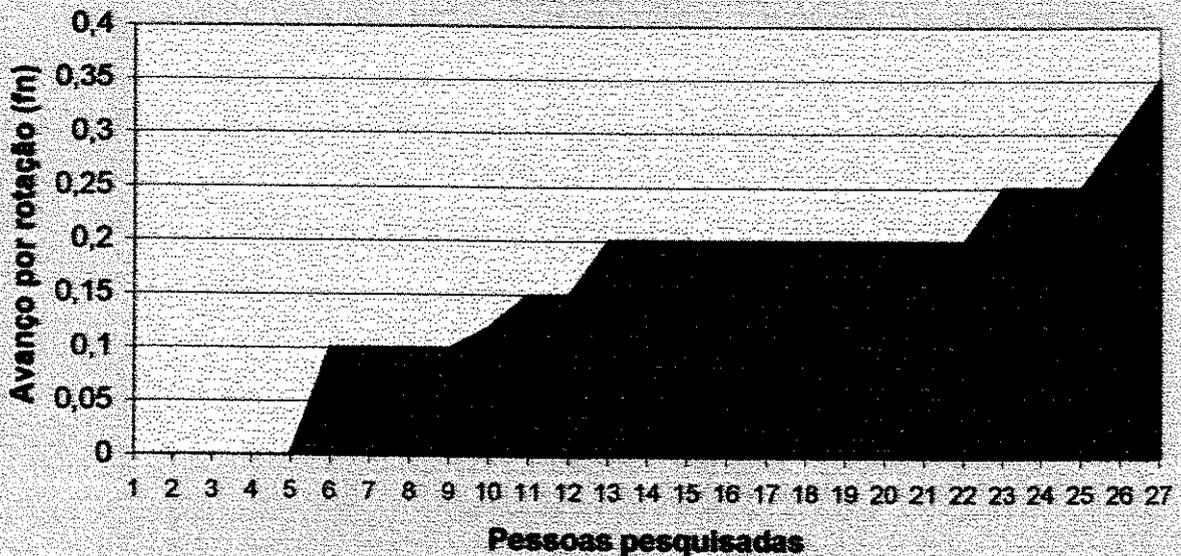
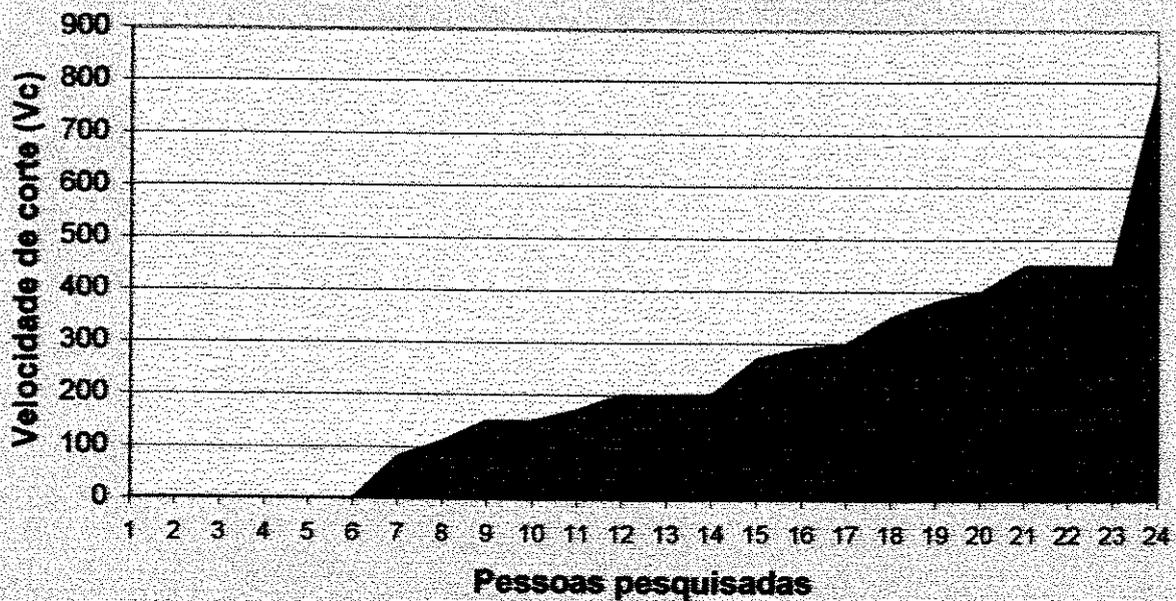


Gráfico de distribuição dos avanços por rotação (fn) escolhidos para o acabamento depois do curso



**Gráfico de distribuição das velocidades de corte (V_c)
escolhida para o acabamento antes do curso**



**Gráfico distribuição das velocidades de corte (V_c) escolhidas para
o acabamento depois do curso**

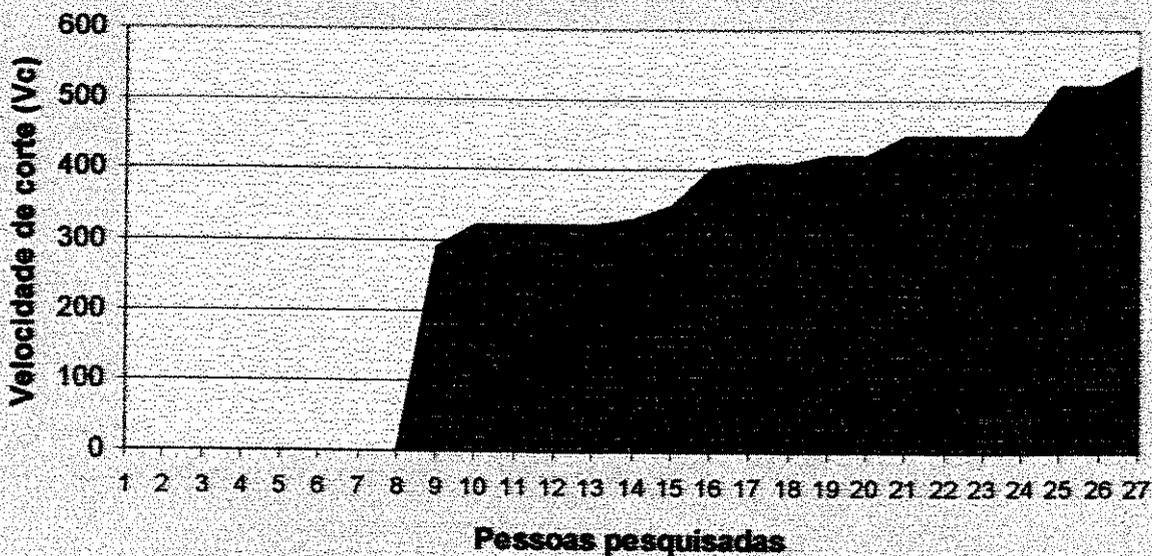


Gráfico de distribuição da escolha de porta ferramentas para desbaste antes do curso

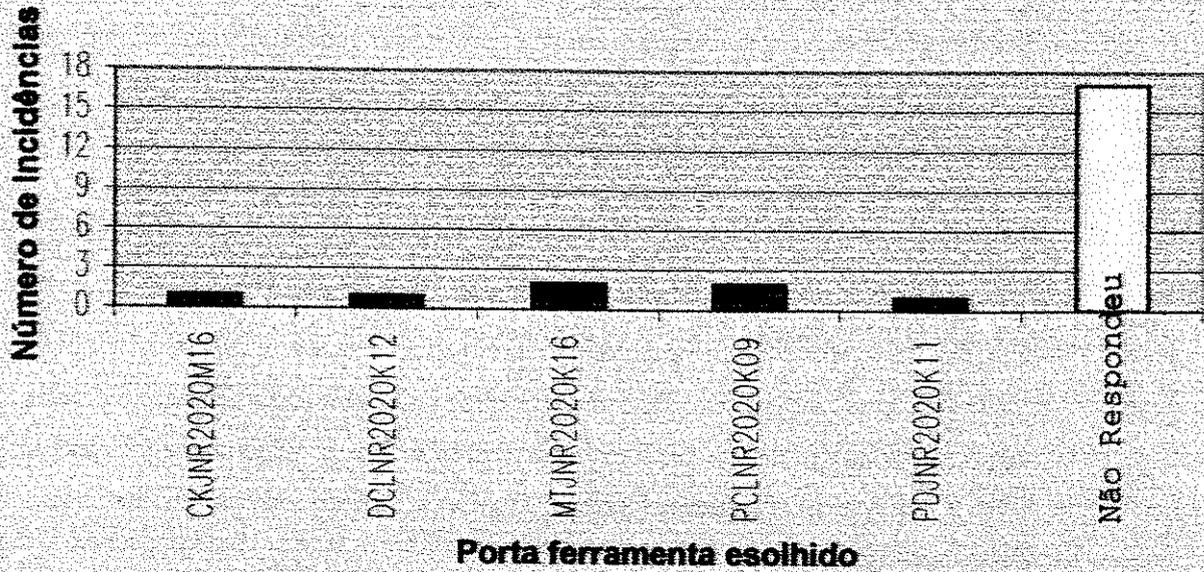
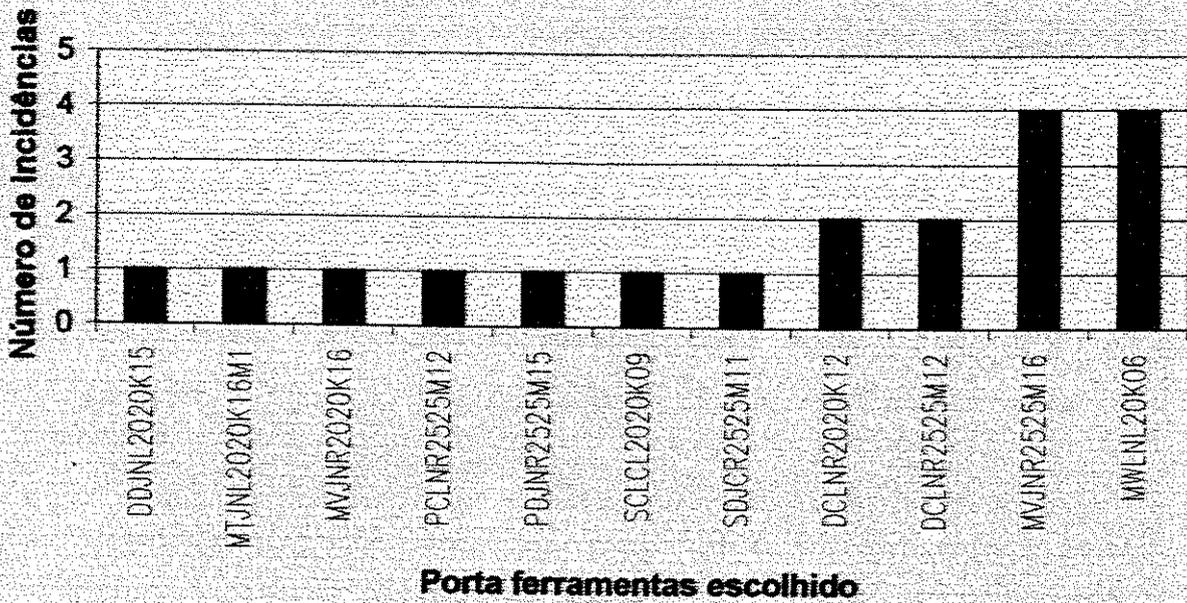
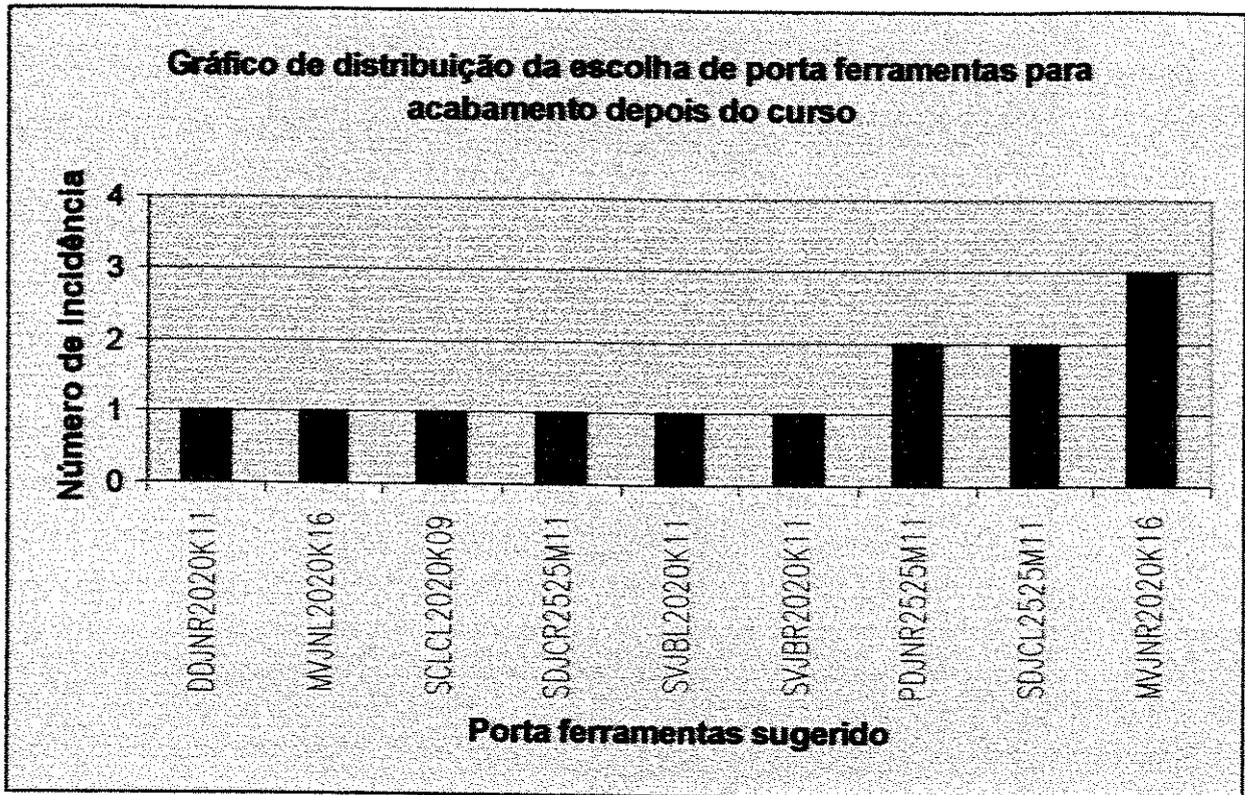


Gráfico de distribuição da escolha de porta ferramentas para desbaste depois do curso





Obs: Antes do curso não houve respostas suficientes para se montar o gráfico de distribuição da escolha de porta ferramentas para acabamento. Basicamente ninguém respondeu.

Gráfico de distribuição da escolha de pastilhas para desbaste antes do curso

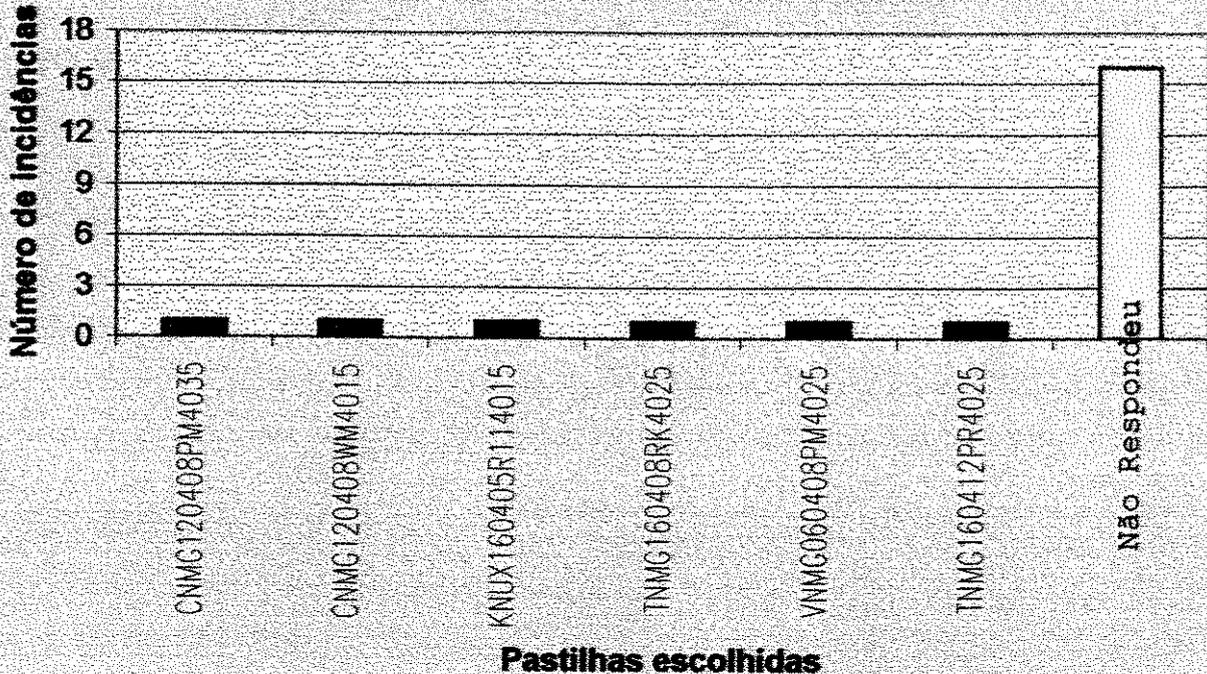
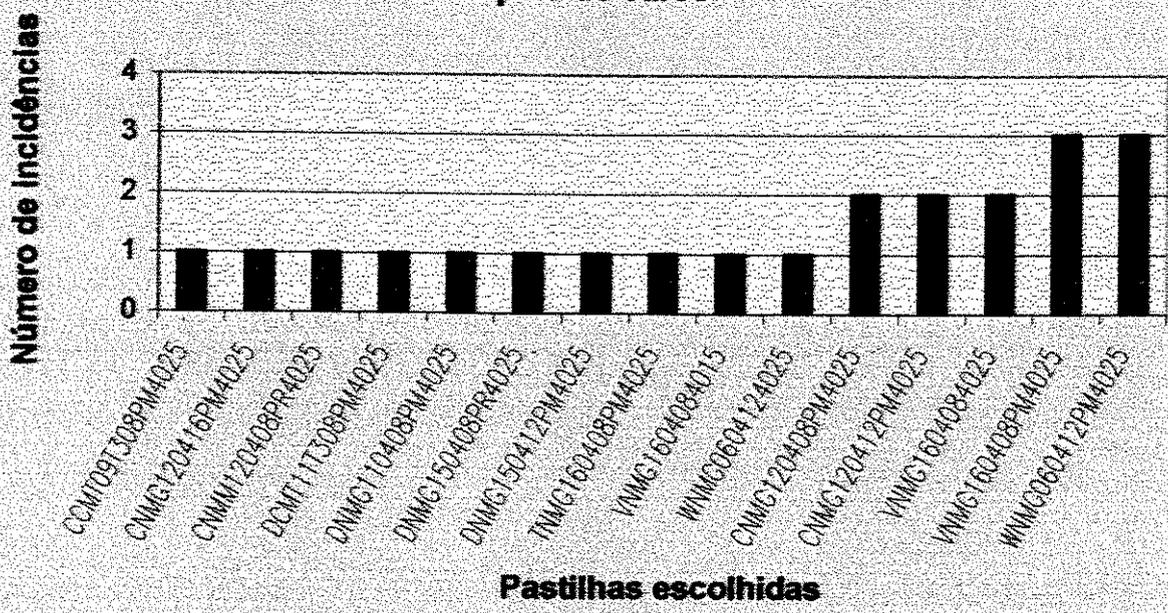


Gráfico de distribuição da escolha de pastilhas para desbaste depois do curso



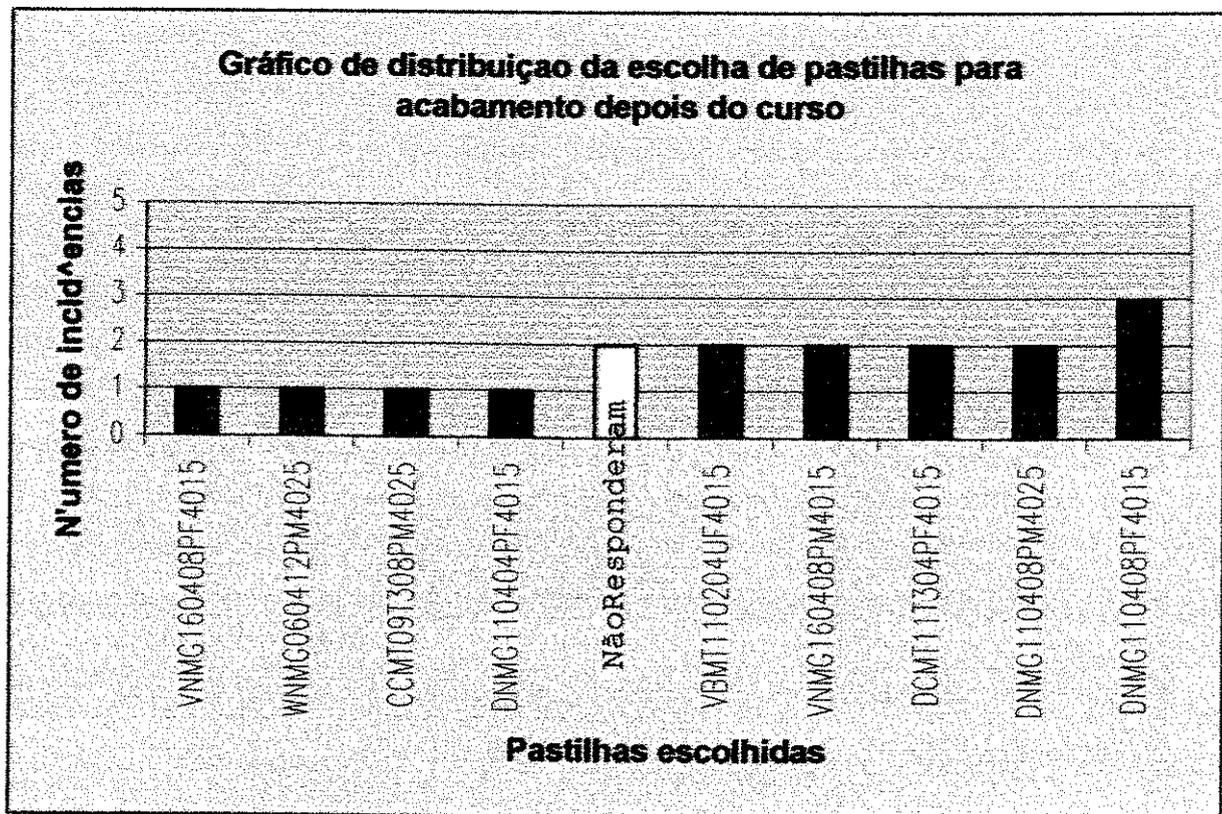
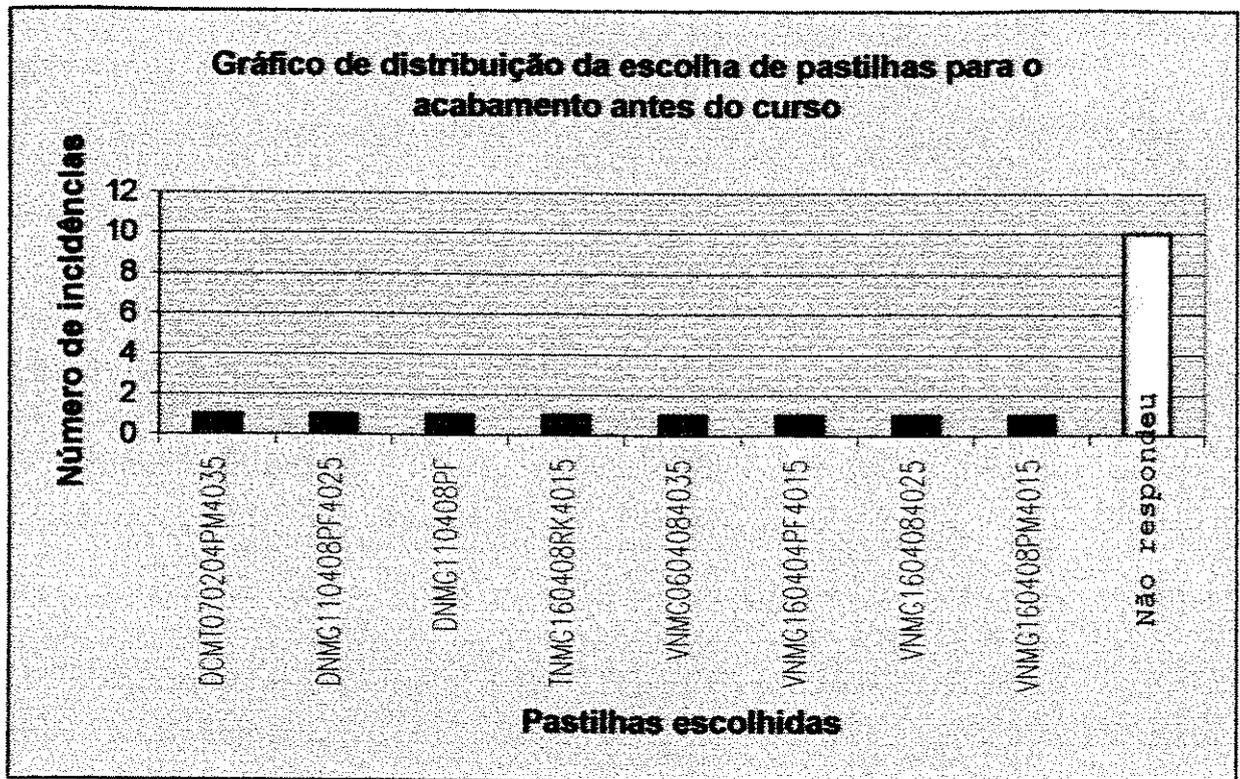


Gráfico da distribuição da escolha de classes de metal duro para desbaste depois do curso

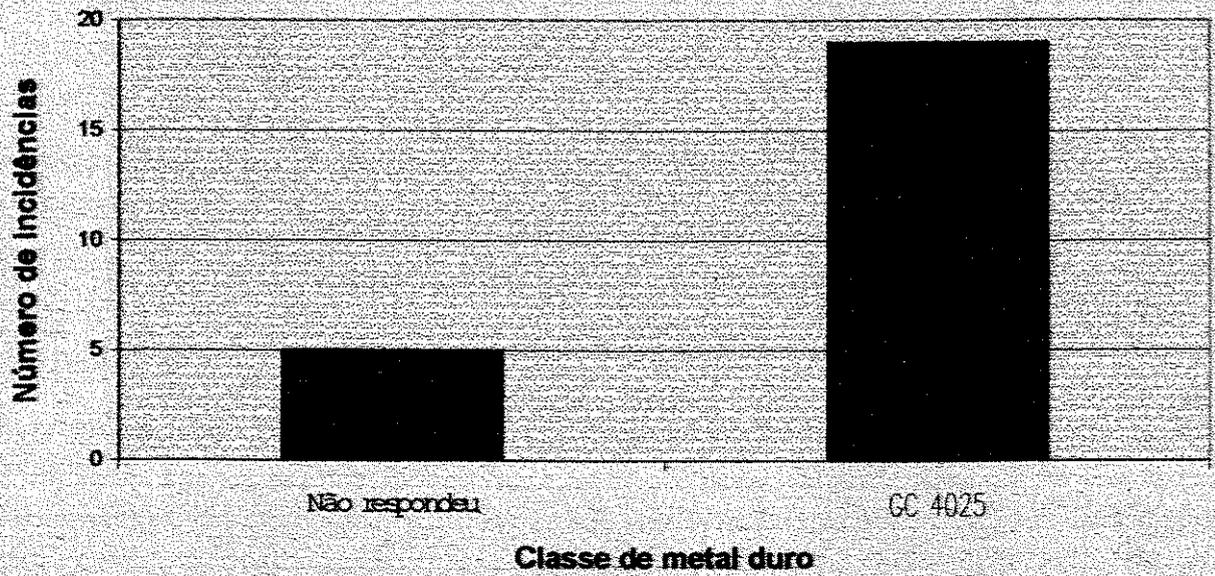
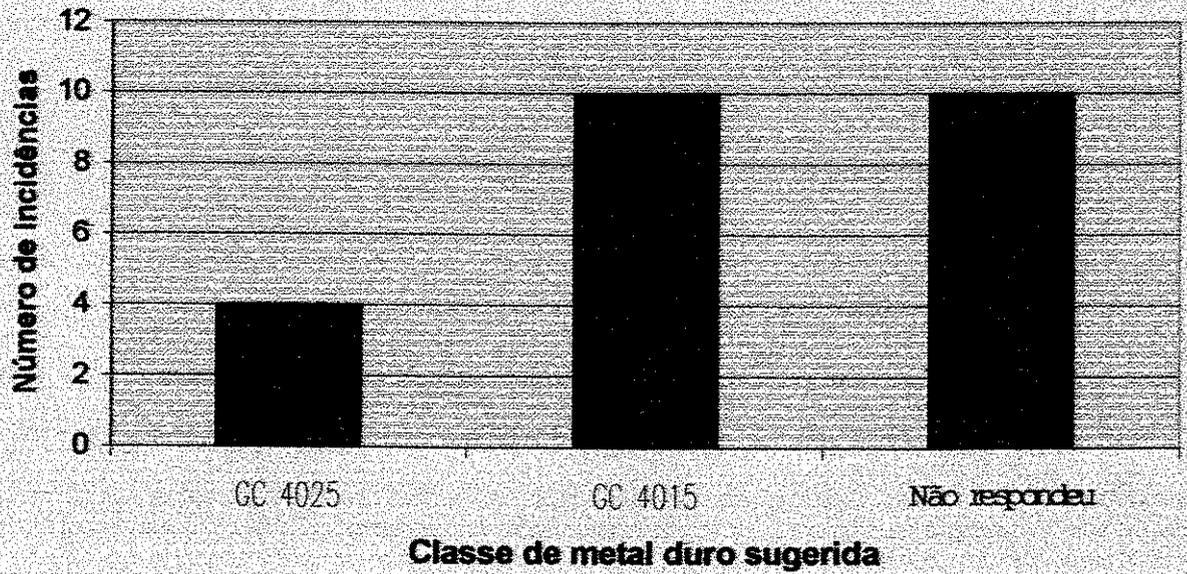


Gráfico de distribuição da escolha de classes de metal duro para acabamento depois do curso



5. Conclusão.

Como resultado dessa pesquisa é possível concluir que:

- a) A análise do valor é uma ferramenta que permite o aprimoramento da escolha e aplicação de ferramentas na elaboração de processos de usinagem.
- b) Sem o conhecimento científico, a maximização da produtividade e o mínimo custo só ocorrerá por mero acaso.
- c) Muito da produtividade e redução de custos em usinagem está a depender do devido treinamento não só da mão de obra operacional quanto da mão de obra técnica.
- d) Muito da competitividade em usinagem na indústria nacional vem se perdendo não só pela falta da aplicação das novas tecnologias, muito se perde pela falta de aplicação do óbvio.
- e) O seguimento de determinados pré-requisitos à boa escolha e aplicação de ferramentas para usinagem, pode conduzir a um nível de produtividade e custos bastante competitivos e torna-se ainda mais interessante, quando o ótimo Tayloriano, por alguma razão, seja difícil de ser aplicado, como por exemplo no caso de lotes com mínimas quantidades de peças.
- f) Treinamentos intensivos não são suficientes para que um grupo de não especialistas possam entender adequadamente a metodologia da Análise do Valor e atingir um desempenho ótimo na elaboração de processos de usinagem.
- g) Não basta treinar pessoas apenas para a escolha e aplicação de ferramentas se também não houver um treinamento sobre sequência ótima operacional na elaboração de processos de usinagem. Percebeu-se que muitos participantes entenderam como escolher a melhor ferramenta e os melhores dados de corte, porém a sequência operacional do processo de usinagem ficou a desejar.

Kee e Schmidt, 1998, em seu estudo “A comparative analysis of utilizing activity-based costing and the theory of constraints from making product-mix decisions” enfatizam que a teoria das restrições e a teoria do custo ABC assumem que o gerenciamento de empresas não tem controle adequado nem sobre a mão de obra técnica e nem sobre a operacional (Kee e Schmidt, 1998), da mesma forma esse estudo mostra que há grandes oportunidades de melhoria em ambos os campos tanto técnico quanto operacional e que a Análise do Valor pode ser uma interessante técnica a ser considerada na otimização dos processos produtivos. Sua aplicação por si só é muito viável e seria um excelente complemento para as empresas que já estejam trabalhando dentro da filosofia da teoria das restrições e custo ABC.

A luta pela liderança é inextinguível, basta rever um pouco da nossa história e verificaremos quantos casos de ascensões e quedas já ocorreram, não só nos setores políticos e econômicos, mas também no campo da eficácia industrial.

A liderança, sem dúvida, ficará com aqueles que tiverem a capacidade de identificar as novas oportunidades e a ousadia de experimentá-las. Se não usarmos com sabedoria e máximo empenho as armas das quais dispomos, se não ousarmos experimentar as novas idéias, antes que estas se tornem a consolidação do trivial entre os nossos competidores, jamais siremos da obscuridade do terceiro mundo (Marcondes, 1990).

6. SUGESTÃO PARA ESTUDOS POSTERIORES:

Realimentação do sistema.

Uma das dificuldades percebidas por ocasião das entrevistas com os participantes dessa pesquisa, foi a atividade de se realimentar o sistema produtivo com dados provenientes de melhorias que por ventura tivessem sido implementadas nos processos de usinagem depois de alguma experiência bem sucedida.

Ocorre que em uma empresa que tenha milhares de processos de usinagem, por exemplo, uma montadora de automóveis ou então uma autopeças, centenas de processos podem necessitar de serem atualizados. Isso demandaria, quem sabe, meses de trabalho, assim, de acordo com o observado na pesquisa base dessa dissertação, observou-se que na maioria das vezes uma melhoria não é aproveitada para ocasiões futuras, pois a realimentação do sistema simplesmente não é praticada, pois os analistas parcamente dão conta de elaborar os processos novos, imagine o tempo que terão para se dedicar a atualização contínua de processos antigos que muitas vezes não se sabe quando poderão voltar à fábrica.

Nesses casos o auxílio de um software que pudesse automaticamente atualizar todos os processos similares, simplificaria a tarefa e tornaria a atualização constante do sistema extremamente simples, através de rotinas eletrônicas, que exigiriam um mínimo esforço humano.

Através da tecnologia de grupo que separaria os processos em famílias, e o auxílio de softwares de assistência técnica, a atualização permanente dos processos de usinagem, ainda que milhares deles, seria um mero apertar de botões, que não custaria mais do que alguns minutos para se atualizar milhares de processos congêneres instantaneamente.

Creio ser de interesse da indústria um trabalho que possa tratar do desenvolvimento de um sistema de *software* para gerenciar a atualização contínua e em tempo real dos processos de usinagem.

7. BIBLIOGRAFIA REFERENCIADA.

AB Sandvik Coromant - Brochura nº 4 Modern Metal Cutting; Editôra AB Sandvikens Tryckeri 1979.

AB Sandvik Coromant - Modern Metal Cutting; Editôra Tofters Tryckeri AB, 1994.

Análise do Valor; Análise funcional e Concepção para um custo objectivo
<http://www.cev.pt/noticias/Cedintec/html/tecnologias_analise.html>, acesso em 30/11/01.)

Catálogo Sandvik , Ferramentas para Torneamento C-1000:6-POR, 1998

Catálogo Sandvik Coromant – Ferramentas para Tornear C-1000:7-POR, Stibo Graphic, Dinamarca 2000.01

COGAN, S __ Activity-Based Costing __ A poderosa estratégia Empresarial; 2ª Edição; Editora Pioneira Administração e Negócios, 1995

CSILLAG, J.M. __ Análise do Valor 2ª edição; Editôra Atlas, 1988.

HONDA,A.K.; VIVEIRO,C.T. __ Qualidade & Excelência Attravés da Metodologia Kaizen ; Editora Érica, 1993.

KAPLAN, R.S; COOPER,R __ Custo e Desempenho - Administre seus Custos para ser mais Competitivo; Editôra Futura, 2000.

KUCZMARSKI, S.S; KUCZMARSKI,T.D. __ Liderança baseada em Valores; Editôra Educator, 1999.

MARAMALDO,D, __ A Estratégia para a Competitividade; Editôra Produtivismo Artes Gráficas, 1989.

MARCONDES,F.C. __ A História do Metal Duro; Editôra CPA Consultoria de Projetos e Artes, 1990

MAYNARD,H.B.__ Manual de Engenharia de Produção; Editôra Edgard Blucher, 1970

PAPE, KEE R., SCHIMIDT C.. A Comparative analysis of utilizing activity-based costing and the theory of constraints for making product-mix decisions. In: International Journal of Production Economics. Elsevier, 1998, v.1, pp 1-17.

PINTON, D.H. __ Engenharia e Análise de Valores __ Vetor de Competitividade; Editora Produtivismo – Artes Gráficas. 1989

QUEZADA L.E., CÔRDOVA F.M., WIDMER S., O'BRIEN C. - A Methodology for formulating a business strategy in manufacturing firms. In: International Journal of Production Economics, Elsevier, 1999, pp 1-8

Sandvik Coromant Br - Livreto nº 2 - Desgastes de Feramentas, Editora Sandvik do Brasil S/A, 1989.

8. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

AL-DUAIJ, J.A., K.E. EL-LAITH, & R.J. PAYAPILLY. "A Value Engineering Approach to Determine Quality Lightweight Concrete Aggregates" Cost Engineering, Vol 39, No 5, May, pp.21-26, 1997.

AWV (1990, Hg.) Organisationsuchungen mit Wertanalyse. Eine Erläuterung zur DIN 69 910 für Organisatoren. Hg.: AWV- Eigenverlag: Eschborn

AWV (1992, Hg.): Moderations und Präsentationstechniken in der Wertanalyse. Hg.: AWV – Arbeitsgemeinschaft für wirtschaftliche Verwaltung e. V., AWV – Schrift 01 504. AWV – Eigenverlag: Eschborn.

BASSO, J.L. Engenharia e Análise do Valor, IMAN, São Paulo, 1994.

BISANI, Fritz (1990): Reserven wecken durch Wertanalyse/Wertgestaltung. Anregungen und Hilfen, auf neuen Wegen leistungsfähiger zu werden. Hg: Hans O. RASCHE. 4., unveränd. Aufl., Praktiker Checkliste 61. Schäfer Verlag für Wirtschaft und Steuern GmbH: Stuttgart.

BROWN, J. (1992). Value Engineering: A Blueprint, Industrial Press Inc., New York NY.

BÜHNER, Rolf (1990): Das Management – Wert – Konzept. Strategien zur Schaffung von mehr Wert im Unternehmen. Schäfer Verlag für Wirtschaft und Steuern GmbH: Stuttgart. ISBN 3-8202-0591-8

CAMPOMAR, M.C. Um enfoque quantitativo ao problema da análise do valor de um bem. Anais do 20º ENANPAD – Encontro Nacional promovido pela Associação Nacional dos Programas de Pós-Graduação em Administração. Vol: Marketing. Setembro de 1996. Angra dos Reis, Rio de Janeiro .1996.

COOK, T.F. (1984). "Welcome to Value Analysis and Value Engineering," Proceedings of the Society of American Value Engineers, Vol.19, pp.75-82.

COOK, T.F. (1986) "Determine Value Mis-Match by Measuring User/Customer Attitudes," Proceedings of the Society of American Value Engineers, Vol.21, pp. 145-156

DEMARLE, D.J. (1970). "A Metric for Value," Proceedings of the Society of American Value Engineers, Vol. 5, pp. 135-139.

DEMARLE, D. J. (1971). "Criteria Analysis of Consumer Products," Proceedings of the Society of American Value Engineers, Vol 6, pp. 267-272.

EUR(1991/1, Hg.): Value. "Analyses glossary. Hg.: EUR – Commission of the European Communities; L-2920 Luxembourg; Directorate-General Information Technologies and Industries, and Telecommunications. Innovation series (sprint – European Community programme for innovation and technology transfer). Report: EUR 13774 EN. Office for Official Publications of the European Communities: Luxembourg. ISBN 92-826-2927-9

EUR (1991/2, Hg.): Wertanalyse in der Europäischen Gemeinschaft. Hg.: EUR – Kommission der Europäischen Gemeinschaften; DG XIII; L-2920 Luxembourg; Generaldirektion Telekommunikation, Informationsindustrie und Innovation. Serie: Innovation (sprint-Innovation und Technologietransfer). Bericht: EUR 13096 DE. Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften: Luxemburg. ISBN 92-826-1775-0

EUR(1992/1): Survey on training activities in value analysis. Hg.: EUR – Commission of the European Communities; L-2920 Luxembourg; Directorate-General Information Technologies and Industries, and Telecommunications. Innovation series (sprint – European Community programme for innovation and technology transfer). Report: EUR 14325 EN. Office for Official Publications of the European Communities: Luxembourg. ISBN 92-826-4126-0

EUR (1992/2,Hg.): The European market for value analysis. Hg.: EUR commission of the European Communities; L-2920 Luxembourg; Directorate-General Information Technologies and Industries, and Telecommunications. Innovation series (sprint- European Community programme for innovation and technology transfer). Report: EUR 14236 EN. Office for Official Publications on the European Communities: Luxembourg. ISBN 92-826-4130-9

EUR (1993,Hg.): Der "Europäische Markt für Wertanalyse. Hg.: EC – Kommission der Europäischen Gemeinschaften; DG XIII; L-2920 Luxembourg; Generaldirektion Telekommunikation, Informationsindustrie und Innovation. Innovation sprint – European Community programme for innovation and technology transfer. Bericht: EUR 14326 DE. Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften: Luxemburg. ISBN 92-826-4129-5

EUR (1994,hg.): Besseres Management durch Wertanalyse. Hg.: EC – Kommission der Europäischen Gemeinschaft, Generaldirektion XIII, Telekommunikation, Informationsmarkt und Nutzung der Forschungsergebnisse. L-2920 Luxembourg. L-2920 Luxembourg. Bericht der Association pour le développement de l'analyse de la valeur, Lüttich, Belgien. Bericht EUR 14394 DE. Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften: Luxemburg. ISBN 92-826-4935-0

EUR (1995,Hg.): Value Management. Handbook. Hg.: EC – European Commission. Directorate-General XIII. Telecommunications, Information Market and Exploitation of Research. EUR 16096 EN: Brussels, Luxembourg. ISBN 92-826-9534-4

FALLON,C. (1980). Value Analysis, Miles Value Foundation, obtain through Society for Value Engineers, Northbrook IL.

FASAL. J.H. (1972) Practical Value Analysis Methods, Hayden Book Company Inc., New York NY.

FOWLER, T.C. (1983). "The User Oriented FAST Diagram." Proceedings of Society of American Value Engineers, Vol.18, pp. 89-94.

FOWLER, T.C. (1990) Value Analysis in Design, Van Nostrand Reinhold, New York NY.

Gomes, Peter (1993): Wertmanagement. Vernetzte Strategien für Unternehmen im Wandel. ECON Executive Verlags GmbH: Düsseldorf u.a. ISBN 3-430-13296-7

GREEN, S.D. (1993) "A Reinterpretation of Value Management," CIB W-65, Organisation and Management of Construction – The Way Forward (ed. Lewis, T.M), Trinidad, W.I., September.

GRUNWALD, Herbert(1994) Kosten senken mit dem Einkauf. Praktische Wertanalyse als Erfolgsinstrument. Rudolf Haufe Verlag: Freiburg im Breisgau. ISBN 2-448-02539-9.

HAGUIARA, N. – Engenharia e Análise do Valor na Manufatura e na Construção Civil, In: Contador, J. C., coord. Gestão de Operações, Fundação Vanzolini, Edgard Blucher, São Paulo, 1997 –pag 487-496.

HEEGE, Franz (1991): Wertanalyse. 2. Aufl., Hg.: BME – Bundesverband Materialwirtschaft, Einkauf und Logistik e.V., Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler GmbH: Wiesbaden ISBN 3-409-02636-3

HELLER, E.D. (1971) Value Management: Value Engineering and Cost Reduction, Addison-Wesley Publishing Company, Reading MA.

JARBOE, R.R. & J.E. Ferguson (1977). Function Analysis for Architects, Engineers, and Builders, Department of Engineering, University of Wisconsin – Extension, Madison WI.

KANIOWSKY, Heinz (1992) Das Arbeiten mit Wertanalyse. Hg.: Wirtschaftsförderungsinstitut der Bundeskammer der gewerblichen Wirtschaft – Gruppe Technik und Betriebswirtschaft. Schriftenreihe des Wirtschaftsförderungsinstitutes. Nr.220: Wien.

KANIOWSKY, Heinz & WÜRZL, Alfons (1991) Wertanalyse und Organisationsentwicklung. Hg.: Wirtschaftsförderungsinstitut der Bundeskammer der gewerblichen Wirtschaft – Gruppe Technik und Betriebswirtschaft. Schriftenreihe des Wirtschaftsförderungsinstitut. Nr 221: Wien.

LEWIS, T.G. (1994): Steigerung des Unternehmenswertes. Total Value Management. Verlag moderne industrie: Landsberg/Lech. ISBN 3-478-34660-6

MENDELSON, S. & H.B. GREEFIELD (1995). "Taking Value Engineering? Value Analysis Into the Twenty-First Century," Cost Engineering, Vol. 37, No. 8, August, pp. 33-34.

MILES, L.D. (1961). Techniques of Value Analysis and Engineering, McGraw-Hill Book Company, New York NY (Latest printing 1989. Published by Heleanor Miles-Walker. Sold through SAVE International, 60 Revere Drive, Suite 500, Northbrook, IL 60006)

MUDGE, A.E. (1967). "Numerical Evaluation of Functional Relationship" Proceedings of the Society of American Value Engineers, Vol.2, pp.111-123.

MUDGE, A.E. (1971). Value Engineering, Mc-Graw Hill Book Company, New York NY.

NAUMANN, Carlheinz (1992): USP-Wertanalyse. Der Weg zum einzigartigen Verkaufsargument. Verlag moderne Industrie: Landsberg/Lech. ISBN 3-478-22700-3

SCHALLER, Michael (1995): Wertanalyse als Instrument der ökologisch orientierten Produktgestaltung. Diss., Technische Universität Graz.

SCHWARZ, Walter J.(1990): Durchlaufoptimierung und Organisationsentwicklung mit Wertanalyse. Fallbeispiel 18. in: WAF – Wertanalyse – Forum. Hg.: VDI-ZWA- Zentrum Wertanalyse im Wirtschaftsförderungsinstitut der Bundeskammer der gewerblichen Wirtschaft. Jg. 13, H.1+2: S.20-23

SHILITO, M. Larry & DE MARLE, David J. (1992): Value. Its Measurement, Design, and Management. John Wiley & Sons, Inc.: New York u.a. ISBN 0-471-52738-6

SIEMENS (o.J., Hg.): Value Innovation. Hg.: Siemens A.G. München. Snodgrass, T.J. (1989). "Quality Function Deployment Versus Value Information Techniques Using Analytical Language." Proceedings of the Society of American Value Engineers, Vol. 24, pp.99-100.

SPRINT (1993): Development of Complementary elements to Value Analysis methodology for use in improvements in the introduction and implementation of Quality Management Systems, Quality Assurance in SME's. SPRINT PROJECT RA 393. Draft Final Report: Karlsruhe.

VDI-ZWA (1990,Hg.): Qualität gestalten – Wert erhöhen: Zukunft sichern. Wertanalyse-Kongreß '90. Vorträge der Tagung in Mannheim. 8-9. Mai.Hg.: VDI-ZWA – VDI-Zentrum Wertanalyse. VDI-Berichte. Nr.829, VDI – Verlag GmbH: Düsseldorf. ISBN 3-18-090829-7

VDI-ZWA (1991/1, Hg.): Unternehmensressourcen für neue Märkte und Produkte aktivieren.3 Europäischer Wertanalyse-Kongreß. Vorträge des Kongresses in München. 9.-10.Okt. Hg.: VDI-ZWA – VDI –Zentrum Wertanalyse. VDI – Berichte 918. VDI- Verlag GmbH: Düsseldorf. ISBN 3-18-09018-8

VDI-ZWA (1991/2,Hg.): Wertanalyse. Idee – Methode – Systeme.Hg.: VDI-ZWA – VDI- Zentrum Wertanalyse. 4., völlig neubearb. Aufl., Reihe: Betriebswirtschaft und Betriebspraxis. VDI-Verlag GmbH: Düsseldorf. ISBN 3-18-400737-5

VDI-ZWA (1992,Hg.): Schlanke und effective Unternehmung. Tagung Mannheim. Vorträge der Tagung in Mannheim. 5.-6. Nov.Hg.: VDI-ZWA – VDI-Zentrum Wertanalyse. VDI – Berichte 1014. VDI-Verlag GmbH: Düsseldorf. ISBN 3-18-091014-3

VDI-ZWA (1993,Hg.): Management in der Rezession. Chancen, Vorgehen, Ergebnisse. Tagung Bonn. Vorträge der Tagung in Bonn. 22.-23. Juni.Hg.: VDI-ZWA – VDI – Zentrum Wertanalyse. VDI-Berichte 1064. VDI – Verlag GmbH: Düsseldorf. ISBN 3-18-091064-X

VDI-ZWA (1995, Hg.): Wertanalyse. Idee-Methode _ System. Hg.: VDI-ZWA – Zentrum Wertanalyse der VDI-Gesellschaft Systementwicklung und Projektgestaltung (VDI-GSP). 5., überarb. Auf., VDI-Verlag GmbH: Düsseldorf.ISBN 3-18-401432-0

WIFI-ZWA (1990): Methodisches Arbeiten. Ein Weg zum Erfolg. Neue Technologien Neue Produkte Neue Organisationsformen. Vorträge der Management-Tagung in Wien. 25.1., Hg.: WIFI-ZWA – Zentrum Wertanalyse im Wirtschaftsförderungsstitut der Bundeskammer der gewerblichen Wirtschaft. ZWA – Bericht 2: Wien.

WIFI-ZWA (1992): Erfolg mit Methode. Zehn Unternehmen präsentieren gewinnbringende Wertanalyse – Projekte. Vorträge der Managementtagung in Wien. 27.Nov. Hg.: WIFI-ZWA – Zentrum Wertanalyse im Wirtschaftsförderunsinstitut der Bundeswirtschaftskammer-Gruppe Technik und Betriebswirtschaft.ZWA-Bericht 3: Wien

Wixson, J.R.(1987). “Improving Product Development with Value Analysis / Value Engineering: A Total Management Tool,” Proceeding of the Society of American ValueEngineers, Vol. 22, pp. 51-66.

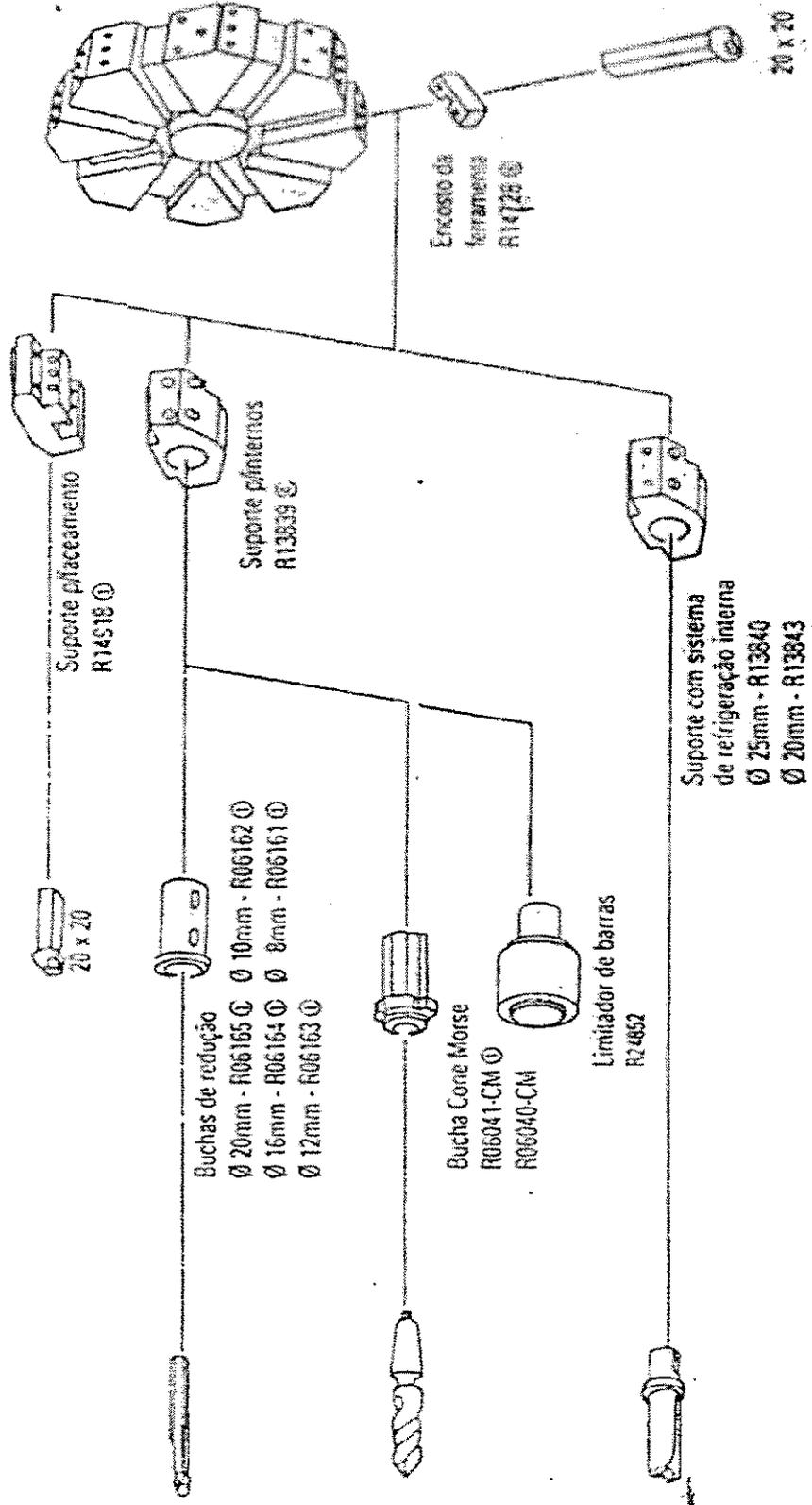
YOUKER, D.L. (1993). “VE – Creative Steps Toward Total Cost Control”, Cost Engineering, Vol.35, No. 4, April, pp. 29-33.

Anexo I

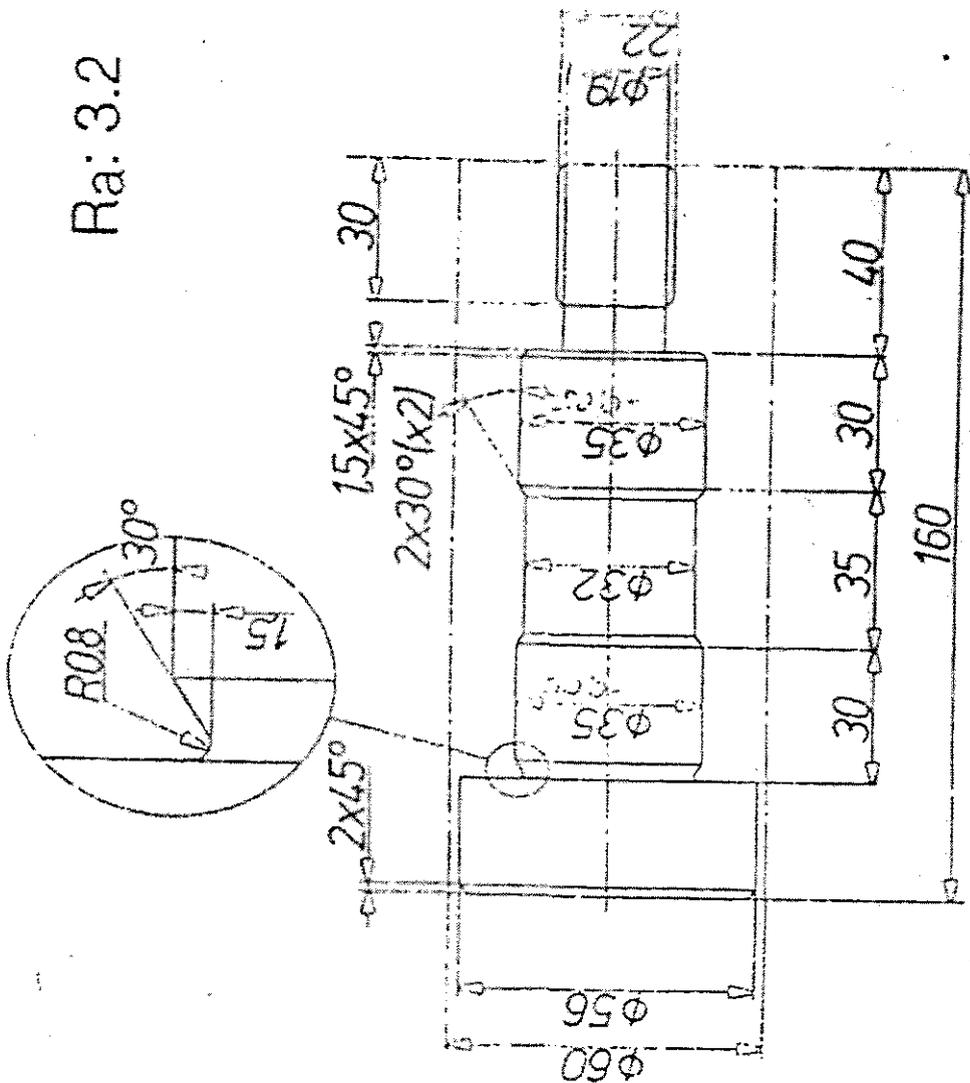
Características da Máquina

Porta Ferramentas

O Quantidade standard fornecida com a máquina



Peça utilizada para a pesquisa



Velocidade de corte, m/min.

$$v_c = \frac{\pi \times D_c \times n}{1000}$$

v_c = velocidade de corte m/min.
 n = rotações/min.
 D_c = diâmetro mm

Velocidade do eixo, rpm

$$n = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times D_c}$$

n = velocidade do fuso, rotações/min.
 v_c = velocidade de corte m/min.
 D_c = diâmetro mm

Informações sobre a máquina

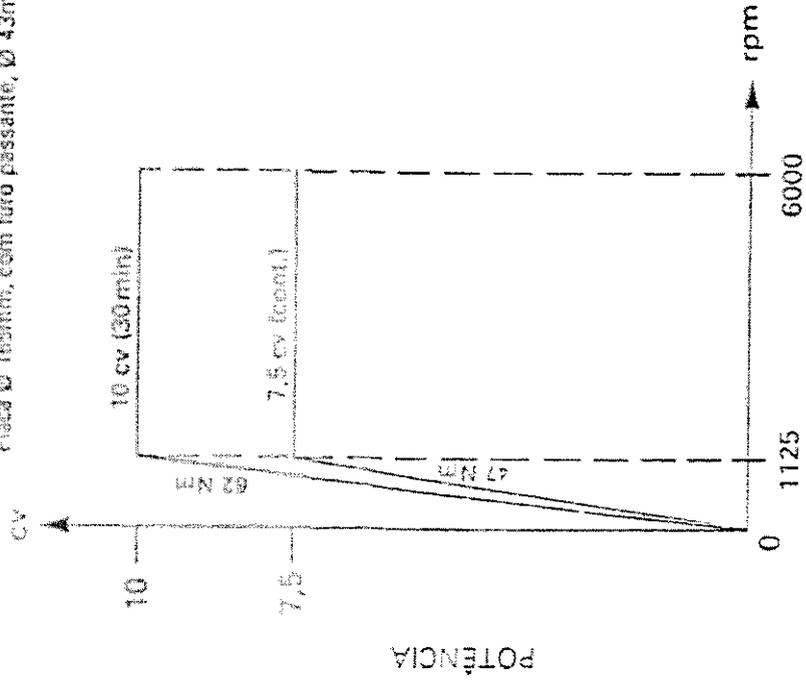
Curvas de potência da máquina no eixo árvore

Versão: 6.000rpm

Gráfico de potência da máquina

Árvore ASA A2-5", com furo passante, Ø 50mm

Placa Ø 165mm, com furo passante, Ø 43mm

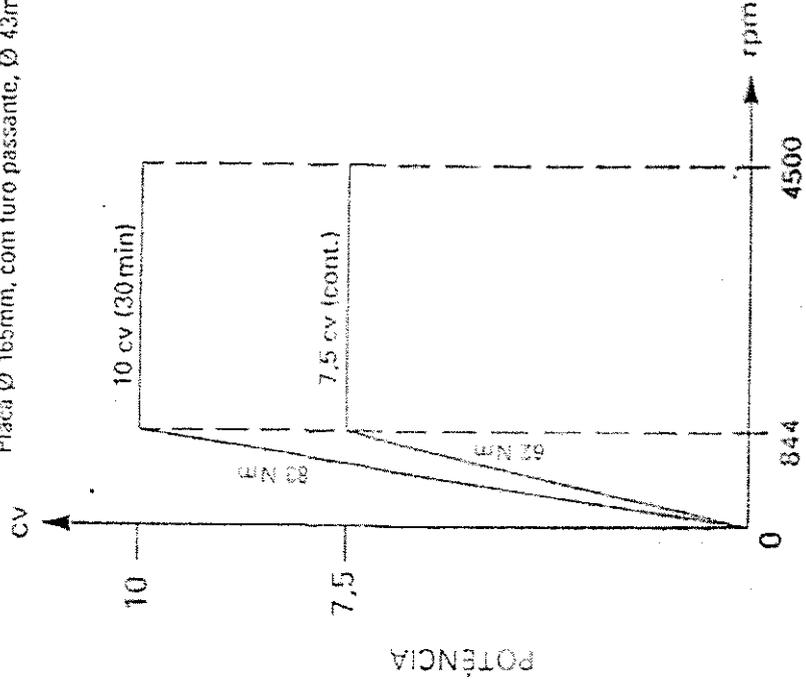


Versão: 4.500rpm

Gráfico de potência da máquina

Árvore ASA A2-5", com furo passante, Ø 50mm

Placa Ø 165mm, com furo passante, Ø 43mm



1000
1000
1000
1000

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE