

**UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA E DE PRODUÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**OTIMIZAÇÃO E GERENCIAMENTO EM  
USINAGEM PARA CENÁRIO DE  
FABRICAÇÃO FLEXÍVEL**

**João Carlos Malaquias**

Orientador: Prof. Dr. Nivaldo Lemos Coppini

Santa Bárbara d'Oeste  
1999

**UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA E DE PRODUÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**OTIMIZAÇÃO E GERENCIAMENTO EM  
USINAGEM PARA CENÁRIO DE  
FABRICAÇÃO FLEXÍVEL**

**João Carlos Malaquias**

Orientador: Prof. Dr. Nivaldo Lemos Coppini

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, da Faculdade de Engenharia Mecânica e de Produção, da Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Produção.

Santa Bárbara d'Oeste  
1999

# OTIMIZAÇÃO E GERENCIAMENTO EM USINAGEM PARA CENÁRIO DE FABRICAÇÃO FLEXÍVEL

**João Carlos Malaquias**

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, em 24 de agosto de 1999,  
pela Banca Examinadora constituída pelos Professores:

Prof. Dr. Nivaldo Lemos Coppini, Presidente  
UNIMEP

Prof. Dr. Anselmo Eduardo Diniz  
UNICAMP

Prof. Dr. Milton Vieira Júnior  
UNIMEP

À

Todos que lutam por ideais;

Minha esposa Vânia e  
meus filhos Josiane, Jancarlo e Jansen;

Memória de meus pais;

Professores Mitsuo Serikawa,  
Nivaldo Lemos Coppini e  
Maria Isabel Santoro

## **AGRADECIMENTOS**

A DEUS, antes de tudo e de todos.

À UNIMEP, pela concessão de bolsa que possibilitou a realização desta pesquisa.

A Nivaldo Lemos Coppini, responsável direto pela concretização da dissertação, professor, orientador exigente e paciente, um amigo.

À Diretoria do Centro de Tecnologia, hoje Faculdade de Engenharia Mecânica e de Produção (FEMP) e à Supervisão de Laboratórios, pelo apoio e disponibilização de recursos.

À Maria Isabel Santoro, pela amizade e revisão do texto.

À Sandvik Coromant do Brasil, pelo investimento em pesquisas e pessoas.

Ao mestrando Elesandro Baptista, aos bolsistas CNPQ Elder Goraybe e André Lima, aos técnicos de laboratórios, pela colaboração nos ensaios.

Aos professores Milton Vieira Júnior e Anselmo Eduardo Diniz, examinadores que enriqueceram este trabalho.

Aos meus colegas de trabalho, a todos os professores, funcionários e alunos que me incentivaram, apoiaram e que de alguma forma possível me ajudaram.

*Para que as coisas aconteçam do jeito que se deseja, basta aceitá-las do jeito que acontecem!  
Mas quem sabe faz a hora e não espera acontecer, mesmo que erre, pois ser humano é  
duvidar e errar. Contudo, do fracasso surge a oportunidade para recomeçar de modo  
inteligente.*

## LISTA DE FIGURAS

2.1	Esquema global de projeto das operações	8
JIT.....		
2.2	Balanceamento das linhas de	9
produção.....		
2.3	Distribuição física	10
celular.....		
2.4	Distribuição física	11
funcional.....		
2.5	Ferramental de troca	14
rápida.....		
2.6	Sistema de travamento com	15
esferas.....		
3.1	Esquema de custeio	27
ABC.....		
3.2	Modelo esquemático de custeio ABC para manufatura celular.....	32
3.3	Esquema de metodologia prática com base em ABC.....	34
4.1	Considerações sobre desgaste e vida de	42
ferramenta.....		
4.2	Aresta em forma de “	43
S”.....		
4.3	Estado real de ferramenta	44
desgastada.....		
4.4	Tipos de	44
desgastes.....		
6.1	(a) Cp	64
usinados.....		
6.1	(b) Desenho esquemático do Cp pré-usinado para análise de cavacos.....	64
6.2	Cavacos em função das condições de	66
corte.....		
6.3	Tela do Excel para aplicação dos modelos matemáticos .....	69
6.4	Tela do Excel para simulação dos modelos de procedimentos A e B.....	72
6.5	Cp pré-usinado para determinação de	77
$V_{mclim}$ .....		
6.6	Desenho esquemático do Cp para determinação de	77
$V_{mclim}$ .....		
6.7	Dureza do material	78
ensaiado.....		
6.8	Lote de Cp usinado para determinação do	80
IME.....		

6.9	Tela do Excel para determinação de $v_{mclim}$ em ambiente fabril.....	81
6.10	Tela do Excel para tempos e custos.....	83

## LISTA DE TABELAS

2.1	Matriz diagonal perfeita máquina-peça.....	13
3.1	Mapa de rateio dos $CIF$ aos departamentos de produção.....	20
<b>5.1</b>	<b>Exemplo para planejamento de uma <math>Jt</math></b> .....	<b>60</b>
6.1	Faixas para $f$ em função da operação.....	63
6.2	Condições de corte para os 3 (três) grupos de $Cp$ .....	65
6.3	Indexação ferramenta/ $Cp$ e distribuição aleatória do desgaste.....	65
6.4	Descrição dos lotes programados para usinagem.....	68

<b>6.5</b>	<b>Fator de correção, velocidades e vidas.....</b>	<b>68</b>
<b>6.6</b>	<b>Coefficientes e velocidades otimizadas com dados catalogados.....</b>	<b>69</b>
<b>6.7</b>	<b>Valores para validação do modelo de procedimentos A.....</b>	<b>70</b>
6.8	Valores para validação do modelo de procedimentos B.....	70
6.9	Precisão dos parâmetros de custos pelo ABC.....	74
6.10	Parâmetros de custos referentes à homem e máquina.....	74
6.11	Parâmetros de custos referentes à ferramenta.....	75
6.12	Parâmetros para determinação de $v_{mclim}$ em planta fabril.....	79
6.13	Obtenção de $t_{ff}$ .....	80
6.14	Valores empíricos para IME.....	81
6.15	Valores para análise de tempos e custos.....	83

## NOMENCLATURA

$a_p$	Profundidade de corte.....	mm
$Cdp$	Custo do produto.....	R\$
$CH_i$	Custo do iésimo centro de custos.....	R\$/hora
$CIF$	Custo indireto de fabricação.....	R\$
$C_{iv}$	Custos independentes da velocidade de corte.....	R\$
$C_p$	Custo por peça.....	R\$/peça
$C_{tp}$	Custo por peça considerando custo máquina e ferramenta.....	R\$/peça
$C_{um}$	Custo máquina.....	R\$/hora
$C_2$	Soma dos custos de mão-de-obra e de máquina.....	R\$/hora
$C_3$	Custo do tempo de troca de ferramenta c/ influência da vida.....	R\$/hora
$d$	Diâmetro.....	mm
$D$	Índice de relação $v_{mxp}/v_{mc}$ .....	
$Em$	Espaço ocupado pela máquina.....	m <sup>2</sup>
$f$	Avanço.....	mm/volta
$f_r$	Fator de correção para velocidade.....	
$Hf_i$	Horas de fabricação no iésimo centro de custos.....	horas
$H$	Horas de trabalho por ano.....	horas
$j$	Taxa de juros por ano.....	%
$K$	Coefficiente de vida.....	
$K_e$	Custo do m <sup>2</sup> ocupado pela máquina.....	R\$/m <sup>2</sup> ano
$K_{ft}$	Custo de ferramenta por vida.....	R\$/vida fer
$K_g$	Constante dependente de geometria e condições corte.....	

<b><math>K_{mc}</math></b>	Custo anual de manutenção da máquina.....	R\$/ano
<b><math>K_p</math></b>	Custo de fabricação por peça.....	R\$/peça
<b><math>KP_h</math></b>	Custo da produção horária.....	R\$/hora
<b><math>K_s</math></b>	Custo de aquisição da pastilha.....	R\$
<b><math>K_{tc}</math></b>	Custo do tempo de corte.....	R\$/hora
<b><math>K_{tl}</math></b>	Custo do tempo improdutivo.....	R\$/hora
<b><math>K_{t2}</math></b>	Custo do tempo relacionado com a troca de ferramenta.....	R\$/hora
<b><math>K_s</math></b>	Custo de aquisição da pastilha.....	R\$
<b><math>lf</math></b>	Comprimento de corte.....	m
<b><math>m</math></b>	Idade da máquina.....	anos
<b><math>M</math></b>	Vida prevista para a máquina.....	anos
<b><math>MP</math></b>	Custo da matéria prima direta.....	R\$
<b><math>n</math></b>	Rotação.....	rpm
	...	
<b><math>n_a</math></b>	Número de arestas.....	
<b><math>npt</math></b>	Vida média do porta-ferramentas.....	arestas
<b><math>ns</math></b>	Número de arestas de corte da pastilha intercambiável.....	
<b><math>P_h</math></b>	Produção horária.....	peças
<b><math>r_e</math></b>	Raio de ponta da ferramenta.....	mm
<b><math>R_a</math></b>	Rugosidade do perfil.....	$\mu\text{m}$
<b><math>R_{max}</math></b>	Rugosidade do perfil.....	$\mu\text{m}$
<b><math>S_h</math></b>	Salário e encargos do operador.....	R\$/hora

$S_m$	Custo total da máquina.....	R\$/hora
$T$	Vida da ferramenta.....	min
$t_a$	Tempo de aproximação e afastamento da ferramenta.....	min
$T_1$	Vida da ferramenta para $v_1$ .....	min
$T_2$	Vida da ferramenta para $v_2$ .....	min
$t_c$	Tempo de corte.....	min
$t_f$	Tempo de fixação.....	min
$t_{fa}$	Tempo de afiação da ferramenta.....	min
$t_{ft}$	Tempo de troca de ferramenta.....	min
$t_i$	Tempo de inspeção.....	min
$t_p$	Tempo de preparação.....	min
$t_i$	Tempo total de fabricação por peça.....	min
$t_s$	Tempo de colocação, fixação, retirada da peça e inspeção.....	min
$t_1$	Tempos improdutivos.....	min
$t_2$	Tempos relacionados com a troca de ferramenta.....	min
$V_C$	Velocidade de corte.....	m/min
	Desgaste de flanco.....	mm
$v_{cat}$	Velocidade de corte sugerida pelo catálogo.....	m/min
$VC_{sel}$	Velocidade de corte selecionada.....	m/min
$v_{mc}$	Velocidade de corte de mínimo custo.....	m/min
$Vmi$	Valor inicial de aquisição da máquina.....	R\$
$v_{mclim}$	Velocidade de corte de mínimo custo limite.....	m/min
$v_{m xp}$	Velocidade de corte de máxima produção.....	m/min
$Vsi$	Custo de aquisição do porta-ferramenta.....	R\$
$x$	Coeficiente e vida.....	
$Z$	Número de peças do lote.....	peças

$Z_T$	Número de peças por vida da ferramenta.....	peças
$\pi$	Constante matemática.....	

## ABREVIACÕES

<b>ABC</b>	Custeio Baseado em Atividades
<b>ABM</b>	Gerenciamento Baseado em Atividades
<b>ATA</b>	Assistência Técnica Assistida por Computador
<b>C</b>	
<b>CIM</b>	Manufatura Integrada por Computador
<b>CMC</b>	Classificação Coromant de Material
<b>Cp</b>	Corpo de prova
<b>Fi</b>	Foto índice
<b>FIPO</b>	Foto índice do posto operativo
<b>FMS</b>	Sistema Flexível de Manufatura
<b>FP</b>	Ferramenta Padrão

<b>IME</b>	Intervalo de Máxima Eficiência
<b>JIT</b>	"Just-in-Time"
<b>Jt</b>	Jornada de trabalho
<b>LPF</b>	Laboratório de Processos de Fabricação Mecânica
<b>M</b>	
<b>MC</b>	Manufatura Celular
<b>MFD</b>	Máquina-ferramenta-dispositivo-peça
<b>P</b>	
<b>Mc</b>	Margem de contribuição
<b>Mt</b>	Momento de troca
<b>PCP</b>	Planejamento e Controle da Produção
<b>SCC</b>	Sistema de Classificação e Codificação
<b>SEU</b>	Sistema Especialista em Usinagem
<b>TG</b>	Tecnologia de Grupo
<b>UEA</b>	Unidade de Esforço de Atividade
<b>UEP</b>	Unidade de Esforço de Produção

#### SIGLAS

<b>ISO</b>	Organização Internacional de Normalização
<b>SAE</b>	Sociedade de Engenheiros Automotivos

MALAQUIAS, João Carlos. *Otimização e Gerenciamento em Usinagem para Cenário de Fabricação Flexível*. Santa Bárbara d'Oeste: FEMP, UNIMEP, 1999. 115 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Mecânica e de Produção, Universidade Metodista de Piracicaba, 1999.

## RESUMO:

Objetivando a redução de tempo e custo de produção durante processo de usinagem, é proposto, neste trabalho, modelo matemático e metodologia. É usado o valor da velocidade de mínimo custo para referência de seleção da velocidade de corte. É introduzido o conceito de ferramenta padrão. É discutido as vantagens de se aplicar o ABC (Custo Baseado em Atividade) para determinar os parâmetros de custos usados nos modelos matemáticos. Especificamente são desenvolvidos três modelos para serem usados em chão de fábrica durante a evolução do processo de corte. A metodologia induz o operador de máquina a trocar a aresta de corte da ferramenta baseado em critério que dá mais estabilidade para esta operação. Os modelos foram propostos para serem aplicados em um cenário de manufatura flexível e a validação deles foi realizada em um laboratório de processo de usinagem simulando o chão de fábrica de uma empresa.

**PALAVRAS-CHAVES:** Custos de Fabricação, Sistemas de Custeio, Usinagem, Otimização e Gerenciamento

MALAQUIAS, João Carlos. *Otimização e Gerenciamento em Usinagem para Cenário de Fabricação Flexível*. Santa Bárbara d'Oeste: FEMP, UNIMEP, 1999. 115 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Mecânica e de Produção, Universidade Metodista de Piracicaba, 1999.

## ABSTRACT:

Aiming a target the reduction of the production time and cost during machining process, it is proposed, in this work, mathematic model and methodology. The value minimum cost speed is used as reference for selection of the cut speed. It is introduced the tool pattern concept. It is discussed the advantages of applying the ABC (Activity Based Costing) to determine the cost parameters used in the mathematic models. Three models are specifically developed to be used in shop floor during the cutting process evolution. The methodology induces the machine operator to change the cutting tool edge based on criteria that gives more stability for this operation. The models were proposed to be applied in a manufacturing flexible scenario and their validation was carried out in a machining process laboratory simulated as an enterprise shop floor.

**KEYWORDS:** Manufacture Costs, Costing Systems, Machining, Optimization and Management

## SUMÁRIO

<b>LISTA</b>	<b>DE</b>	<b>IX</b>
<b>FIGURAS.....</b>		
<b>LISTA</b>	<b>DE</b>	<b>X</b>
<b>TABELAS.....</b>		
<b>NOMENCLATURA.....</b>		<b>XI</b>
....		
<b>ABREVIACÕES</b>	<b>E</b>	<b>XIII</b>
<b>SIGLAS.....</b>		
<b>RESUMO.....</b>		<b>XIV</b>
....		
<b>ABSTRACT.....</b>		<b>XV</b>
....		
<b>CAPÍTULO 1</b>		
<b>INTRODUÇÃO.....</b>		<b>1</b>
....		
1.1	Objetivos	4
Gerais.....		
1.2	Objetivos	4
Específicos.....		
1.3	Estrutura	5
.....		
<b>CAPÍTULO 2</b>		
<b>FABRICAÇÃO</b>		<b>6</b>
<b>FLEXÍVEL.....</b>		
2.1	Gerenciamento	7
JIT.....		
2.2	Manufatura Celular (MC) e Tecnologia de Grupo	10
(TG).....		
2.3	Ferramental de Troca	14
Rápida.....		
<b>CAPÍTULO 3</b>		
<b>SISTEMAS</b>	<b>DE</b>	<b>17</b>
<b>CUSTEIO.....</b>		
3.1	Sistemas Tradicionais	de 19
Custeio.....		
3.1.1	Custeio integral e por taxa	de 19

absorção.....							
3.1.2	Custeio		direto		(ou		22
variável).....							
3.1.3					Custo		23
padrão.....							
3.1.4	Unidade	de	esforço	de	produção		23
(UEP).....							
3.1.5	Custeio	por	peça	baseado	na		25
operação.....							
3.2	Sistemas	ABC	-	"Activity	Based		25
Costing".....							
3.2.1	Conceitos	e	estrutura	do	modelo		27
ABC.....							
3.2.2	Método	ABM	-	"Activity	Based		31
Management".....							

## CAPÍTULO 4

<b>OTIMIZAÇÃO</b>					<b>EM</b>		<b>36</b>
<b>USINAGEM.....</b>							
4.1	Restrições	do	Processo		de		39
Otimização.....							
4.2	Momento	de	Troca	de	Ferramenta	e	47
Monitoramento.....							
4.3			Seleção			de	50
Ferramentas.....							
4.4			Critérios			de	51
Otimização.....							

## CAPÍTULO 5

<b>MODELOS</b>	<b>MATEMÁTICOS</b>	<b>E</b>	<b>DE</b>				<b>55</b>
<b>PROCEDIMENTOS.....</b>							
5.1	Modelos				Matemáticos		55
.....							
5.2	Modelos	de	Procedimentos	(A,	B	e	59
C).....							

## CAPÍTULO 6

<b>RESULTADOS</b>					<b>E</b>		<b>63</b>
<b>DISCUSSÕES.....</b>							
6.1	Influência	da	Velocidade	de	Corte	na	Forma
Cavaco.....						do	63
6.1.1			Metodologia			do	64
ensaio.....							
6.1.2	Apresentação	e	análise			dos	66
cavacos.....							
6.2	Validação	com	Dados			de	67

Catálogo.....					
6.3	Validação	com	Dados		73
Experimentais.....					
6.3.1	Descrição		do		73
LPFM.....					
6.3.2	Adaptação	do	ABC	ao	ambiente 74
.....					
6.3.3	Descrição da operação e método de obtenção dos parâmetros técnicos.....				75
6.3.4	Descrição		dos		76
materiais.....					
6.3.5	Determinação		de		79
$v_{mclim}$ .....					
6.4	Análise	de	Tempos	e	82
Custos.....					
<b>CAPÍTULO 7</b>					
	<b>CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS....</b>				85
7.1					85
Conclusões.....					
7.2	Sugestões	para	Trabalhos		87
Futuros.....					
<b>REFERÊNCIA</b>					88
<b>BIBLIOGRÁFICA.....</b>					
<b>BIBLIOGRAFIA</b>					95
<b>CONSULTADA.....</b>					
<b>ANEXO 1 - Controle Dimensional e Imagens do Desgaste das Ferramentas.....</b>					96
<b>ANEXO 2 - Controle Dimensional e Textura Superficial dos Cp.....</b>					106
<b>ANEXO 3 - Programas</b>					113
<b>CNC.....</b>					

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUÇÃO**

A atualização de conceitos e técnicas de planejamento e controle da produção, aliada à modernização dos equipamentos e ferramentas para produção, coloca as empresas em processo constante de reciclagem tecnológica. O cenário atual dos negócios com economia globalizada e mercado extremamente competitivo, força o desenvolvimento tecnológico das indústrias e de seus sistemas de informações. A gerência necessita, cada vez mais, de informações precisas para dar suporte às boas decisões e de meios eficientes para produzir com qualidade e baixo custo, além de flexibilidade para atender rapidamente às variações de demanda do mercado.

Provavelmente no terceiro milênio, a evolução em todas as áreas do conhecimento humano ocorrida durante o Século XX, irá moldar física e economicamente a manufatura que está em mudança estrutural e conceitual, conforme prevê e esclarece DRUCKER, (1995).

A revolução industrial no final do Século XIX, substituiu a fabricação artesanal de produtos e foi caracterizada por sistemas produtivos como o de Henry Ford nas primeiras décadas do século XX. Nestes sistemas a produção em massa e padronizada fazia intenso uso de mão-de-obra e equipamentos.

Este fato promove a evolução da contabilidade financeira para a contabilidade de custos e mais tarde com o crescimento das indústrias surge a contabilidade gerencial, conforme relata MARTINS, (1998). A contabilidade financeira, classicamente, apurava o resultado através da diferença entre receitas e custos das mercadorias vendidas, abatendo-se as despesas comerciais, administrativas e financeiras. Os estoques iniciais somados aos valores de compra compunham o custo das mercadorias vendidas. Com o advento das indústrias o valor de

compra (nas empresas comerciais do passado) foi substituído por valores pagos com relação aos fatores de produção. A avaliação dos estoques passava a ser feita pelo valor de fabricação dos produtos substituindo o valor de compra. Assim, surgia a contabilidade de custos com finalidade de mensuração de estoques e resultado. Com o crescimento das empresas e da distância entre administradores, ativos e pessoas administradas, a contabilidade de custos passa a ser usada como instrumento gerencial. A evolução para a contabilidade gerencial manteve os princípios da contabilidade de custos, sendo que sua função é controle e apoio à tomada de decisões. A finalidade na função de controle é fornecer dados para estabelecimento de padrões, orçamentos e outras formas de previsão e, numa fase seguinte comparar o efetivamente acontecido com os valores anteriormente definidos. Na função de apoio à tomada de decisão, sua finalidade é de fornecer informações sobre valores relevantes que dizem respeito às conseqüências de curto e longo prazo, sobre medidas de preço de venda, corte de produtos, opções de compra ou fabricação.

É crescente o número de empresas que optam pela modernização de seus sistemas produtivos. Nestas empresas é notável o nível crescente de automação, a variedade de produtos, a redução do tamanho do lote de peças e a redução de mão-de-obra direta. Os modernos sistemas produtivos procuram satisfazer às prioridades competitivas de qualidade, custos e flexibilidade. No entanto, os benefícios alcançados com a modernização ainda estão mensurados por sistemas de custeio desenvolvidos para o ambiente da revolução industrial. Por esta razão, tais sistemas de custeio são impróprios para mensuração e base para tomadas de decisões gerenciais, embora sejam demonstrativos legais para fins fiscais. Os relatórios de custos são a base para tomadas de decisões de planos de investimentos e estratégias, devendo reproduzir o processo produtivo da empresa, pois o custo do produto sofre alteração por mudanças de projeto e processo, ou pelo modo como é fabricado.

A fabricação econômica, principalmente em usinagem, passou a ser tratada cientificamente nos estudos realizados por Frederick Winslow Taylor nas oficinas (usina) da Meedwale Steel, por volta de 1880. Desde então vários autores continuaram as pesquisas nessa área. Ficou reconhecido e definido o Intervalo de Máxima Eficiência (IME), o qual delimita o campo de velocidades de corte para que a usinagem seja realizada dentro das condições econômicas de corte.

A contabilidade tradicional objetiva valorizar estoques e custos dos produtos vendidos, além da maximização do uso da mão-de-obra e equipamentos. Conforme COPPINI & MALAQUIAS (1996), o custeio tradicional provoca distorção dos valores atribuídos aos

parâmetros de custos necessários para a determinação do IME, além de dificultar a obtenção dos mesmos. Soma-se incertezas causadas por valores tabelados dos coeficientes de vida da ferramenta. Também a falta de visão ou preparo dos gerentes, engenheiros e responsáveis pelo processo (COLDING, 1992), somados ao objetivo da contabilidade tradicional contribui para o desuso do potencial IME.

O problema com relação à inclusão desses parâmetros em modelos de otimização não encontrou a solução que incentivasse processistas, gerentes e empresários a adotarem parâmetros de corte otimizados. Embora tenha havido esforço de pesquisadores, a otimização das condições operacionais ficou limitada à pesquisa. Para sobreviver e conseguir vantagem competitiva, as empresas procuram aperfeiçoar os meios de produção através de inovação com modernas filosofias e tecnologias. Assim, a manufatura tende a utilizar sistemas "*Just-in-Time*" (JIT) e Gestão Baseada em Atividades (ABM) para gerenciamento e controle da produção e seus custos.

Pela experiência própria, em chão de fábrica, o autor reafirma que dados de corte otimizados não são considerados no dimensionamento do processo, assim como a seleção dos parâmetros de corte e a determinação do momento de troca da ferramenta ficam a critério do operador da máquina. Estas decisões são tomadas em função de tempo previsto e de acordo com o conhecimento próprio adquirido sobre o sistema máquina-ferramenta-dispositivo-peça. Quando da implementação do sistema JIT, o operador passa a gerenciar sua estação de trabalho, tendo acréscimo de responsabilidade.

Este quadro torna necessário e oportuno a otimização em processo de usinagem, integrando sistemas de planejamento e custeio da produção, com o modelo de otimização e gerenciamento proposto, com base em velocidade de mínimo custo ( $v_{mc}$ ) e com o uso de ferramenta padrão (FP). Deste modo a otimização passa a ser potencial alternativo bem menos dispendioso que modernas técnicas para produtividade e redução de custos de fabricação. Por esta razão deve ser explorado.

Uma melhoria imposta pela otimização do processo de usinagem, representa além de uso eficiente dos meios de produção, um considerável ganho de custo. O controle e gerenciamento da usinagem, assim como os custos envolvidos com ferramentas são melhorados pela inovação da introdução do conceito da ferramenta padrão.

## 1.1 Objetivos Gerais

O objetivo deste trabalho é propor metodologia para otimização e gerenciamento do processo de usinagem, em cenário de fabricação flexível e custeio baseado em atividades (ABC), criando e definindo a velocidade de corte de mínimo custo limite ( $v_{mclim}$ ), como referência de otimização das condições operacionais e introduzindo o conceito de FP. Assim, pretende-se contribuir com os procedimentos existentes para incrementar a produção com menor custo, maior flexibilidade e qualidade no processo de usinagem.

Também pretende-se dar uma contribuição em particular ao grande número de pequenas empresas brasileiras que trabalham com nível de automação limitado ao uso de máquinas com controle numérico computadorizado (CNC) e sem sistemas especiais de monitoramento.

## 1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos envolvidos na metodologia desenvolvida são:

- analisar modelos de otimização em usinagem no contexto de fabricação flexível, caracterizado pelo empenho constante na redução de tempos e custos;
- identificar o fim de vida da ferramenta sem o uso de equipamentos especiais de monitoramento e assim estabelecer o momento de troca da ferramenta ( $Mt$ ), garantindo reprodutibilidade e confiabilidade, adequadas à prática da usinagem dentro do cenário definido nos objetivos gerais;
- determinar uma referência para a velocidade de corte otimizada entre a  $v_{mc}$  e a velocidade de máxima produção ( $v_{mxp}$ ), apropriada ao cenário objetivado;
- determinar e analisar a velocidade de corte otimizada, pela introdução do conceito de velocidade de mínimo custo limite  $v_{mclim}$ , com base em dados de catálogos comparados aos dados obtidos diretamente de experiência com o processo;
- viabilizar a validação do modelo em laboratório e por simulação;
- introduzir e analisar o conceito de FP, aplicado ao cenário objetivado.

### **1.3 Estrutura**

Os próximos capítulos deste trabalho apresentam inicialmente como os sistemas modernos se estruturam e adquirem flexibilidade em manufatura (Capítulo 2), conceitos e lógica de sistemas tradicionais de custeio e sistemas ABC (Capítulo 3), técnica, modelos e fundamentos de otimização (Capítulo 4), proposta de modelos de otimização e gerenciamento em usinagem (Capítulo 5), resultados e análise de tempos e custos conseguidos com a metodologia proposta (Capítulo 6) e por último, no Capítulo 7 são apresentadas as conclusões e sugestão para futuros trabalhos.

## **CAPÍTULO 2**

### **FABRICAÇÃO FLEXÍVEL**

A evolução tecnológica se faz sentir em todas as áreas da manufatura. Em 1997, BROWN aborda o processo de usinagem sob o impacto da competição global que pressiona as indústrias a implementar novas tecnologias, produtos de automação e estratégias para melhorar a eficiência da máquina e do operador, a fim de reduzir custos e aumentar competitividade. Segundo ele, o processo de usinagem será o mais afetado pelas novas tecnologias, pela estratégia de inventário JIT, pela competição global e por programas de controle da qualidade. Ele divide o processo de manufatura em três áreas funcionais: controle e planejamento de inventário; planejamento de pré-produção e programas de redução da preparação e manufatura em processo. Através desta divisão, mostra a importância da estratégia de utilização da máquina e os sistemas de troca rápida de ferramentas como elemento central no novo estilo de manufatura. Os sistemas de troca rápida incrementam programas de redução de tempos de preparação, como a manufatura celular (MC) e a tecnologia de grupo (TG), pois o gerenciamento de inventário reduz custos através da eliminação de desperdícios, diminuição de estoques e lotes pequenos (Figura 2.1 e 2.2). Isso faz com que as máquinas sejam preparadas mais vezes aumentando o tempo de preparação.

Conforme BROWN (1997), o uso de alta tecnologia e capacidade de flexibilidade caracterizam os modernos sistemas produtivos.

Com base no trabalho de CORRÊA & GIANESI (1996), afirma-se que o desenvolvimento de novas tecnologias de processo descrevem a tendência atual para um cenário de fabricação flexível, onde a produção pode incrementar a competitividade da organização. Bem gerenciada, a produção pode se tornar uma poderosa arma competitiva para

redução de tempos, obtenção de eficiência em custos e qualidade. As máquinas flexíveis computadorizadas estabeleceram um novo paradigma em relação à economia de escala por possuírem o potencial de tornar os tempos de preparação desprezíveis. Com certeza os autores referem-se à facilidade para pequenas alterações em um programa CNC, à possibilidade de fixação de peças em uma segunda mesa e à disponibilidade de ferramentas em magazines.

Com relação ao paradigma, os sistemas de administração modernos por sua excelência ajudam a quebrar as “barreiras existentes entre os departamentos da empresa”.

Conforme DRUKER (1992), CORRÊA & GIANESI (1996) e BROWN (1997), o desenvolvimento tecnológico de processos e equipamentos forçam as empresas a repensarem sobre como gerenciar, planejar e controlar a produção. Os sistemas produtivos modernos são caracterizados por novos conceitos de gerenciamento da produção, classicamente representados por JIT, MC, TG, equipamentos CNC, manufatura integrada por computador (CIM), sistemas flexíveis de manufatura (FMS), equipamentos automatizados, e ferramental de troca rápida.

## **2.1 Gerenciamento JIT**

Segundo CORRÊA & GIANESI (1996) e TEIXEIRA & TEIXEIRA (1996), JIT é uma filosofia de gerenciamento da produção, direcionada para a eliminação de desperdício no processo produtivo, dentro de uma abordagem sistêmica. Este sistema objetiva a melhoria contínua do processo através de redução de estoques, com finalidade de solucionar casos de descontinuidade na produção, decorrentes de problemas de: má qualidade, quebra de máquinas, trocas de ferramentas e de confiabilidade em relação aos equipamentos. Metas como zero defeito, tempo zero de preparação, estoque zero, movimentação zero, “*lead*” time zero e lote unitário, são estabelecidas para minimização ou eliminação de problemas relacionados à produção. Estas metas são incentivadas pela otimização dos processos em busca da melhoria contínua.

SLACK (1997) citado por CABRINI & MAESTRELLI & VANALLE (1998) define a idéia básica do JIT como sendo a de produzir somente o que for necessário, na quantidade e no momento certo, ou seja, fabricar e entregar produtos apenas a tempo de serem vendidos, para que seus clientes não tenham que esperar; submontá-los a tempo de montá-los nos

produtos acabados; fazer peças apenas a tempo de entrar nas submontagens, para que não se transformem em estoques, e finalmente, adquirir materiais apenas a tempo de serem transformados em peças acabadas, sem desperdícios. É importante analisar o esquema de gerenciamento JIT, apresentado na Figura 2.1

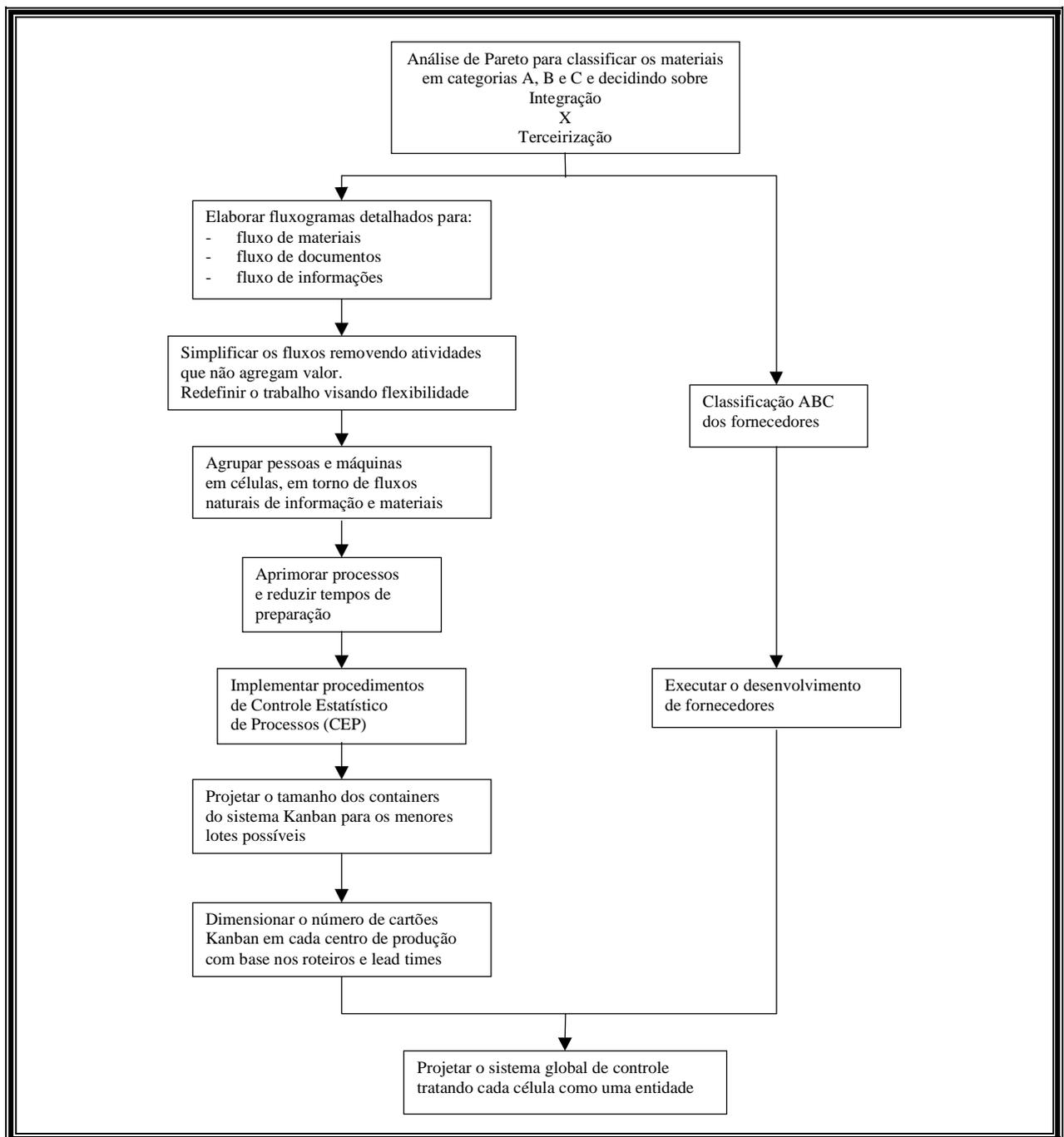


Figura 2.1 – Esquema global de projeto das operações JIT

FONTE: CORRÊA & GIANESI (1996, p.102)

A classificação A, B e C, presente na Figura 2.1, refere-se a regular, irregular e eventual, respectivamente.

O controle da produção, em termos de fluxos e estoque de materiais pode ser realizado através de Kanban, por operadores, planejadores, gerentes. O Kanban pode ser apresentado como quadro de avisos, cartão, bilhetes, que indicam a necessidade de fabricação. A produção é “puxada” pela demanda imposta pelo mercado. A Figura 2.2 mostra o balanceamento das linhas de produção, o qual procura distribuir carga de trabalho equivalente aos postos de trabalho e através dela pode-se observar como a montagem em lotes pequenos puxa a fabricação.

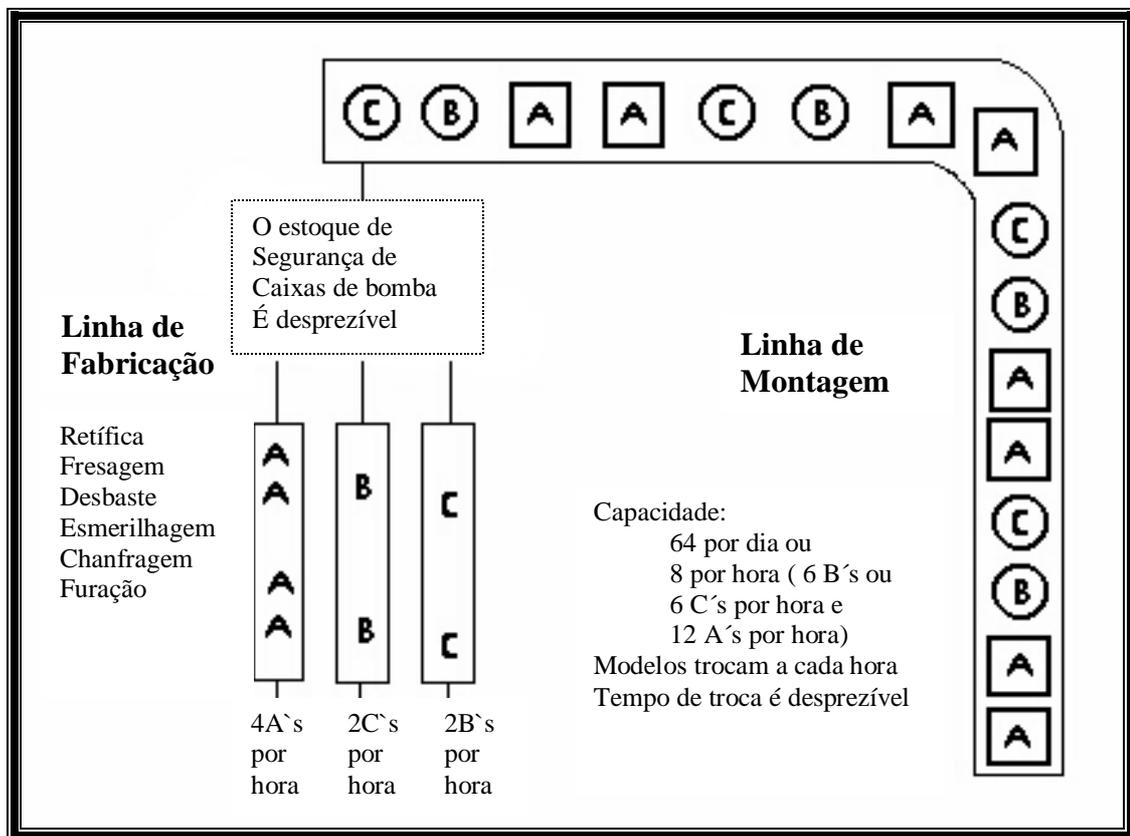


Figura 2.2 – Balanceamento das linhas de produção

FONTE: CORRÊA & GIANESI (1996, p. 79)

A linha de montagem de modelos mesclados da Figura 2.2 monta 8 (oito) unidades/hora. Se montasse em lote, o produto A que é montado a uma taxa de 12 unidades/hora, faria com que a linha de fabricação trabalhasse na mesma taxa para abastecer a

montagem. Isso provocaria a parada das linhas de fabricação dos produtos B e C por 2 (duas) horas, pois esses produtos são montados a taxa de 6 (seis) unidades/hora cada um. As linhas são balanceadas com taxa de 1/3 das referidas. Assim a fabricação é distribuída para os produtos, tendo o tamanho do lote reduzido.

Os gerentes de linha controlam a carga de trabalho e o deslocamento de mão-de-obra para executarem o balanceamento das linhas. A integração entre planejamento, controle e fabricação se dá em chão de fábrica.

## 2.2 Manufatura Celular (MC) e Tecnologia de Grupo (TG)

A tecnologia de processo MC é que arranja fisicamente máquinas-ferramentas em células (Figura 2.3) ou “flotilhas”, como chamou DRUKER (1992).

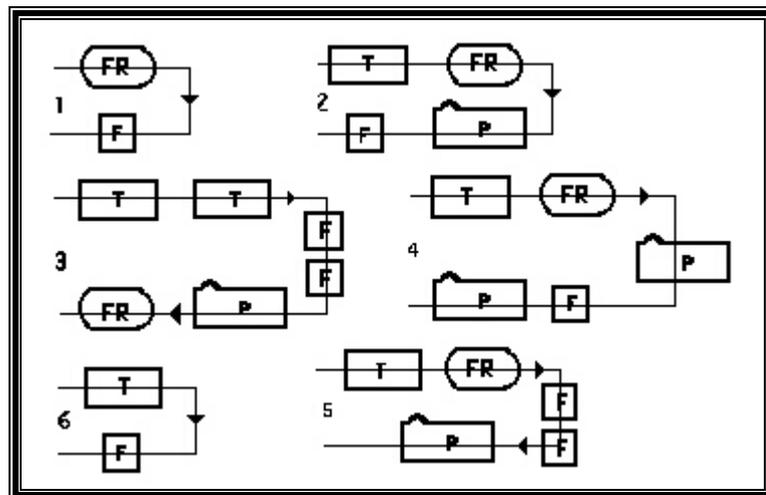


Figura 2.3 – Distribuição física celular

FONTE: CORRÊA & GIANESI (1996, p. 74)

Sua finalidade é permitir fluxo contínuo e visualização da produção nos vários estágios de fabricação, o que não acontece em distribuição física funcional.

A distribuição física funcional organiza grupos de máquinas por processos (Figura 2.4).

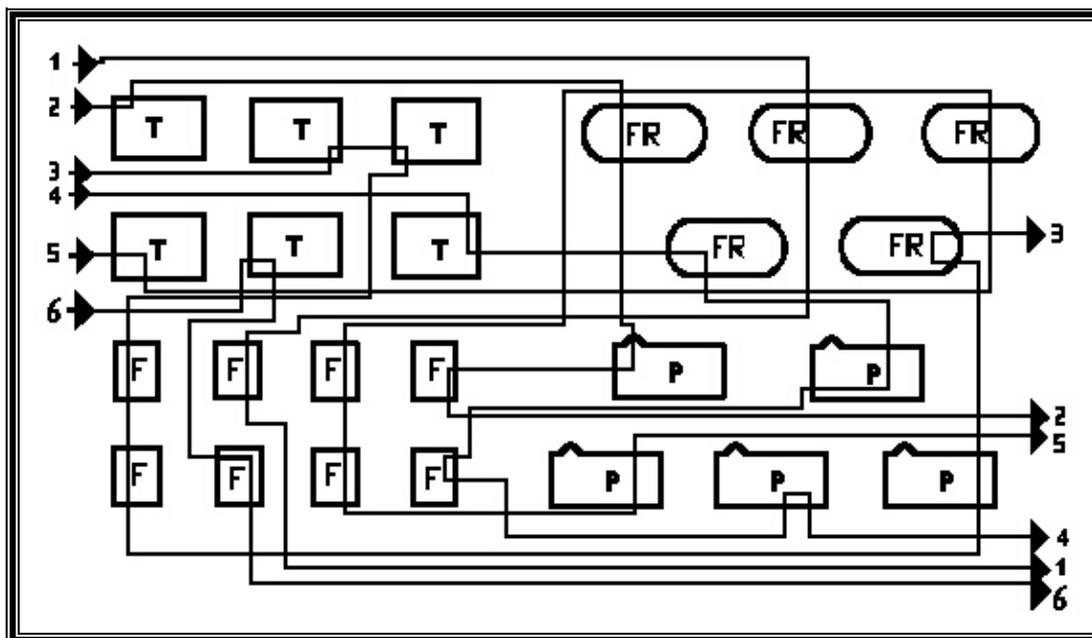


Figura 2.4 – Distribuição física funcional

FONTE: CORRÊA & GIANESI (1996, p. 73)

Conforme a Figura 2.4, observa-se 4 (quatro) grupos: grupo de furadeiras (F), grupo de plainas (P), grupo de fresadoras (FR) e grupo de tornos (T). Cada grupo de máquinas pode ser considerado um centro de custos.

Percebe-se que os lotes (1, 2, 3, 4, 5 e 6) e as máquinas são as mesmas em ambas as Figuras 2.3 e 2.4. No entanto, através da Figura 2.4, a identificação das máquinas pelas quais passam cada lote é morosa. Instantaneamente ao observar a Figura 2.3 percebe-se o fluxo de material, identificando lote, máquina e local. Na distribuição física funcional é comum o “perdigreiro” do PCP percorrer a fábrica, seguindo o roteiro de fabricação, para localizar um determinado lote e verificar em que fase do processamento ele se encontra.

A MC reduz transporte de material e estoque em processo, pois entra na célula a matéria prima e sai o produto. A célula é composta por máquinas diferentes, ou estações de trabalho distintas, que são necessárias para a confecção de um grupo de peças.

De acordo com TUBINO & DANNI (1997), a MC quando implantada em sistemas JIT, reduz drasticamente tempos de processamento e melhora a qualidade independente do seu nível de automação. Ela também torna processos intermitentes em um conjunto de pequenos processos contínuos. Na verdade, o processo continua intermitente. Apenas assume características de contínuo no que se refere a transporte e fila.

Um processo intermitente que assume características de contínuo pode ser exemplificado pela movimentação de material entre departamentos de usinagem e departamentos de montagem. Para usinagem de eixo e engrenagem, materiais são movimentados entre os centros de custos de torneamento, fresamento e brochamento. Outra movimentação para o departamento de montagem é necessária para que se monte o subconjunto eixo-engrenagem. Com distribuição física celular esta movimentação é eliminada, pois entra na célula, o tarugo para usinagem do eixo e o blanque para a usinagem da engrenagem e, sai o subconjunto montado. A submontagem acontece na banca de ajustagem que junto com o torno, a fresadora e a brochadeira compõem a célula. Assim, o fluxo é maximizado.

É importante ressaltar que MC também apresenta algumas desvantagens. Exige considerável custo de implementação, maior confiabilidade do equipamento e melhor balanceamento da carga de trabalho das máquinas, além de usar mais máquinas. Paradas não previstas para manutenção e gargalos representam sérios problemas.

Geralmente a MC é associada à tecnologia de grupo. Esta tecnologia consiste em agrupar peças semelhantes em processo de fabricação, geometria e material, formando uma família de peças. Tais semelhanças contribuem para redução de tempos de preparação. A redução de tempos de preparação é outro benefício do conceito de FP.

Sistemas de Classificação e Codificação (SCC), método ocular e o método de Análise do Fluxo de Produção (AFP), de acordo com QUEIRAZZA & MAESTRELLI (1998), possibilitam a formação de famílias. Uma família é usinada em uma mesma célula. Nem sempre é possível agrupar todas as peças fabricadas de modo que a família toda seja usinada apenas em uma única célula. Isso ocorre devido à variedade e complexidade dos itens fabricados. Alternativas simplistas são a duplicação de máquinas ou o compartilhamento entre células, o que causa movimentação, fluxo carente de melhoria, além de possíveis gargalos. Para solucionar problemas de formação de famílias e respectivas células, assim como eliminação de gargalos, CHOW & HAWALESHKA (1992), MAESTRELLI & BATOCCHIO (1995) e CORREIA FILHO, MAESTRELLI & BATOCCHIO (1997) desenvolveram algoritmos e métodos de inclusão e exclusão de peças e máquinas em uma matriz.

Após aplicação dos SCC para encontrar similaridade entre peças, no que diz respeito a processos, geometria, etc., os algoritmos são aplicados em MC com objetivo de alcançar a matriz diagonal perfeita, conforme Tabela 2.1. Essa matriz composta por máquinas (linha) e

peças (coluna) permite a formação das famílias e respectivas células para fluxo maximizado evitando compartilhamento ou duplicação de máquinas.

A Tabela 2.1 mostra o resultado da aplicação de algoritmo possibilitando formação e visualização de cinco células, descritas logo após sua apresentação.

Tabela 2.1 – Matriz diagonal perfeita máquina/peça

peças	4	9	18	16	8	19	17	7	14	15	6	13	12	10	20	25	24	21	11	23	22	
2	1	1	1																			
3	1			1	1																	
13	1	1				1																
6					1		1															
4								1		1												
7								1	1													
1											1	1										
9											1		1									
8														1	1	1						
11														1	1		1					
12														1				1				
5																			1	1		
10																			1		1	

FONTE: CORREIA FILHO, MAESTRELLI & BATOCCHIO (1997, p. 88)

Pela Tabela 2.1, o arranjo físico é feito com 5 (cinco) células:

- célula 1 = peças (4;9;18;16;17) e máquinas (2;3;13);
- célula 2 = peças (7;14;15) e máquinas (4;7);
- célula 3 = peças (6;13;12) e máquinas (1;9);
- célula 4 = peças (10;20;25;24;21;11) e máquinas (8;11;12);
- célula 5 = peças (23;22) e máquinas (5;10).

CORREIA FILHO (1998) e CORREIA FILHO, MAESTRELLI & COPPINI (1999), usando os conceitos acima, procuram a matriz diagonal perfeita para formação de famílias de ferramentas. A matriz agora é composta por peças e ferramentas. Então o processo fica ainda mais flexível, pois as peças são agrupadas de acordo com solicitação de máquinas e ferramentas.

Pelo método ocular, a formação de famílias é feita através da análise visual das peças em chão de fábrica. Pelo método da AFP a base para o agrupamento é o roteiro de fabricação

e a solicitação de máquinas e ferramentas. Assim, por não estar limitada ao tipo de material e à geometria das peças, a FP favorece estes métodos, além de reduzir tempos de preparação.

Outra mudança fundamental em sistema JIT e MC é a polivalência do operador capaz de operar várias máquinas dentro da célula. Um estudo de carga e eficiência de trabalho é realizado para que isso aconteça.

### 2.3 Ferramental de Troca Rápida

Eficiência de máquina e operador pode ser melhorada com uso de ferramentas modulares, de troca rápida, associada à tecnologia de modernas ferramentas.

Conforme CASTNER & PITSKE (1995), a capacidade de produção da máquina é aumentada pela conversão de tempos improdutivos ( $t_i$ ) em tempos produtivos, através do ferramental de troca rápida. A decisão de investimento em mais uma máquina pode ser adiada ou cancelada, pois a eficiência melhorada das máquinas existentes corresponde à produção de mais uma máquina. Portanto ganhos em vida de ferramentas (com ferramentas modernas) e tempos, refletem financeiramente no cômputo geral da empresa

Sistemas de troca rápida são ferramentas compostas por unidade de fixação e unidade de corte, conforme se verifica na Figura 2.5.

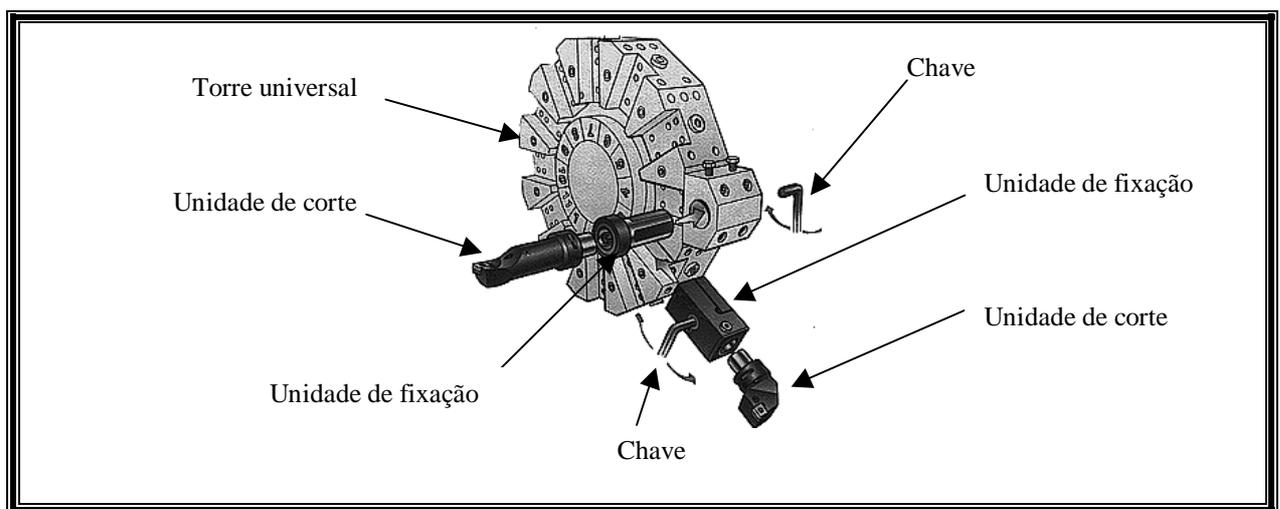


Figura 2.5 – Ferramental de troca rápida

FONTE: SANDVIK COROMANT (1995, p. 279)

Nesta Figura 2.5, o sistema de trava da unidade de corte por parafuso é acionado por uma chave que gira este parafuso em menos de meia volta.

Os tempos de preparação e troca de ferramenta são reduzidos através da intercambiabilidade das unidades e seus sistemas de travamento e destravamento. A unidade de fixação dotada de sistema de pistas no suporte cônico ou furos de precisão permite acionamento sem chaves, conforme Figura 2.6

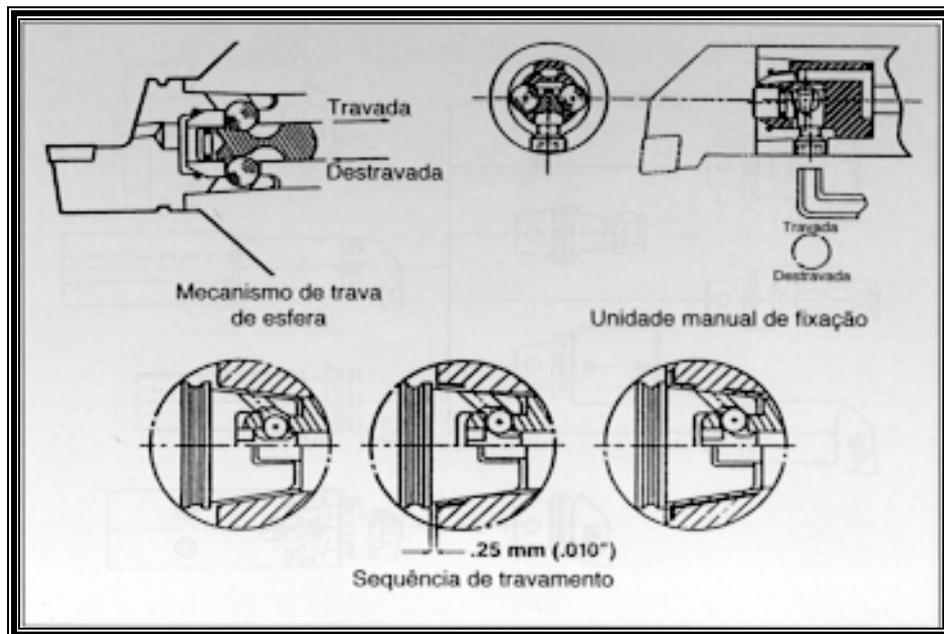


Figura 2.6 – Sistema de travamento com esferas

FONTE: BROWN (1997; p.59)

Ao puxar ou empurrar uma barra de tração as esferas são ajustadas ou não, nos furos, possibilitando soltar ou prender a unidade de corte, o que pode ser observado na Figura 2.6. A unidade de corte é equipada com furos para refrigeração e face cônica para atuação manual ou semi-automática.

O acionamento semi-automático pode ser executado por um simples apertar de botão em ferramentais equipados com mecanismos de travamento de molas de discos. Automaticamente o acionamento pode ser feito a partir de um sinal do controle da máquina.

Os sistemas modulares possuem adaptadores para diversas configurações de ferramentas e devem garantir a rigidez e o ajuste necessário para bom desempenho.

De acordo com BROWN (1997), o uso dos sistemas de troca rápida adaptados em torre universal permite a intercambiabilidade universal de blocos de ferramentas e facilitam estratégias de utilização de máquinas rumo a melhoria contínua. Dentro do planejamento de pré-produção e programas de redução de “*setup*”, as unidades de corte são montadas com arestas novas e pré-aferidas, facilitando pequenos ajustes necessários após uma troca. Podem ser adaptados em máquinas convencionais, CNC, no modo manual, semi, ou totalmente automático, fazendo a ligação entre os sistemas manuais do passado e os modernos, rumo à CIM. Uma estratégia de utilização de máquina, definida por BROWN (1997), consiste dos seguintes elementos:

- fluxo de trabalho e controle de processo
- agrupamento de ferramentas
- ferramentas pré-aferidas
- ferramental de troca rápida
- material de ferramentas de corte avançados
- software de gerenciamento de localização de ferramentas
- procedimentos de manutenção contínua de ferramentas
- programas de redução de tempo de parada

FORTULAN & RESENDE (1997) e TANI (1997) ressaltam a importância do planejamento e gerenciamento de ferramentas nos sistemas a base de CNC, , FMS, CIM para que se possa atingir os benefícios da flexibilidade propiciada pela troca rápida

Em toda estratégia de utilização de máquinas e eficiência do operador deve haver esforço para implementação de condições operacionais otimizadas, pois melhoram a qualidade do processo e reduzem tempo de parada e custo das operações.

## **CAPÍTULO 3**

### **SISTEMAS DE CUSTEIO**

Conforme visto no capítulo anterior, a manufatura sofre mudanças e conseqüentemente os sistemas de custeios também devem mudar para melhor se adequarem ao processo produtivo. Os sistemas de custos são usados pela contabilidade para mensuração e controle do custo da produção. As informações geradas pelos sistemas de custeio norteiam as decisões gerenciais em geral e revelam o desempenho da empresa em sua missão de fabricar produtos e prestar serviços.

MARTINS (1996) apresenta definições de contabilidade financeira, de custos e gerencial. Além de explicar os sistemas tradicionais de custeio, seus conceitos e estrutura, neste trabalho o autor inclui o sistema de custeio ABC, pois percebe as mudanças nos sistemas produtivos, forçadas pela evolução tecnológica e intensa competição no mercado globalizado. Porém, demonstrando um certo conservadorismo (qualidade negativa de administradores, gerentes e planejadores, que atrapalha a necessária adaptação dos sistemas à realidade atual, a qual implica em constante atualização de processos, técnicas, etc), o autor declara não haver grande diferença entre os métodos tradicionais e os baseados em atividades quando a função objetivo é o custeio de produtos. Para MARTINS (1996), os centros de custos (dos métodos tradicionais) podem ser “aproximados” dos centros de atividades (de modelos ABC), conseguindo maior precisão no custeio, sem grandes mudanças estruturais. Neste aspecto, MIGUEL (1992), COPPINI & MIGUEL (1992) e MIGUEL & COPPINI (1996), concordam com MARTINS (1996), quando introduzem o Fator de Contribuição da máquina-ferramenta na formação do custo de fabricação por peça em centros de custos departamentalizados, refletindo a influência do equipamento na formação do custo por peça. MIGUEL & CALARGE (1994) reafirmam tal situação, embora recomendem implantação de

ABC e, assim como os autores citados anteriormente, reconhecem a deficiência e necessidade de evolução dos métodos tradicionais

COPPINI, FONSECA & MATTOS (1995) estudam vários processos produtivos de indústria de pequeno, médio e grande porte com relação às metodologias de cálculos aplicadas para obtenção do custo dos produtos e concluem que seus métodos são incapazes de medir custos de forma real, principalmente quando há variedade de produtos. Então, FONSECA & COPPINI (1995) apresentam metodologia prática para o cálculo dos custos de fabricação fundamentada nos conceitos da filosofia ABC e, em 1996, complementam esta metodologia discutindo e consolidando as bases de alocação de custos, relacionando mais adequadamente despesas, atividades e produtos. Esta metodologia ilustra a discussão anterior, adaptando conceitos ABC à estrutura do custeio tradicional, possibilitando informações mais confiáveis, como base para decisões.

De acordo com ACEVEDO & BATOCCHIO (1997), a metodologia de análise e medida de desempenho nos níveis operacionais e táticos, dentro dos conceitos de ABC, refletem o nível estratégico. No nível operacional as medidas influenciam “*lead time*” de produção, “*time to market*”, tempos de transporte, índice de peças refugadas, etc. As medidas de desempenho deste nível interagem com disponibilidade, serviço, qualidade e confiabilidade no nível tático. A ligação entre níveis de desempenho permite controle estratégico com melhores informações servindo de suporte às decisões.

Os conceitos e estrutura deste método revolucionário (ABC), podem ser entendidos e implementados a partir de trabalhos como os de BRINSON (1991), NAKAGAWA (1994), CHING e COGAN (1995), entre outros.

COLOMBO (1998), em estudo de caso, apresenta 12 (doze) etapas para implantação do ABC. MARTINS, BERNABE & COPPINI (1996) implantaram o ABC em 8 (oito) etapas e HERRERA, SCRAMIM & BATALHA (1998) em apenas 6 (seis) etapas.

Na verdade, não existe uma “receita mágica” para o sucesso com este custeio. Uma metodologia deve ser desenvolvida. As atividades e direcionadores de custos são pertinentes ao processo de cada empresa, bem como a relação causal atividade-produto, cabendo a esta identificá-los de modo que se tenha real representatividade do processo produtivo.

Indubitavelmente, mudanças devem ser providenciadas em direção ao ABC, para que além de precisão no custeio de produtos e serviços as empresas possam ter ferramenta eficaz de gestão. A aplicação do ABC para gerenciamento se constitui na ABM.

### **3.1 Sistemas Tradicionais de Custeio**

Os sistemas tradicionais de custeio estão subdivididos em três grupos: custos para avaliação de estoques, custos para decisão e custos para controle.

Custeio para avaliação de estoques é metodologia integrada com a contabilidade financeira ou geral da empresa, satisfazendo as exigências legais, fiscais, embora falhe como instrumento gerencial. Este grupo é caracterizado pelo Custeio Integral (ou por absorção) e a Taxa de aplicação dos custos indiretos de fabricação (*CIF*). O custeio Direto (ou variável) considera apenas os custos que variam conforme a produção e por isso são usados para fomentar decisões. Para medir desempenho, função de controle, é usado o custo padrão. Geralmente o custeio direto é usado em conjunto com o padrão ou integral.

#### **3.1.1 Custeio integral e por taxa de absorção**

Pelo método Integral, os custos gerados pelos produtos devem ser alocados a eles. Os custos diretos são alocados diretamente aos produtos, pois é fácil identificá-los e estabelecer relação com o produto, mediante serviços de apontamento para mão-de-obra, mostrando quais operários e por quanto tempo trabalharam em cada produto, ou através de requisições que indicam para quais produtos foram solicitadas as matérias prima, ou seja, com meios de controle é possível alocar diretamente. A absorção dos *CIF* pelos produtos pode ser estabelecida com ou sem departamentalização. A departamentalização é a divisão estrutural da empresa em unidades mínimas administrativas, como por exemplo: departamento de produção, almoxarifado, engenharia, podendo coincidir com o centro de custos que é a unidade mínima de acumulação de custos.

Etapas do custeio com departamentalização:

- levantar gastos num determinado período, separando custos e despesas. Os custos são alocados aos produtos e as despesas são descarregadas no resultado do período;
- apropriar os custos diretos;
- apropriar *CIF* que pertencem visivelmente ao departamento, como por exemplo salário de supervisão, já aparecendo rateio e, agrupar a parte os custos comuns aos demais

departamentos, como custos de aluguel. Nesta etapa já aparece rateio.

- apropriar *CIF* comuns e da administração geral aos diversos departamentos. Esta apropriação é baseada em rateios que obedecem a critérios que devem ser os mais sensatos. Os critérios podem ser percentual dos *CIF* igual ao percentual dos custos diretos que cada produto recebeu, ou tempo de fabricação, ou hora máquina, enfim, um critério consistente.

No rateio os departamentos de serviços, como: almoxarifado, controle de qualidade, entre outros, distribuem seus custos, após análise de como e quanto prestam serviços aos outros departamentos, adotando os critérios mais cabíveis. Pelo critério de hierarquização, o mais usado na prática, a distribuição é feita de modo que o departamento não receba mais custos de outros departamentos, após distribuição de seus custos. Esta distribuição hierarquizada totaliza todos os custos nos departamentos de produção, para que daí sejam apropriados aos produtos, conforme mapa de rateio exemplificado pela Tabela 3.1

Tabela 3.1 – Mapa de rateio dos *CIF* aos departamentos de produção

Custos	Depto. de apoio			Depto. de Produção		Totais
	Adm Prod	manutenção	Almoxarifado	Usinagem	Montagem	
Aluguel						
Aluguel	\$ 4.200	\$ 4.600	\$ 4.200	\$ 6.000	\$ 5.000	\$ 24.000
Energia Elétric	\$ 6.500	\$ 5.500	\$ 5.000	\$ 14.000	\$ 11.000	\$ 42.000
Sal. Pes. Super	\$ 3.900	\$ 3.350	\$ 5.250	\$ 7.000	\$ 5.500	\$ 25.000
Mão-obr.Ind	\$ 5.000	\$ 3.400	\$ 6.700	\$ 12.000	\$ 7.900	\$ 35.000
Depreciação	\$ 4.000	\$ 4.500	\$ 4.900	\$ 9.500	\$ 9.100	\$ 32.000
Material Cons.	\$ 2.000	\$ 1.000	\$ 1.800	\$ 4.200	\$ 3.000	\$ 12.000
Seguros	\$ 2.400	\$ 6.000	\$ 2.000	\$ 4.900	\$ 4.700	\$ 20.000
Subtotal 1	<u>\$ 28.000</u>	<u>\$ 28.350</u>	<u>\$ 29.850</u>	<u>\$ 57.600</u>	<u>\$ 46.200</u>	<u>\$ 190.000</u>
Rateio Adm.	(\$28.000)	\$ 6.000	\$ 5.000	\$ 9.500	\$ 7.500	0
Subtotal 3	0	\$ 34.350	\$ 34.850	\$ 67.100	\$ 53.700	\$ 190.000
Rateio Manut.	0	(\$34.350)	\$ 8.000	\$ 11.950	\$ 14.400	0
Subtotal 4	0	0	\$ 42.850	\$ 79.050	\$ 68.100	\$ 190.000
Rat. Almoxar.	0	0	(\$42.850)	\$ 23.950	\$ 18.900	0
Total Dp Prod	0	0	0	\$ 103.000	\$ 87.000	\$ 190.000
Nº Hora Produz				\$ 18.740 h	9.120 h	
Custo Hora				5,4963 s/h	9,5395 s/h	

FONTE: MARTINS (1996, p.98)

Conforme a Tabela 3.1, a administração distribui primeiro, pois presta serviços a todos os outros. Ela rateia seus custos aos outros departamentos, mediante uma base de rateio. Por exemplo: os custos referentes a aluguel são rateados com base em espaço físico, os custos de energia com base em pontos de luz e força, e assim por diante. O departamento manutenção

distribuí logo a seguir. O próximo departamento a distribuir seus custos é o almoxarifado. Na última fase somente os departamentos de produção (usinagem e montagem) estão com custos a serem rateados aos produtos e, o fazem com base em hora-máquina, ou um outro critério.

O custo dos produtos, então, fica sendo a soma dos custos diretos, diretamente alocados e dos indiretos rateados.

O custo por peça ( $K_p$ ), em centros de custos departamentais é correspondente ao custo do tempo de permanência em operação nesses centros de custos, somado ao custo da matéria prima ( $MP$ ). O total de horas de fabricação em cada centro de custo ( $Hf_i$ ), é multiplicado pelo custo horário do centro de custo ( $CH_i$ ), conforme equação (3.1), expressa por COPPINI & MIGUEL (1992):

$$K_p = MP + \sum_{i=1}^n Hf_i \times CH_i \quad (3.1)$$

Segundo MARTINS (1996) a departamentalização em custo é obrigatória para que se tenha uma racionalização dos *CIF*, porém de acordo com HERRERA, SCRAMIM & BATALHA (1998) e MARTINS, BERNABE & COPPINI (1996), os sistemas tradicionais foram desenvolvidos nas décadas de 20 e 30, informando custo de produtos que consomem atividades indiretas em relação ao volume de produção. Com o aumento das atividades indiretas não relacionadas com o volume de produção, aumenta a distorção no custo dos produtos, principalmente se o rateio é realizado com base em mão de obra direta.

Conforme MARTINS (1996), o método de taxa de aplicação dos *CIF* permite conhecer os custos do produto durante sua execução, antes do término do período e a realização dos rateios. Nesse momento, ainda não são conhecidos os totais de *CIF* nem a produção. Uma estimativa do volume de produção e *CIF* que irão incorrer no período se faz necessária para obtenção da taxa de *CIF* aplicados. Porém, como ele observa, deve-se fazer distribuição real dos custos aos produtos (aumentando-os ou diminuindo-os) para que a diferença causada (pela estimativa) no volume de produção e no valor monetário dos custos sejam eliminadas.

Segundo RUCINSKI (1996), a taxa de aplicação é obtida pela razão entre os *CIF* e uma base,  $MP$  e/ou custo de mão-de-obra direta ( $MOD$ ), por exemplo. O custo do produto ( $Cdp$ ) fica sendo a taxa de *CIF* somada aos custos diretos, conforme equação 3.3.

$$Taxa = \frac{CIF}{MP} \quad (3.2)$$

$$Cdp = Taxa \times CIF + custos diretos \quad (3.3)$$

Segundo a autora, a taxa obtida em função dos custos primários (*MOD e MP*) tem a vantagem, sobre outras bases, de garantir uma ampla base de custos diretos amenizando distorções no cálculo.

### **3.1.2 Custeio direto (ou variável)**

O valor de custos fixos alocados à unidade varia de acordo com quantidade produzida e critérios de rateio adotados. Na verdade, estes custos dizem respeito à manutenção da capacidade de fabricação da empresa. Produzindo ou não eles existem. Isto inviabiliza decisão com base apenas em lucros. Por esta razão, procura-se a contribuição do produto para amortizar os custos fixos e formar o lucro. Assim, formaliza-se o conceito de margem de contribuição (*Mc*) e o de custeio direto.

*Mc* é a diferença entre receita e custo variável.

O Custeio direto se diferencia do integral por eliminar o rateio dos custos fixos e agregar ao produto somente os custos variáveis. Os custos fixos são debitados no resultado, do mesmo modo que as despesas administrativas, financeiras e comerciais. Portanto, o resultado é a diferença entre *Mc* e demais despesas. Dessa forma, os produtos que ficarem estocados, no final do período não terão em sua composição de custo qualquer valor referente aos custos fixos daquele período. O custeio direto é uma alternativa de amenizar os problemas com *CIF* (“*overhead*”), principalmente os fixos independentes de produção ou produto.

SANTOS (1986) é citado por COSTA & BRUNSTEIN (1998) para justificar a aplicação deste custeio como instrumento de planejamento e controle da empresa. Para eles, em indústrias onde o custo direto é a maior parte dos custos totais, este método apresenta bons resultados. Entretanto, o trabalho de COSTA & BRUNSTEIN (1998) tem o ABC como ponto forte, assim como o trabalho de MARTINS (1996). Contudo, estes autores não apontam o

ABC como a diretriz para a contabilidade gerencial, pois realmente quanto a custos diretos, a discrepância entre os métodos tradicionais e o ABC é pequena. No entanto, de acordo com CHING (1995) quando o resultado fica aquém do esperado, a gerência não possui informações sobre onde centralizar esforços de contenção de despesas. Pelo ABC, estas informações podem ser conseguidas através de indicadores de desempenho, de acordo com ACEVEDO & BATOCCHIO (1998) e, de acordo com CALARGE & AGOSTINHO (1995) através da análise do que agrega ou não valor a uma atividade.

### **3.1.3 Custo padrão**

O custo padrão é aquele que permite analisar a ocorrência dos custos de acordo com o orçado e o realizado para que medidas corretivas possam ser administradas. É uma técnica auxiliar, usada em conjunto com um sistema, que tem por finalidade o controle. Através de análise gerencial, é verificado o desempenho com relação à meta estabelecida (custo padrão) e a alcançada (custo real). O custo padrão só tem sentido quando a empresa possui custo real. Porém, de acordo com COPPINI, FONSECA & MATTOS (1995), COGAN (1995) e CHING (1994), dentre outros, com utilização dos sistemas tradicionais o custo real fica distante do custo medido, principalmente quando há variedade de produtos, necessitando de alterações fundamentais. O padrão deve ser fixado em quantidades e valores de matéria prima, de mão-de-obra, etc, para que se possa realizar claramente uma comparação. O custo padrão ideal seria o valor conseguido com uso da melhor matéria-prima, da mais eficiente mão-de-obra viável, trabalhando com eficiência de 100% da capacidade da empresa, com paradas programadas em função de manutenção preventiva, etc. O custo padrão corrente é adotado, por considerar as ineficiências e eliminar somente as que julgar ser possíveis sanar. O padrão ideal apenas exclui as ineficiências que cientificamente não podem ser eliminadas.

### **3.1.4 Unidade de esforço de produção (UEP)**

O método UEP pode ser definido, conforme RUCINSKI (1996), como a unificação da produção através de uma unidade de medida, comum a todas as atividades desenvolvidas pelos processos, exigindo esforços de produção, como por exemplo: material indireto, mão-

de-obra direta e indireta. A unidade de medida é a unidade de esforço de produção (UEP). Neste método a empresa é dividida em postos operativos referentes a uma ou mais operações simples, homogêneas e de mesma natureza. Os recursos são consumidos pelos postos operativos no tempo, por unidade de capacidade (geralmente uma hora).

O custo do posto operativo no tempo é o foto-índice-do-posto-operativo (FIPO). O FIPO é o somatório dos foto-índice-item (Fi). Um Fi é um item de custo referido a uma unidade de capacidade, por exemplo: hora-homem/hora, depreciação/hora. O somatório das multiplicações dos FIPO pelo tempo padrão neles despendido para fabricação do produto base, tem-se o foto custo do produto base. O produto base é aquele que melhor representa a estrutura produtiva, ou seja, aquele que passa por todos ou pelo maior número de postos operativos. O foto custo do produto base é o valor em UEP. Portanto, UEP é o esforço de produção necessário para a fabricação de uma unidade do produto base. O produto é custeado em UEP/hora, multiplicando-se o tempo padrão despendido no posto operativo pelo seu potencial produtivo. O potencial produtivo é dado pela razão FIPO / valor em UEP.

Obtem-se o custo do produto em valor monetário, multiplicando-se seu valor em UEP pelo valor monetário da UEP. O valor monetário da UEP é a razão entre total de custos incorridos e produção em UEP. Valor do produto em UEP vezes quantidade produzida é igual à produção em UEP.

Segundo CORAL, SELIG & POSSAMAI (1996), o custo do produto é dado pela multiplicação do tempo despendido no posto operativo por seu custo. Os autores propõem um método alternativo similar ao da UEP, porém diferenciando na estruturação da empresa em atividades e não em postos operativos. Esse método visa melhor gerenciamento das atividades desenvolvidas durante o processo e seu custeio. A unidade de esforço passa a ser a unidade de esforço de atividades (UEA), baseadas nos processos de fabricação.

RUCINSKI (1996) estuda a similaridade dos conceitos de UEP e ABC e viabiliza um modelo de custos baseado na metodologia das UEP, dentro do ABC, comprovando a equivalência entre atividades produtivas e postos operativos

### **3.1.5 Custeio por peça baseado na operação**

O custeio por peça com base na operação foi desenvolvido objetivando a otimização da operação de usinagem dentro do IME. A otimização em usinagem é tratada nos capítulos seguintes.

Este método de custeio é apresentado por FERRARESI (1977), porém, de acordo com COPPINI & MIGUEL (1992) e MIGUEL (1992), os *CIF* não são claramente alocados no custo da peça e não há objetividade na inserção desses em cálculos. Embora este método seja preciso por considerar o fluxo de operações, é quase impraticável para o sistema contábil devido à complexidade na obtenção e controle de informações necessárias.

Somente são tratados na literatura, os custos envolvidos na operação, ou seja, os custos de: mão-de-obra, máquina, e ferramenta. Esses custos dependem do tempo total de fabricação por peça ( $t_i$ ) e conseqüentemente da vida da ferramenta ( $T$ )

A dificuldade encontrada neste método é a mesma que o ABC encontra para controlar custos na operação: a complexidade e o número de informações. Por esta razão BRINSON (1991) e outras autoridades no assunto, recomendam que o controle de custos seja feito por atividades.

No entanto, quanto maior for o detalhamento por atividades, em seus desdobramentos, operações e tarefas, maior será a precisão na determinação dos custos.

### **3.2 Sistemas ABC –“*Activity Based Costing*”**

Conforme COLOMBO (1994), o ABC foi desenvolvido a partir de esforços de várias empresas e consultores que, nas décadas de 1970 e 1980, visavam melhor controlar os *CIF* e melhor manter a qualidade das informações dos custos dos produtos,.

Segundo NAKAGAWA (1995), este custeio já era usado por contadores em 1800 e início de 1900. Outros registros mostram que já era bastante conhecido e usado na década de 1960. Também Taylor, Fayol, Elton Mayo entre outros fizeram uso da análise de atividades para seus estudos de tempos e movimentos para a organização do trabalho, contribuindo para a administração científica da produção. No Brasil seu desenvolvimento começou em 1989 no

departamento de Contabilidade da Universidade de São Paulo - USP.

Embora não sejam aceitos pela legislação brasileira como instrumento de demonstração de resultados e balanço fiscal, os métodos ABC são eficazes quanto à: avaliação de estoques, tomada de decisões e controle. A primeira versão do ABC é voltada para mensuração. O método evolui transformando-se num sistema completo para uma boa gestão econômica.

Sistemas ABC diferem-se dos tradicionais por trabalharem com centros de atividades e não centros de custos. Os produtos consomem atividades e não recursos, os quais são rastreados e não alocados.

A implantação deste tipo de custeio é personalizada, cabendo à empresa uma análise de suas atividades relevantes e quais os direcionadores mais adequados.

De acordo com NAKAGAWA (1994), o ABC é uma metodologia facilitadora da mensuração e análise de consumo de recursos nas empresas. Diferente dos sistemas de custeio tradicionais, este sistema assume que os produtos não consomem os recursos de investimentos, mas as atividades. Os recursos são alocados às atividades e dessas aos produtos, com base nas quantidades consumidas pela fabricação do produto que as requeira. Nos centros de atividades (“*cost pool*”), as atividades, com respectivo consumo de recursos, são agregadas e hierarquizadas, dentro da visão econômica e da visão de processo do sistema. O consumo de recursos é influenciado e medido através de direcionadores de custos (“*cost drivers*”). Das atividades, o consumo de recursos é distribuído aos produtos, também através de direcionadores. Para melhor análise de como os recursos e as atividades são consumidos há uma hierarquização das atividades agregadas em relação a níveis.

De acordo com CHING (1995), o ABC é um processo técnico ou a mecânica para o levantamento das atividades, o rastreamento dos custos para as atividades e a condução dessas atividades para produtos e clientes. E a utilização das informações geradas pelo ABC para gerenciar uma empresa ou um negócio se constitui na ABM.

### 3.2.1 Conceitos e estrutura do modelo ABC

Embora haja pequena diferença na definição de vários autores, os conceitos são os mesmos. Tomando-se por base os trabalhos de COLOMBO (1994) e NAKAGAWA (1995), pode-se definir os conceitos do ABC. A Figura 3.1 ilustra a dimensão de custeio de produtos (visão vertical do modelo), onde recursos são consumidos por atividades e estas consumidas por produtos. A mesma Figura mostra na visão horizontal, a dimensão de processos, na qual os “*cost drivers*” ou influenciadores atuam no desempenho da atividade que é mensurado para análise estratégica.

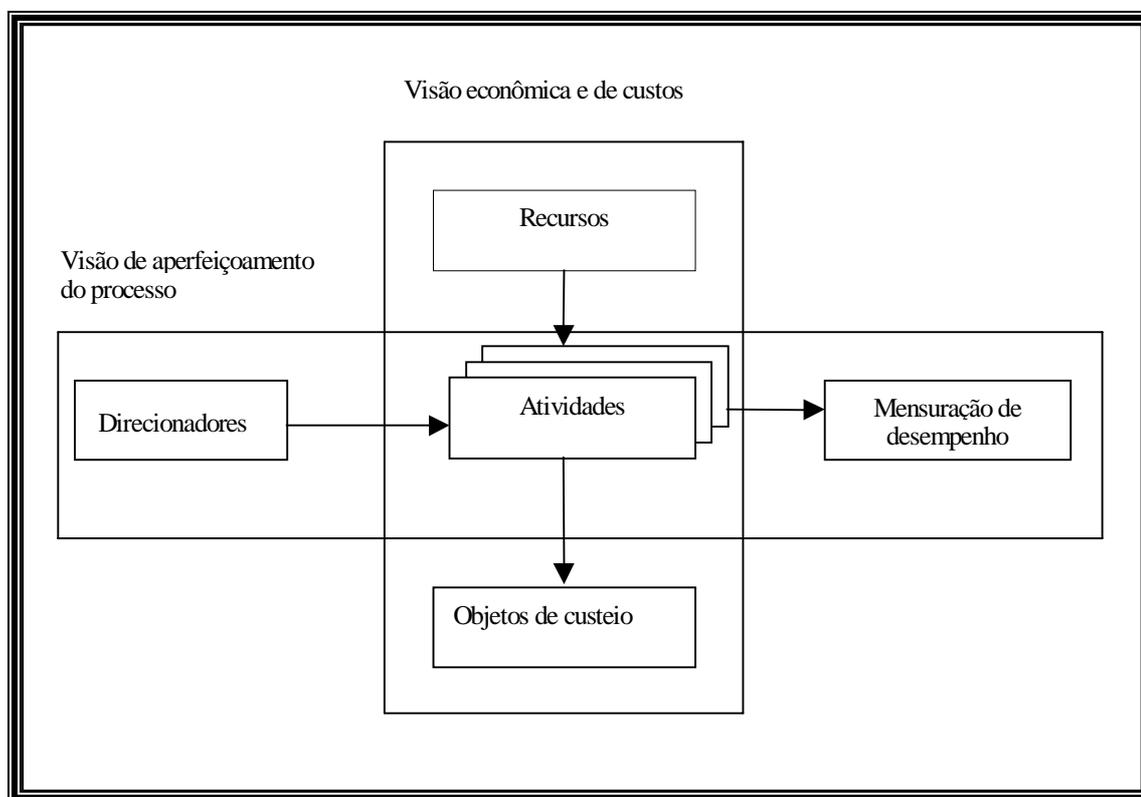


Figura 3.1 - Esquema de custeio ABC

FONTE: NAKAGAWA (1995, p.70)

Os principais conceitos deste sistema são definidos a seguir.

- atividade: processo que combina de forma adequada pessoas, tecnologias, materiais, métodos e ambiente, com objetivo de produzir produtos;

- centro de atividades ou (“*cost pool*”): conceito similar ao dos departamentos tradicionais: atividades agregadas custeadas referentes a mesma função;

- microatividades: atividades que descem aos mínimos detalhes, portanto são operações. Fazem parte da dimensão de processos e são usadas pelo “Kaizen”. Devem ser custeadas para se conhecer o custo das macros;

- macroatividades: são microatividades agregadas para fins de custeio. Fazem parte da dimensão de custos. Podem ser agregadas segundo as regras para seleção de direcionadores, quando da implementação e projeto do sistema, ou seja, se pertencerem ao mesmo nível de atividades (unidades, lotes, produtos, processos, plantas), isto é, ser possível um único direcionador e terem um propósito comum. Ex: as microatividades de testar ferramentas novas, testar modificações de engenharia, testar ferramentas modificadas, podem ser agregadas na macro atividade testar ferramentas. Isso faz com que os custos das micros sejam agregados na forma de macroatividades, minimizando distorções. De acordo com PAMPLONA (1997), cuidado deve ser tomado a fim de atingir e manter os objetivos de acuracidade e eficácia do custeio, pois o agrupamento de recursos e atividades possibilita o uso de um só direcionador para maior viabilização do sistema, porém realizado pelo senso comum, sem equacionamento, pode provocar distorções indesejáveis;

- recursos: gastos necessários à manutenção das instalações e capacidade de operação da empresa;

- objetos de custos: produtos ou clientes;

- direcionadores de custos ou “*cost drivers*”: relação causal de consumo de recursos e atividades (direcionadores de primeiro estágio); e relação causal de consumo de atividades e objetos de custo (direcionadores de segundo estágio);

- rastreamento: através dos direcionadores de consumo identificar quantidade consumida e direcionar à atividade solicitante;

- visão econômica e de custos ou dimensão de custos: constitui a parte vertical do modelo conceitual. Objetiva melhorar a acurácia do custeio de produtos e serviços, para determinar o melhor mix e preço de produtos. A dimensão de custos, contém informações sobre os custos dos recursos, das atividades e dos objetos de custo, podendo ser utilizadas em análises estratégicas, como a variação da lucratividade. Os elementos que compõem essa dimensão são os recursos, os direcionadores de recursos, as atividades, os direcionadores de custos e os objetos de custo. Os objetos de custos podem ser as unidades fabricadas, os lotes,

os produtos ou as instalações;

- visão de aperfeiçoamento do processo ou dimensão de processos: Constitui a parte horizontal do modelo conceitual. Dispõe das informações não contempladas na visão econômica, visando a melhoria dos processos. Contém informações não financeiras do nível de demanda pela atividade e do nível de eficiência na sua realização. Os elementos que compõem essa dimensão são as informações sobre os insumos, as atividades e as medidas de desempenho. Nessa dimensão os dados de custo individual de cada atividade e de custo da qualidade associada ao seu desempenho também são utilizados. Dessa forma, informações financeiras e não financeiras, convergem para as atividades, tornando teoricamente possível satisfazer a mensuração de custo de produtos, tanto quanto o controle operacional. Com essa classificação, os recursos consumidos com relação causal de volume de produção, número de lotes e variedade de produto, são apropriados diretamente às atividades ligadas às linhas de produtos. Os outros recursos são apropriados à categoria de manutenção das instalações, que não se liga à linha de produtos especificamente;

- hierarquia: o consumo de recursos e atividades ocorre em níveis de classificação diferenciando a variação dos *CIF* de fabricação. Isso significa que *CIF* podem variar em função de outras bases além do volume de produção, conforme proposição e análise de bases de rateio de FONSECA & COPPINI (1996), buscando relação despesas-atividades-produtos mais verdadeira.

A alocação hierárquica de recursos pode ocorrer com relação a:

- nível de função: onde estão relacionadas as atividades com propósito comum. Exemplo: vendas, compras, produção;

- nível de processos de negócios (“*business process*”): que é uma cadeia de atividades relacionadas entre si, interdependentes e ligadas pelos produtos intercambiados por elas. Exemplo: atividades de fundir, usinar, montar, compõem o processo de produção;

- nível de atividades: ações necessárias para atingir metas e objetivos de uma função. Exemplo: usinagem de peças, montagem;

- nível de tarefa: é a maneira como a atividade é realizada e é composta por várias operações. Exemplo: emitir uma fatura, fazer furos;

- nível de operação: é a menor unidade possível de trabalho utilizada para se realizar uma atividade. Exemplo: inspecionar material recebido, toronar em desbaste.

Segundo TEIXEIRA & TEIXEIRA (1997) a hierarquia não precisa ser seguida passo a passo, podendo ser subtraídas algumas etapas. Os autores ainda questionam a acumulação de custos comuns à fábrica, como: aluguel, depreciação, que ainda necessitam de bases arbitrárias; a seleção e disponibilidade de direcionadores de custos (“*cost drivers*”) e a identificação de um direcionador que relacione adequadamente a um produto, os custos comuns de vários produtos. Também como COSTA & BRUNSTEIN (1998) questionam a permanência e importância do custeio direto como ferramenta gerencial.

Com relação à otimização da alocação de atividades aos produtos, o consumo se dá em nível de:

- unidade: o consumo existe para a produção de uma unidade do produto. ex: furar um material, usinar uma superfície;
- lote: é o nível onde o consumo se relaciona ao lote. ex: atividades de setup, programação da produção;
- sustentação de produtos: atividades que asseguram a manufaturabilidade da fábrica. ex: engenharia de produtos e processo, marketing;
- sustentação das instalações: atividades relacionadas com a administração da fábrica, manutenção dos edifícios;

De acordo com FONSECA, LIMA, BRANCO & ROSSI (1995), o custo unitário ( $K_p$ ) é preciso e classicamente aceito e calculado, também no ABC, com base nos tempos-padrões das operações. O custo de preparação é rateado pelo número de peças do lote. Isto permite percepção da variação do custo unitário em função do tamanho do lote, porém, a nível de produto, os custos de preparação referem-se ao lote e variam em função do número de lotes e preparações executadas. Através da hierarquia na alocação de recursos e atividades, o ABC mostra os impactos dos fatores geradores de custos de fabricação, nos diversos níveis de relação causal. O sistema está estruturado em dois estágios e de acordo com TEIXEIRA & TEIXEIRA (1997) não difere do sistema tradicional nesse aspecto. No primeiro estágio é estudada a relação das atividades com o consumo de recursos referentes aos níveis a que pertencem. Neste estágio, a relação causal de consumo é estabelecida pelos direcionadores de primeiro estágio ou de custos. São alocados os custos aos centros de atividades. No segundo estágio faz-se uso dos direcionadores de segundo estágio ou de atividades, para relacionar a quantidade de atividade necessária para a fabricação do produto. O rastreamento considera a variação no comportamento dos custos em relação à hierarquia.

### **3.2.2 Método ABM “Activity Based Management”**

A atual conjuntura do mercado exige das empresas decisões acertadas e meios para obter informações que dêem suporte a estas decisões.

De acordo com NAKAGAWA (1994), CHING (1995) E COGAN (1995), afirma-se que a gestão dos processos é fundamentada na prática do ABC. Assim, é possível decidir sobre investimentos e apurar resultados com visão de onde e como os recursos são consumidos pelas atividades.

Com custeio eficaz, o gerenciamento torna-se eficiente. A ABM consiste em gerenciar as atividades interrelacionadas, ou que dão seqüência umas às outras, caracterizando um processo. Este processo atravessa a tradicional estrutura organizacional vertical das empresas.

De acordo com CALLARGE & AGOSTINHO (1995), a análise do que agrega ou não valor ao processo, permite avaliar desempenho e decidir sobre medidas para a melhoria, conforme fizeram MARTINS & COPPINI (1997).

Como não há um modelo padrão para o ABC e, como a ABM está fundamentada neste sistema de custeio, este trabalho referencia dois modelos da literatura: um modelo idealizado para sistemas flexíveis de fabricação, conforme COGAN (1995) e outro modelo que aproveita a estrutura organizacional funcional para melhorar o custeio, dentro dos conceitos do ABC, conforme FONSECA & COPPINI (1995).

O modelo apresentado por COGAN (1995) é esquematizado na Figura 3.2 e concebido para a MC.

Conforme mostra a Figura 3.2, os recursos são consumidos em forma de despesas agrupadas (grupos de 1 a 15). Em um primeiro estágio, as despesas são alocadas à quatro centros de atividades: cada máquina (dois), cada célula (um) e cada peça (um). No segundo estágio, as atividades agregadas nos centros de atividades são direcionadas para cada lote com base em três direcionadores: horas de máquina para o lote, custo do material direto para o lote e unidades produzidas. Tendo-se o valor de recursos, consumidos pelo lote, facilmente obtém-se o valor para cada unidade de peça, componente ou produto

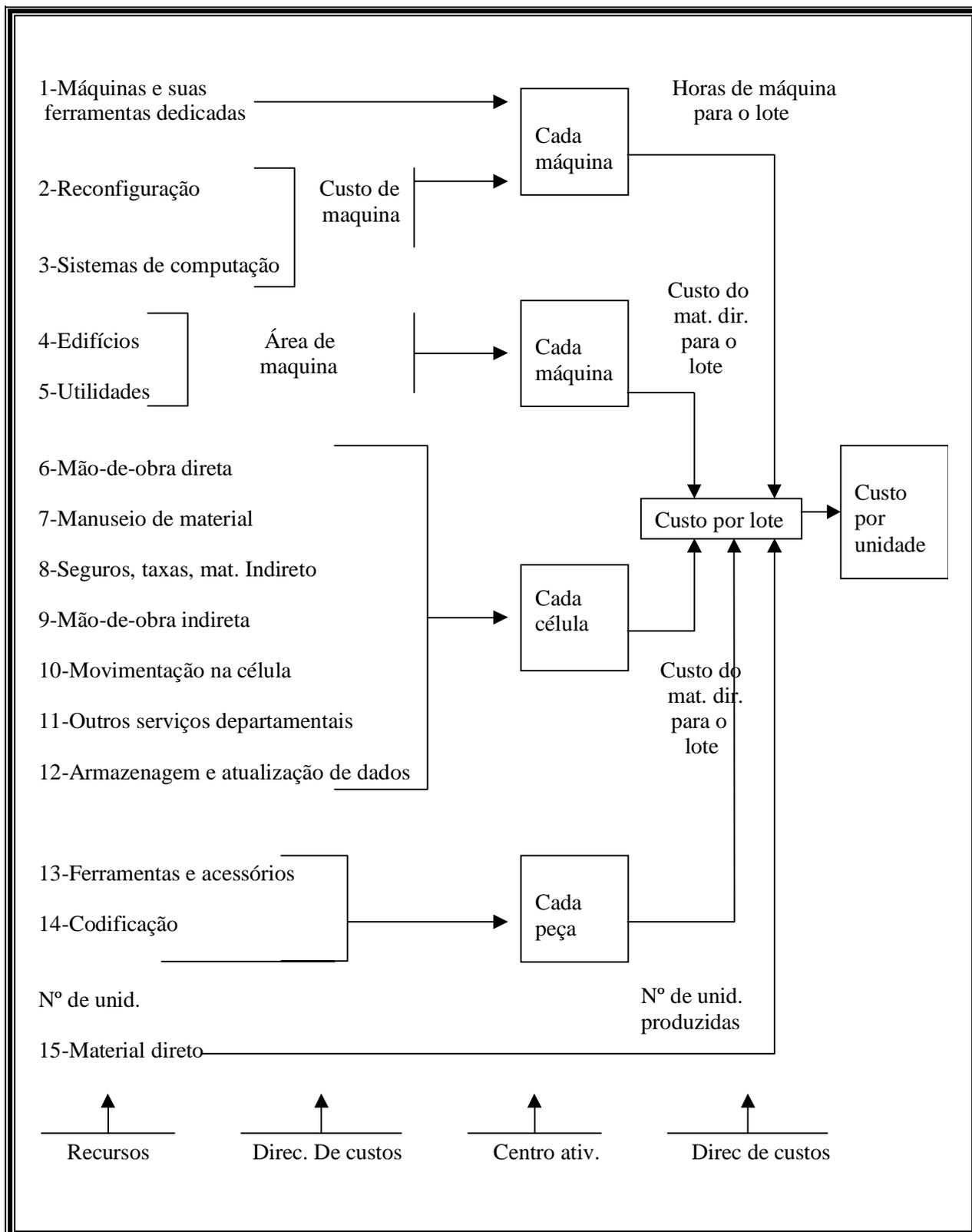


Figura 3.2 – Modelo esquemático de custeio ABC para manufatura celular

FONTE: COGAN (1995, p.31)

Os recursos referentes aos grupos 1, 2 e 3, são respectivamente depreciação de cada máquina, suas ferramentas e acessórios; amortização para o período dos custos com o arranjo da planta fabril em células e parcela de amortização dos gastos com sistemas de computação. Estes recursos são direcionados para o primeiro centro de atividades cada máquina, tendo como base o custo de máquina. A alocação destes custos ao lote tem como base horas de máquinas para o lote.

Os grupos de recursos 4 e 5 são direcionados ao segundo centro de custos cada máquina, com base na área de máquina. O centro de custos cada máquina, que acumulou os custos de edifícios e utilidades (aluguel e depreciações de prédios, serviços de utilidades, segurança e terreno), aloca estes custos ao lote usando o direcionador custo do material direto para o lote.

Recursos agrupados nos grupos 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 são diretamente alocados à cada célula. A difícil tarefa de separação de custos diretos e indiretos nos modernos sistemas produtivos, nos métodos tradicionais é superada pelo terceiro centro de atividades, cada célula. Isto porque a célula recebe todos os custos de mão-de-obra direta e indireta. Esses custos são merecedores do esclarecimento dado por MARTINS (1996). Os custos pertencentes aos grupos de 6 a 12, são tratados como custos diretos referentes à célula, pois a homogeneidade dos custos é devida a similaridade dos componentes em famílias de produtos. Por esta razão, o centro de custos cada célula usa o direcionador custo do material direto.

Os recursos referentes aos grupos 13, 14 são acumulados por atividades, no quarto centro de custos, cada peça. Este centro de custos, cada peça, engloba os custos referentes à codificação das peças e ferramentas utilizadas. Os recursos do grupo 15 são compostos por custos do material direto e obtidos através de documentos de requisições. São adicionados aos custos dos grupos 13 e 14. Estes custos somados são apropriados a cada lote com base no direcionador número de unidades produzidas do lote.

Este modelo difere do modelo de RUSCISNKI (1996) e RUCINSKI & LIMA (1996 e 1997), principalmente por possuir apenas 4 (quatro) centros de atividades, dos quais o centro de acumulação de atividades “*setup*” não está incluso. As atividades de *setup* foram fragmentadas em pequenas outras, dentro da célula, tais como pequenas manutenções de máquinas ou equipamentos antes da montagem da ferramenta, calibração e qualificação de ferramentas e máquinas ajustadas, corridas experimentais e qualquer outro serviço referente a “*setup*”.

A Figura 3.3 ilustra o modelo de FONSECA & COPPINI (1995) e também, ilustra a definição de CHING (1995) de que um processo de negócio é composto por várias atividades desenvolvidas nos departamentos tradicionais, cortando transversalmente a estrutura departamental verticalizada. Assim, quebra as barreiras existentes entre os departamentos, proporcionando inter-relação dos mesmos

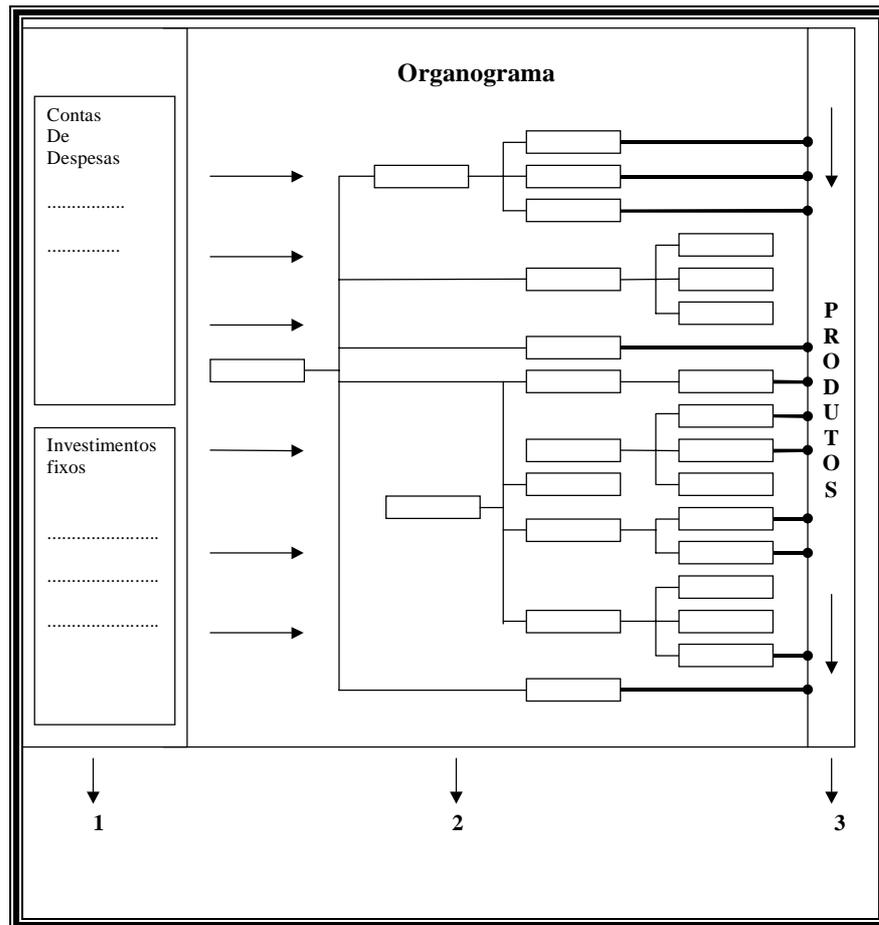


Figura 3.3 – Esquema de metodologia prática com base em ABC

FONTE: FONSECA & COPPINI (1995, cd.)

A metodologia apresentada por FONSECA & COPPINI (1995), representada na Figura 3.3, aproveita a organização estrutural funcional, com a contabilização de suas contas de despesas e seu processo definido. Esta metodologia consiste no consumo dos recursos dispostos em contas de despesas pelas atividades, conforme a Figura acima.

As atividades da coluna central correspondem às atividades do organograma funcional da empresa e são consumidas por outras que não do organograma (coluna direita). As atividades da coluna direita podem por exemplo, ser: usinar em torno CNC, montar recambio, tratar engrenagem. Conhecidas as atividades e o fluxo de consumo ou absorção se faz necessário uma tabela para cálculo do custo, fazendo uso de direcionador. As atividades são redistribuídas de forma semelhante aos tradicionais rateios, porém respeitando as regras de relação causal do ABC, ou seja a representatividade de consumo e bases de alocação. As atividades da terceira coluna descarregam sobre os produtos respeitando as bases referidas anteriormente.

Conhecendo as atividades, os processos e seus respectivos custos, o gerenciamento é fomentado por informações capazes de possibilitar boas decisões. Uma decisão importante pode ser adotar ou não técnicas de otimização.

## CAPÍTULO 4

### OTIMIZAÇÃO EM USINAGEM

Assim como MC, JIT e outras técnicas para reduzir tempos e custos, a otimização em usinagem é um potencial meio para a produtividade. A otimização em usinagem, através das condições operacionais, pode ser realizada sob o critério de máxima produção ou sob o critério de mínimo custo. O sistema de custeio é muito importante para a otimização em usinagem, quando esta é realizada sob o critério de mínimo custo.

Com a evolução tecnológica, computadores são utilizados em chão de fábrica no processo de usinagem. Sistemas Especialistas de Usinagem (SEU), que representam um campo de aplicação da Inteligência Artificial, são propostos para poupar grande parte do tempo de trabalho humano dedicado à determinação das condições econômicas de corte de metais e cálculos relativos. Bancos de dados, como o Assistência Técnica Assistida por Computador (ATAC), atuam como suporte fornecendo informações necessárias à manufatura (COPPINI & RIBEIRO, 1995). Equipamentos modernos de monitoramento permitem a visualização do processo em tempo real. As ferramentas adquiriram melhores características.

No planejamento do processo há inúmeras possibilidades de combinação das condições operacionais em usinagem. O desempenho da operação está relacionado com o equipamento, a ferramenta e os parâmetros de corte: velocidade de corte ( $v_c$ ), avanço ( $f$ ) e profundidade de usinagem ( $a_p$ ).

Desde 1881, quando Taylor iniciou os estudos sobre tempos e métodos relativos à usinagem, vários autores no mundo inteiro vem desenvolvendo pesquisas nesta área. GILBERT (1950) citado por ZHOU & WISK (1992), OKUSHIMA & HITOMI (1964), citados por COWTON & WIRTH (1993), PALLEROSI & COPPINI (1975), FERRARESI

(1977), QUEIROZ, BOEHS & COUTINHO (1986), COPPINI, DINIZ & VILLELA (1987), entre outros deram sua contribuição para a melhoria no processo de usinagem.

Dentre outras contribuições, destaca-se a equação de Taylor de vida da ferramenta (4.1), pois a otimização das condições operacionais está fundamentada na vida da ferramenta.

$$T \times (v_c)^x = K \quad (4.1)$$

A otimização em processo de usinagem visa a melhor relação custo/produção, através das condições operacionais, inteirando: quantidade produzida, tempo de confecção, custo de produção. Porém sua aplicação industrial ainda é pequena. COLDING (1992) apresenta três principais razões para este fato:

- falta de conhecimento dos engenheiros, além da falta de tempo para tratar de dados de usinagem, devido à outros compromissos e diminuição do interesse das faculdades em ensinar sobre as áreas básicas da manufatura;

- administradores de altos e médios escalões não estão conscientizados das possíveis economias com dados de corte otimizados em comparação com outros meios de redução de custos ou aumento de produtividade;

- engenheiros e contabilistas não conseguem calcular adequadamente as economias, principalmente porque os métodos utilizados não servem para avaliar o efeito das condições operacionais.

MIGUEL (1992), COPPINI & MIGUEL (1992 e 1996) concordam com a ineficiência dos sistemas de custos ao analisar a contribuição da máquina-ferramenta na formação do custo por peça. Então, sugerem uma metodologia de análise, aplicada em centros de custos departamentalizados, incluindo o fator de contribuição da máquina-ferramenta.

ZHOU & WISK (1992) apresentam as três razões que favorecem a adoção de parâmetros de corte não otimizados:

- parâmetros da equação de vida da ferramenta não estão prontamente disponíveis, necessitando realização de testes,

- exigência de muitas informações para serem implementadas, e seu custo de obtenção,

- falha inesperada da ferramenta devido a sua natureza aleatória de vida, a qual normalmente não é considerada em determinados modelos.

As razões apresentadas por ZHOU & WISK (1992) diferem daquelas apresentadas por COLDING (1992), porém, os autores concordam em afirmar que velocidades otimizadas são suportadas pelas máquinas-ferramentas.

De acordo com CHUA, RAHMAN, WONG & LOH (1993) e com ZHOU & WISK (1992), boas decisões para seleção e substituição de ferramentas, parâmetros de corte necessitam de técnicas e modelos de otimização. No entanto, decisões são tomadas por planejadores de processo, programadores e operadores de máquinas nos diferentes estágios da manufatura. Devido à fragmentação de responsabilidade e falta de interação com o processo, boas decisões tornam-se mais difíceis.

COLDING (1992), alerta para perdas devido à insistência na adoção de dados de usinagem derivados de fabricantes de máquinas operatrizes, manuais de informações ou experiência prévia. Segundo CHUA, et al. (1993), embora isso seja possível, não assegura que os dados obtidos possam ser ótimos ou perto de ótimos para uma particular máquina preparada e em desenvolvimento. É necessário o desenvolvimento de modelos fidedignos e eficientes usando técnica experimental para planejar os experimentos de usinagem e métodos de regressão múltipla para uma combinação particular ferramenta-peça, baseada em dados coletados na específica máquina. Da mesma forma, RODRIGUES, DINIZ & COPPINI (1987) e DINIZ, et al. (1989) apresentaram metodologia para otimização durante a produção.

Somando-se às razões comentadas, a otimização é restrita pela limitação construtiva da máquina, pelo projeto do produto e pelo blanque. Os dados de corte otimizados podem exigir valores não disponíveis. Em máquinas com potência de até 10CV é comum o constrangimento da otimização de  $v_c$  por conta do máximo valor disponível no equipamento, combinado com o menor diâmetro usinável. O parâmetro  $a_p$  pode ser limitado pelo sobremetal, assim como  $f$  pode estar restrito à rugosidade superficial. Na verdade acatar as sugestões catalogadas dos fabricantes de ferramentas é mais cômodo. Transferir ao operador a responsabilidade de determinar os dados de corte também é muito confortável.

De modo geral, cada profissional decide com base em seu universo de conhecimento e restrito à sua especialidade. Assim, a pequena aplicação da otimização em processos de usinagem é devida à falta de conhecimento, falta de consistência e falta de ousadia para

mudanças. Portanto, esse quadro dificulta o melhor desempenho da operação por condições de corte otimizadas.

#### 4.1 Restrições do Processo de Otimização

Restrições ao processo de otimização são impostas por parâmetros de corte, parâmetros de custos, vida da ferramenta, tipo de operação e equipamento disponível, além do critério utilizado considerando a carga de trabalho da máquina ou condição de ociosidade e gargalo.

Para SHIN & JOO (1992) os parâmetros de corte, vida da ferramenta e restrições da operação, são considerados separadamente em operações de desbaste e operações de acabamento. Os valores ótimos para os parâmetros  $v_c$ ,  $f$  e  $a_p$  estão entre valores mínimos e máximos permissíveis. Para a vida existe um campo aceitável derivado da consideração da produção econômica. Força de corte e potência não devem exceder valores disponíveis da máquina nas operações de acabamento e desbaste. Eles restringem o processo de otimização em função das solicitações de esforços e acabamento superficial, considerando  $f$  e  $a_p$ , para depois reverem a  $v_c$  que será combinada com tais parâmetros respeitando as solicitações de esforços e acabamento superficial.

O acabamento superficial embora afetado por vários parâmetros, teoricamente é descrito apenas pelo raio da ponta da ferramenta ( $r_e$ ) e  $f$ , devido à influência predominante, podendo ser calculado em  $R_{max}$  (rugosidade do perfil) pela Equação 4.2.

$$R_{max} = \frac{f^2}{8 \times r_e} \quad (4.2)$$

No entanto, conforme experimentos de DINIZ & NORITOMI (1998), o comportamento da rugosidade em função de  $f$  chega à contradizer a literatura que aborda o assunto, porém em função dos parâmetros  $a_p$  e  $v_c$  é bastante similar. O valor real é sensível às condições de usinagem e à fixação. A fixação geralmente é responsável por vibração.

QUEIROZ, BOHES & COUTINHO (1986) e ROGRIGUES, DINIZ & COPPINI (1987) recomendam valores máximos permissíveis e independentes do processo de

otimização, para os parâmetros de  $f$  e  $a_p$ , dentro dos limites impostos pelo sistema, conforme questionados como variáveis independentes por ZHOU & WISK (1992)

CAKIR & GURARDA (1998) somam a deflexão axial da peça entre-centros como mais uma restrição. A peça pode se soltar caso o componente axial da força de corte supere a pré-carga de trabalho.

A influência dos parâmetros de corte na solicitação de força de corte, potência e vida da ferramenta foi estudada por CHUA, et al. (1993) e por DINIZ & NORITOMI (1998a), entre outros. De acordo com os resultados destas pesquisas, o parâmetro  $v_c$  é o fator de maior influência na vida da ferramenta e junto com  $a_p$  e  $f$  delimita a solicitação de potência da máquina. No modelo de força de corte a predominância é de  $a_p$ , ficando o  $f$  pouco significativo nos três tipos de solicitação. Conforme experimentos de DINIZ & NORITOMI (1998a),  $f$  e  $a_p$  são muito mais influentes nos esforços de corte do que se imagina e a força de corte em relação à  $v_c$  depende do material usinado. Realmente, de acordo com DINIZ, MARCONDES & COPPINI 1999, o parâmetro  $v_c$  é um dos 6 (seis) fatores que influenciam a pressão específica de corte, a qual multiplicada pelo produto de  $f$  por  $a_p$  determina a força de corte. O produto de  $f$  por  $a_p$  é igual à área da secção de corte.

O desempenho do conjunto máquina-ferramenta-dispositivo-peça (MFDP), na usinagem, está diretamente relacionado com a vida da ferramenta.

FERRARESI (1977) define que vida da ferramenta é o tempo que ela trabalha efetivamente (deduzindo os tempos passivos), até perder sua capacidade de corte, dentro de um critério previamente estabelecido. Atingido este critério necessita de afiação ou substituição.

Pastilhas intercambiáveis não são reafiadas, mas trocadas por novas arestas. Logo, a vida da ferramenta é o tempo entre duas sucessivas trocas de arestas de corte, no qual ela trabalha efetivamente.

A concordância é universal entre pesquisadores em reconhecer a importância e relação da vida da ferramenta no dimensionamento do processo. Pois, a vida da ferramenta sofre influência direta dos parâmetros operacionais, principalmente de  $v_c$ . Mas como expressá-la e utilizá-la na prática abre uma discussão.

Segundo ZHOU & WISK (1992) uma das relações muito importantes no processo de otimização da usinagem é a vida da ferramenta e os parâmetros de corte. O desgaste é um fenômeno complicado. Comumente desgaste é um sinônimo para abrasão e na realidade pode

ocorrer devido à difusão, aderência, fadiga e atrito. A forma predominante depende do material da peça, da ferramenta e das condições de corte. Quando o desgaste é dominado por esses mecanismos, a equação de vida de Taylor (4.1) oferece uma boa expectativa para a vida da ferramenta. A equação 4.1 é reconhecida desde 1977 pela Norma ISO 3685. No entanto, os autores (ZHOU & WISK, 1992) questionam a validade dessa relação para aplicações com insertos cerâmicos, usinagem em condições desfavoráveis, materiais frágeis ou velocidades muito baixas. Afirmam que a equação providencia uma expectativa de vida, mas na realidade as ferramentas podem quebrar antes durante ou depois do tempo esperado. A quebra ou desgaste prematuro pode custar caro.

KOULAMAS (1994) propõe incorporação de variabilidade de vida de ferramenta em programação de formulação geométrica, como função de  $f$  e  $v_c$ , julgando ineficiência da equação de Taylor em prever uma vida esperada, devido à natureza aleatória e independente da vida de ferramenta. Se a causa predominante de falha de ferramenta é um mecanismo de morte súbita, como lascamento ou quebra, então a probabilidade de fracasso de ferramenta não depende do tempo de corte acumulado. Se a falha da ferramenta está principalmente devido a um processo convencional de desgaste acelerado, então a probabilidade de fracasso da ferramenta normalmente aumenta com tempo de corte acumulado.

Desta forma, KOULAMAS (1994) é solidário a ZHOU & WISK (1992) ao questionar a validade da equação de Taylor em fornecer dados satisfatórios para técnicas e modelos de otimização. No entanto, FERRARESI (1977), HALE (1997) trabalham com a equação em questão que tem sido base para muitos outros trabalhos na área de otimização em usinagem, contribuindo positivamente e de forma eficiente na melhoria do processo.

RODRIGUES, DINIZ & COPPINI (1987), DINIZ, et al. (1989), COPPINI & BATOCCHIO (1993), COPPINI & RIBEIRO (1995), MIRANDA (1997), também baseiam suas pesquisas na referida equação de vida da ferramenta. O diferenciador é o fato de empregarem a metodologia de PALLEROSI & COPPINI (1975), (ver capítulo 6), que apenas acrescenta o modo como obter os coeficientes ( $x$ ) e ( $K$ ). MIRANDA (1997) aplicou a citada relação em pesquisa cortando o material compósito de resina fenólica reforçada com fibras de carbono, usando ferramenta de metal duro SNGN 120408.

O modelo esquemático de THELIN & OLSSON (s.l.p., s.d.) apresentado na Figura 4.1, representa o processo de corte dos metais e a evolução de ferramentas e materiais influenciando o comportamento do processo. As ferramentas evoluíram de aço-carbono para

aço-rápido, metal duro, metal duro recoberto, cerâmica, cermet, nitreto cúbico de boro e diamante. Dispostos nesta mesma ordem de dureza e resistência ao desgaste.

A Figura 4.1 mostra que na interface cavaco-ferramenta, as restrições de máquina, material da peça e condições operacionais influenciam as cargas no material da ferramenta, o qual influencia o desgaste e sofre sua ação. A concepção da ferramenta em termos de geometria também atua na forma como as cargas agem no material da ferramenta. Soma-se as propriedades do material da ferramenta agindo no desenvolvimento de mecanismo de desgaste. Analisando como ocorre o desgaste é possível desenvolver materiais para atenderem a solicitação observada, melhorando e evoluindo no conceito de ferramentas de corte.

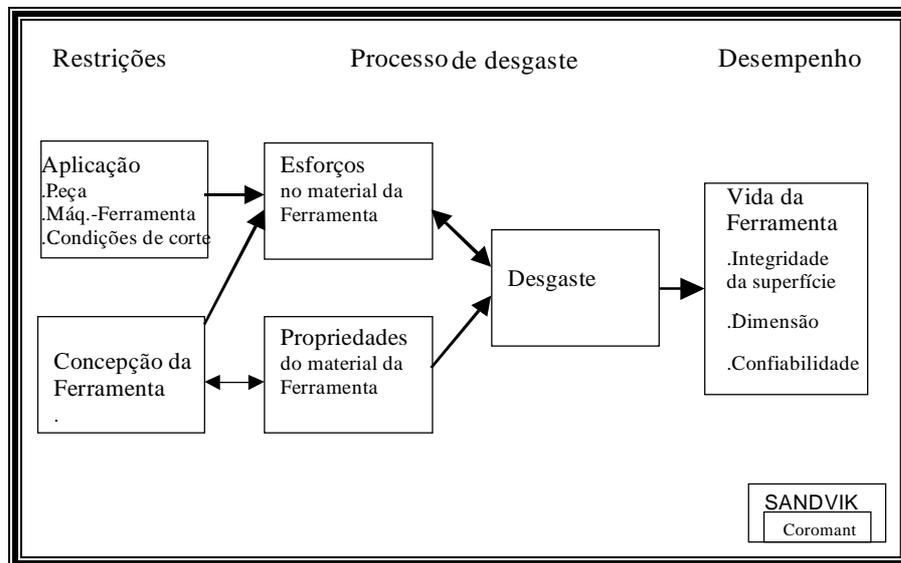


Figura 4.1 – Considerações sobre desgaste e vida de ferramenta

Fonte: TELIN & OLSSON (s.l.p., s.d.)

A vida pode ser melhorada e o desgaste reduzido com o revestimento. Segundo WEINERT & MEISTER (1995), além dos tradicionais revestimentos, melhor desempenho da ferramenta pode ser conseguido através de:

- revestimento com diamante em pontas de Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, como alternativa promissora, principalmente em casos de geometrias complexas, como é o caso de ferramentas para roscar;

- pela adaptação do tamanho do grão do material da ferramenta ao tamanho e dureza das partículas de reforço na usinagem de compósitos de metal leve reforçado;
- através da direção de corte (no sentido do mais duro para o mais mole ou vice-versa) quando o material é parcialmente reforçado ou parcialmente revestido por solda. Neste caso, dependendo da combinação do material da ferramenta e da peça é recomendável usinagem com velocidade constante.
- pelo ângulo de inclinação positivo em conjunto com a preparação da aresta em forma de “s” (Figura 4.2) para torneamento do Inconel 718 e para redução do desgaste de entalhe.

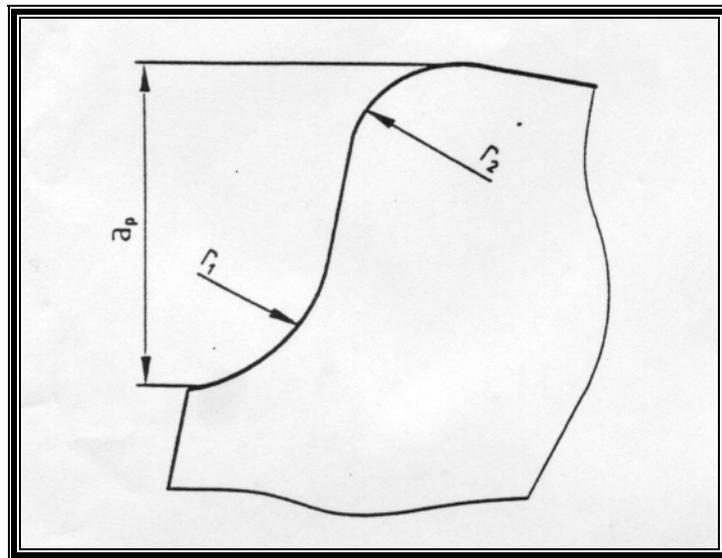


Figura 4.2 – Aresta em forma de “S”

FONTE: WEINERT & MEISTER (1995, p. 6)

As aplicações citadas são específicas e muito específico é o revestimento com diamante que também depende do material da peça.

Com base no trabalho de DINIZ, MARCONDES & COPPINI (1999), pode-se definir os principais mecanismos e tipos de desgaste de ferramenta.

A Figura 4.3 apresenta imagens de ferramentas desgastadas, para melhor observação de pelo menos 2 (dois) tipos, bastante comuns, de desgaste: o desgaste de cratera e o de flanco.

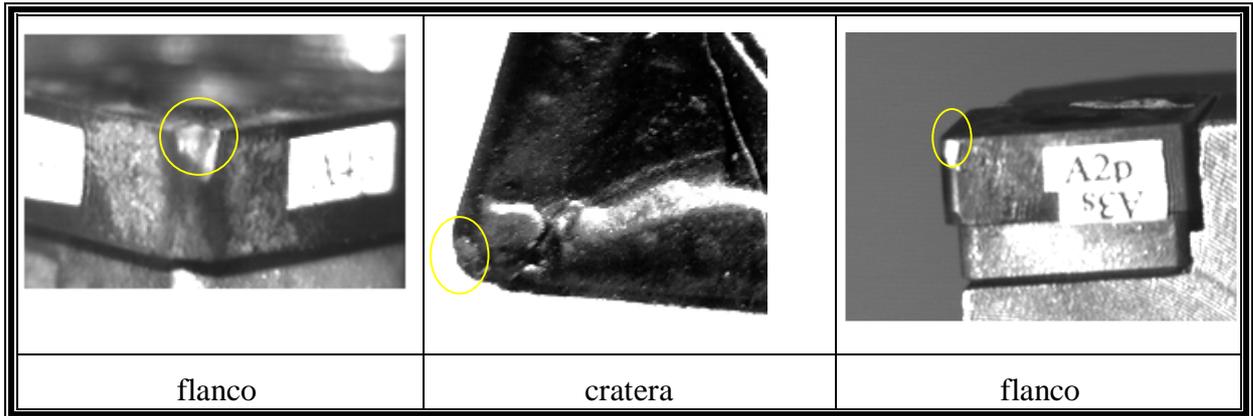


Figura 4.3 – Estado real de ferramenta desgastada

Vários tipos de desgastes podem ser definidos, conforme mostrados na Figura 4.4.

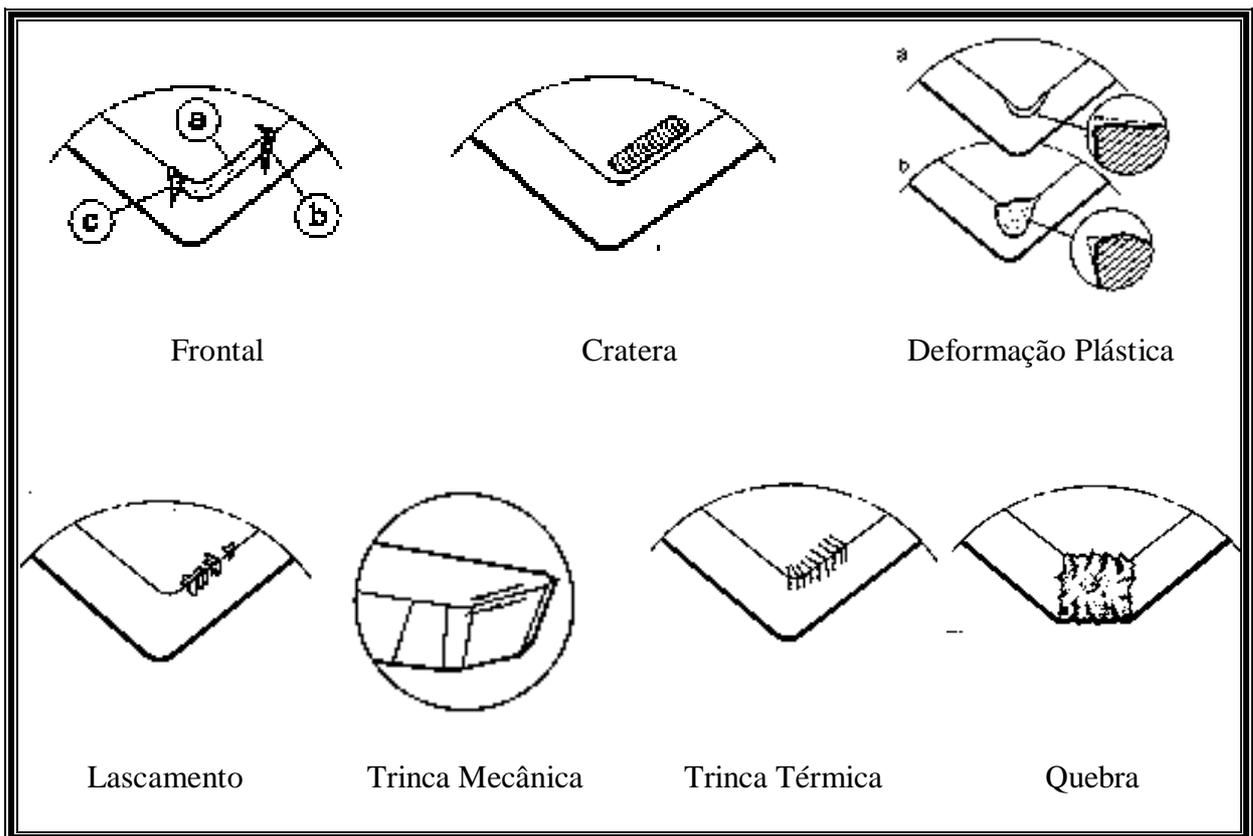


Figura 4.4 – Tipos de desgastes

FONTE: DINIZ, MARCONDES & COPPINI (1999, p. 106 e 108)

O tipo de desgaste caracterizado depende do tipo de mecanismo que o provocou. Define-se aresta postiça, abrasão, aderência, difusão e oxidação como principais mecanismos de desgastes.

A aresta postiça é a fusão do cavaco à superfície de saída da ferramenta. Esta fusão é devida à pressão de corte na zona de aderência, em baixas velocidades. Esta camada que se solda à superfície é aumentada com o fluxo de cavacos, deformada e encruada, tornando-se uma aresta de corte. Em determinado momento a aresta postiça se rompe, provocando perturbação dinâmica e arranca partículas da superfície de folga. Isto causa grandes desgastes frontais. Com o aumento da temperatura na região de interface cavaco-ferramenta-peça, provocado pelo aumento de  $v_c$ , a temperatura de recristalização do material do cavaco é ultrapassada, fazendo com que a aresta postiça deixe de existir.

Abrasão é a retirada de partículas do material da ferramenta, provocada pelo atrito entre o material da ferramenta e partículas duras existente no material da peça. É favorecida pela temperatura de corte. Quando o atrito é entre ferramenta e peça dá-se o desgaste frontal ou de flanco.

O desgaste frontal ou de flanco, também chamado  $V_B$ , pode ser observado em todas as operações de usinagem. Ocorre na superfície de folga da ferramenta. O desgaste que acontece nos dois extremos de contato entre a superfície de folga da ferramenta e a peça, também é chamado de entalhe.

O desgaste tipo entalhe também é característico do mecanismo oxidação. A oxidação é devida principalmente à presença de água e ar nas extremidades do contato cavaco-ferramenta. Quando o atrito é entre a superfície de saída da ferramenta e cavaco dá-se o desgaste de cratera. Cratera é uma cavidade nesta superfície de saída. O desgaste tipo entalhe também pode ser causado pelo mecanismo aderência.

A aderência acontece quando partículas de um metal migram para outro metal, devido ao contato entre ambas superfícies e sob cargas moderadas, baixa temperatura e baixos valores de  $v_c$ . Embora a aderência esteja presente na formação da aresta postiça, não significa que é necessário a formação da aresta postiça para que ocorra desgaste devido à aderência.

A difusão ocorre quando há transferência de átomos de um material para outro, principalmente sob efeito de alta temperatura, na zona de contato cavaco-ferramenta. Altas velocidades provocam altas temperaturas. A difusão também depende da afinidade físico-química dos materiais envolvidos e da duração do contato. No caso do torneamento do aço,

com ferramenta de aço-rápido não se verifica este fenômeno devido às baixas velocidades e no caso do corte ser executado com ferramentas de material cerâmico não há afinidade físico-química entre os materiais. Principalmente quando o metal duro é usado para cortar o aço, átomos de ferro do cavaco são transferidos para a superfície de saída da ferramenta, alterando as condições de equilíbrio desta. Este desequilíbrio provoca reações químicas que dão origem à formação de carbonetos complexos ( $\text{FeWC}_{26}$ ), os quais são menos resistentes e são rapidamente removidos por abrasão, resultando na craterização da ferramenta. Camada de revestimento com  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , reduz a difusão de átomos, que também pode ocorrer da ferramenta para o cavaco, porém, causando menor volume de desgaste.

Deformação plástica da aresta de corte é a mudança na forma da aresta. Lascamento é a retirada de grandes partículas de uma só vez e não continuamente como acontece nos desgastes de flanco e de cratera. As trincas de origem térmica são sulcos perpendiculares à aresta de corte. Trincas paralelas à aresta de corte são originadas por esforços mecânicos.

Todos os tipos de desgastes descritos podem causar quebra. A quebra também pode ocorrer repentinamente. Fatores que podem causar quebras inesperadas são:

- ferramenta muito dura e pouco tenaz,
- carga excessiva sobre a ferramenta,
- raio de ponta,
- ângulo de ponta, ou ângulo de cunha, pequeno,
- corte interrompido,
- parada instantânea do movimento de corte, entupimento dos canais de expulsão dos cavacos, ou bolsões de armazenamento.

De acordo com DINIZ, MARCONDES & COPPINI (1999), a ferramenta desgastada tem sua geometria alterada, fazendo com que a forma do cavaco produzido também se altere.

A forma do cavaco também é influenciada pelos parâmetros de usinagem. Um cavaco adequado é importante por razões de segurança e economia, portanto também deve ser otimizado.

Vida de ferramenta não possui valor absoluto. O valor da vida estabelecido para um conjunto MFDP em operação de desbaste é maior que vida esperada para o mesmo conjunto em operação de acabamento. Na operação de acabamento a aresta de corte pode ainda estar

em boas condições de corte, para um dado valor de desgaste  $V_B$ , porém, a rugosidade não pode mais ser satisfeita e a ferramenta deve ser trocada para assegurar o acabamento especificado. Também pode-se obter valores de vida diferentes entre diferentes conjuntos MFDP.

FERRARESI (1977) citado por MIRANDA(1997) define cinco critérios utilizados para determinar o fim de vida:

- valores altos de desgaste na superfície de saída elevam risco de quebra do gume cortante;
- a ponta da ferramenta apresenta temperatura próxima da qual perde o corte, proveniente em grande parte ao atrito da ferramenta com o cavaco e a peça;
- as tolerâncias não podem ser mantidas devido ao desgaste da superfície de folga;
- o acabamento superficial não é mais satisfatório;
- o aumento da força de usinagem interfere no funcionamento da máquina.

Conforme definido anteriormente, o desgaste pode ser o critério usado para estabelecer o fim de vida da ferramenta. Acabamento superficial e tolerância dimensional também podem ser adotados como critério de fim de vida. Estes critérios não necessitam de sofisticados equipamentos para serem monitorados. Com uma lupa pode-se medir o desgaste da ferramenta. A tolerância dimensional pode ser controlada por paquímetros e micrômetros e a rugosidade pode ser controlada por rugosímetros sem maiores sofisticação.

## **4.2 Momento de Troca de Ferramenta e Monitoramento**

O momento de troca da ferramenta ( $M_t$ ) deve ser baseado no seu fim de vida. Vários critérios podem ser estabelecidos para determiná-lo, conforme visto no item anterior.

Segundo ZHOU & WISK, (1992) no chão de fábrica as ferramentas são trocadas de acordo com um tempo marcado, um número prescrito de peças acabadas, estado do desgaste da ferramenta ou qualidade do produto acabado. Os primeiros dois critérios se constituem na maioria das estratégias adotadas para substituição de ferramentas nos sistemas avançados. O terceiro critério requer um sistema sofisticado ou o monitoramento por um operador qualificado, o que não é comumente disponível nos sistemas manufatureiros. O último é

muito caro, desde que entre outras desvantagens, uma falha casual da ferramenta geralmente causa um produto defeituoso. Com este argumento desenvolveram-se modelos para os dois primeiros tipos de políticas para a substituição

“Os sistemas de monitoramento e controle do processo tem por finalidade realizar as funções que ainda continuam sobre responsabilidade do operador tendo como objetivo a máxima automação do processo produtivo”. Esta é a frase usada por MIRANDA (1997) definindo a missão do monitoramento. Em revisão do estado da arte ele descreve os dois grandes grupos de monitoramento: direto e indireto. Os métodos diretos descritos são óptico, radioatividade, dimensão da peça usinada, resistência elétrica na junção ferramenta-peça e distância ferramenta-peça. Os métodos indiretos são os de medida de forças de usinagem, vibração, parâmetros elétricos e emissão acústica. Nos métodos diretos o parâmetro controlado é medido diretamente sobre a peça ou ferramenta e necessita de interrupção do processo para realização desta tarefa causando tempo adicional e ocioso, indesejável e prejudicial à otimização.

No trabalho de MATSUMOTO & DINIZ (1998), são citados mais três métodos indiretos, os de medidas do som, da temperatura de corte e da rugosidade. São descritos os métodos da emissão acústica e da medida dos parâmetros elétricos usados para monitorar a usinagem de aços endurecidos na operação de torneamento em substituição à retificação. DINIZ & COSTA (1995) utilizaram-se do monitoramento via parâmetros elétricos para determinar o fim de vida da ferramenta. A emissão acústica também é estudada por VIEIRA JUNIOR (1996) na proposta de avaliação da dureza de rebolos e análise de influência de  $v_c$  no comportamento dessa dureza, durante o processo de retificação. No fresamento, a vibração das partes móveis da máquina foram medidas por SOUZA, DUARTE & MACHADO (1997).

O uso de sistemas de monitoramento no processo de otimização das condições operacionais em usinagem objetiva principalmente a determinação do fim de vida da ferramenta de corte e o momento de sua troca, a fim de menores custos com ferramentas e tempos de troca, além da preservação da qualidade do produto, da máquina, assim como a segurança do operador.

De acordo com KLUFT (1997) sinais mostrados em “*display*” podem ser determinantes, pois o desgaste da ferramenta não pode ser medido pelos métodos diretos de monitoramento durante o corte em processo. É necessário um monitoramento indireto através de parâmetros como força. A visualização do processo através de sinais é uma contribuição muito grande para o monitoramento. O operador pode decidir sobre o processo verificando, por exemplo, a

tendência da curva tempo de corte/força de corte. Nestas circunstâncias, PIRES & DINIZ (1996) contribuem com metodologia evitando desperdícios de ferramentas ainda em condições de uso, mas descartadas por falta de conhecimento e bases por parte dos operadores responsáveis pelo momento de troca. Em uma empresa com produção não automatizada, mas com tornos CNC, os operadores receberam um treinamento sobre vida de ferramenta, relação de desgaste e corrente elétrica (conforme DINIZ & COSTA 1995) e, através da visualização do consumo de corrente por um amperímetro instalado na máquina passaram a executar a troca. A troca de ferramenta nesse caso, ainda estava atrelada à medição do desgaste com lupa e se caso este não tivesse atingido o valor de 0,4 mm a ferramenta deveria voltar a cortar.

De acordo com KLUFT (1997) a idéia mais abrangente de monitoramento do processo refere-se a uma estratégia de redução de custos.

Geralmente os parâmetros medidos aumentam com o aumento do desgaste da ferramenta e são os métodos indiretos mais facilmente aplicados.

Nos sistemas sensorizados, os esforços solicitados são captados pelos sensores e levados a micro computadores, via transdutores. Então são processados e uma análise do comportamento evolutivo dos resultados obtidos possibilita estabelecer o momento no qual a ferramenta falha e a troca deve ser providenciada. Sistemas automatizados podem por exemplo inibir  $f$  após detectar falha da ferramenta.

Rumo à automação do sistema manufatureiro COPPINI, MIRANDA & FERREIRA (1997) e MIRANDA (1997) apresentaram alternativa de otimização do momento para troca da ferramenta e tempos relacionados, com base no número otimizado de peças usinadas, conforme critérios citados por ZHOU & WISK (1992). Este número foi determinado com influência da vida da ferramenta para condições otimizadas com uso de sistema especialista de usinagem.

As principais características de um bom sistema de monitoramento, citadas no trabalho de MATSUMOTO & DINIZ (1998), são: confiabilidade, baixo custo, simplicidade, capacidade de suportar o ambiente industrial, não ser influenciado por ruídos externos, permitir que o parâmetro medido seja dependente apenas do que se quer monitorar, curto tempo de resposta e não interferir na operação.

### 4.3 Seleção de Ferramentas

A seleção de ferramentas pode ser realizada através de catálogos impressos ou eletrônicos. Pode ser baseada em experiência profissional e por outros meios. Segundo HALLE (1997), a seleção por catálogos é específica para uma condição, não servindo para quem deseja otimização.

Na verdade os valores sugeridos por catálogos são dispostos em faixas aceitáveis, portanto sugeridos de forma genérica (SANDVIK, 1995).

De acordo com ZHOU & WISK (1992) para uma dada operação os atributos da ferramenta devem incluir: tipo e dimensão de suporte, tipo e dimensão de inserto e material de inserto. A seleção desses fatores é baseada na geometria e material da peça de trabalho, forma de quebra-cavaco, quantidade de material removido e condições de usinagem, direção de corte, disponibilidade de ferramentas e máquinas. Pode-se escolher entre a ferramenta com menor tempo unitário de processamento ou mais baixo custo.

COPPINI & RIBEIRO (1995) fazem a seleção através da relação custo-benefício de acordo com afirmação acima. É desenvolvido um modelo (Equação 4.3) para seleção de ferramentas com base na referida relação. O modelo é incrementado pela seleção baseada em condições de usinagem já otimizadas. Tal fato garante vantagem, em termos de tempos e custos, em comparação ao modelo corrente utilizado por técnicos e engenheiros no desenvolvimento do processo.

O menor tempo de fabricação ou o menor custo de aquisição não são critérios capazes de satisfazerem uma seleção de ferramentas otimizada. A relação/custo benefício de uma ferramenta, com base em  $v_c$  otimizada é o critério dessa seleção. A ferramenta selecionada será a de menor relação que é dada pelas Equações 4.3 e 4.4

$$\frac{1}{C_{tp}} \quad (4.3)$$

$$C_{tp} = C_{iv} + \left( K_g \times C_{um} / v_{c_{sel}} \right) + \left( \frac{K_g \times v_{c_{sel}}^{(x-1)}}{K} \right) \times K_{ft} \quad (4.4)$$

COPPINI & FERREIRA (1996) realizam experiência com 7 (sete) ferramentas de materiais diferentes. O material compósito plástico é cortado por cada uma dessas ferramentas. Com base no comprimento de corte alcançado pela ferramenta e seu custo por peça, é selecionada a de melhor desempenho. Portanto, esta seleção é similar à seleção com base na relação custo/benefício de COPPINI & RIBEIRO (1995).

#### 4.4 Critérios de Otimização

GILBERT (1950) citado por SHIN & JOO (1992), ZHOU & WISK (1992) e CAKIR & GURARDA (1998), entre outros, estudaram as condições otimizadas em usinagem sob critérios econômicos. FERRARESI (1977) e QUEIROZ, BOEHS & COUTINHO (1986) definem dois critérios: mínimo custo e máxima produção.

O critério de mínimo custo objetiva a minimização de custos ( $K_p$ ). O  $K_p$  é o somatório das 3 (três) parcelas de custos que o constitui: custo do tempo de corte ( $K_{tc}$ ), custo dos tempos improdutivos ( $K_{ti}$ ) e custo do tempo relacionado com a troca da ferramenta ( $K_{t2}$ ) sob influência de  $T$ . Quando o critério de mínimo custo de usinagem é a função objetivo, a  $v_{mc}$  é a referência para a otimização e pode ser calculada pela Equação 4.5

$$v_{mc} = \sqrt[3]{\frac{K \times C_2}{60 \times (x - 1) \times C_3}} \quad (4.5)$$

onde:

$$C_2 = S_h + S_m \quad (4.6)$$

$$C_3 = K_{ft} + \left( \frac{(t_{ff} + t_a) \times C_2}{60} \right) \quad (4.7)$$

O termo  $C_2$  é composto por salário e encargos da mão-de-obra ( $S_h$ ), em R\$/hora e, pelo custo total da máquina ( $S_m$ ), em R\$/hora que é dado por:

$$S_m = \frac{\left[ (V_{mi} - V_{mi} \times m/M) \times j + V_{mi}/M + K_{mc} + (E_m \times K_e \times j) \right]}{H} \quad (4.8)$$

O critério de máxima produção objetiva a minimização de tempos ( $t_t$ ). O  $t_t$  é o somatório das 3 (três) parcelas de tempo que o constitui: tempo de corte ( $t_c$ ), tempos improdutivos ( $t_i$ ) e tempo relacionado com a troca da ferramenta ( $t_2$ ) sob influência de  $T$ . Quando este é o critério para a otimização a referencia é a  $v_{mxp}$ , que é dada pela Equação 4.9

$$v_{mxp} = \sqrt[x]{\frac{K}{(x-1) \times t_{ft}}} \quad (4.9)$$

No torneamento cilíndrico as parcelas de tempos podem ser calculadas podem ser calculadas pelas expressões 4.10, 4.11 e 4.12:

$$t_c = \frac{l_f \times \pi \times d}{1000 \times f \times v_c} \quad (10)$$

$$t_1 = t_s + t_a + \frac{t_p}{Z} - \frac{t_{ft}}{Z} \quad (4.11)$$

$$t_2 = \left( \frac{l_f \times \pi \times d \times v_c^{x-1}}{1000 \times f \times K} \right) \times t_{ft} \quad (4.12)$$

As parcelas de custos podem ser calculadas por:

$$K_{tc} = \left( \frac{l_f \times \pi \times d}{60 \times 1000 \times f \times v_c} \right) \times C_2 \quad (4.13)$$

$$K_{t1} = \frac{t_1}{60} \times C_2 \quad (4.14)$$

$$K_{t2} = \left( \frac{l_f \times \pi \times d \times v_c^{x-1}}{1000 \times f \times K} \right) \times C_3 \quad (4.15)$$

Estas velocidades ( $v_{mc}$  e  $v_{mxp}$ ) são definidas e deduzidas conforme FERRARESI (1977) e DINIZ, MARCONDES & COPPINI (1999). Os autores definem a região (IME) onde está contida a velocidade otimizada e, conseqüentemente a condição de melhor desempenho. A  $v_{mc}$  delimita o extremo inferior do IME e a  $v_{mxp}$  delimita seu extremo superior. Estas velocidades são derivadas das equações de tempo total ( $t_t$ ) e de custo total de fabricação por peça ( $K_p$ ), em função das condições operacionais de corte. A derivação resulta no ponto de mínimo valor para  $t_t$  e  $K_p$ .

SHIN & JOO (1992) relacionam mais dois critérios: o de máximo lucro e a combinação dos dois citados anteriormente. Trabalham com um modelo de otimização das operações de passadas múltiplas, sob o critério de mínimo custo.

CAKIR & GURARDA (1998) referenciam SHIN & JOO (1992), mas ao contrário destes que mantêm  $a_p$  constante, cada passe da operação de passada múltipla é considerado uma operação independente. Excluindo o critério de máximo lucro, determinam uma zona de trabalho entre mínimo custo e máxima produção que corresponde ao IME definido anteriormente, porém, valores diferentes de  $v_c$ ,  $f$  e  $a_p$  são determinados em cada passada, pois trabalham com base na máxima rotação, tendo como principais variáveis o diâmetro e a profundidade de usinagem da passada. Na equação de Taylor expandida, os valores de  $f$  e  $a_p$  são referenciados em dados do fabricante de ferramentas, considerando a área de quebra-cavacos e os coeficientes são os tabelados de Kronenberg.

Os autores COWTON & WIRTH (1993), embasados nos trabalhos anteriores de OKUSHIMA & HITOMI (1964), PRINROSE & LEONARD (1986) e BOUCHER (1987), afirmam que a consideração de custos e lucros em modelos de otimização foi mal especificada e não foi bem sucedida. ZHOW & WISK (1992) sugerem uma penalidade de custos para a peça na qual ocorreu a falha da ferramenta, mas também não especificam como contabilizá-la.

Entretanto, mesmo COWTON & WIRTH (1993), assim como NOVASKI (1991) não conseguiram êxito na inclusão dos parâmetros de custos, pois trabalharam com conceitos estritamente contábeis e de planejamento e controle da produção (PCP), sob critério de máximo lucro. Pois o lucro não está relacionado com quantidade produzida. O panorama atual é de que o mercado impõe o preço e, portanto, lucro é o custo deduzido do preço de venda. Deste modo, a verdadeira condição de máximo lucro é aquela que possui o mínimo custo, ou permite o maior preço. Procurar a velocidade para produzir a quantidade necessária para satisfazer a demanda dentro do tempo disponível pode incorrer em dois inconvenientes: aumentar velocidade para superar a restrição de capacidade provoca custos elevados relacionados com ferramentas; diminuir quando a demanda é pequena é produzir com prejuízo devido a longos tempos de corte e produzir para estoque é impensável. O volume de produção pode ser otimizado por  $v_c$ , como DOMINGOS & MAZZONI (1996 e 1999) propõem, porém, cuidado deve ser tomado com relação ao custo da produção e a velocidade adotada. Isso também requer interação do PCP com o planejamento e gerenciamento do processo.

RODRIGUES, DINIZ & COPPINI (1987) criam um índice “D” (equação 4.16) para selecionar a velocidade otimizada. O índice “D” indica que a relação  $v_{mxp}/v_{mc}$  é sempre maior que 1 (um). Conforme D, a  $v_{mc}$  será sempre menor que  $v_{mxp}$ . Quando D tende a 1 (um), a  $v_{mxp}$  é condição necessária e suficiente para seleção de  $v_c$ . Quando D tende a infinito não se pode generalizar. Neste caso é necessário uma análise com base nos custos envolvidos.

$$D = \frac{v_{mxp}}{v_{mc}} = \left[ \frac{60 \times K_{ft}}{(S_h + S_m) \times t_{ft}} + 1 \right] \quad (4.16)$$

DINIZ, et al. (1989) utilizam D para analisar a seleção sob critério de máxima produção ou mínimo custo. Percebendo a dificuldade de se trabalhar com o critério de mínimo custo, adotam o critério de máxima produção, evitando assim equívocos devido a implicações causadas pela inclusão dos parâmetros de custos em modelos de otimização.

RODRIGUES, COPPINI & DINIZ (1987) afirmam que o extremo superior do IME ( $v_{mxp}$ ) é condição suficiente para definição dos parâmetros operacionais, principalmente nos gargalos. A  $v_{mxp}$  é a referência para a velocidade otimizada, apresentando a vantagem de depender apenas de fatores técnicos ligados ao processo.

## CAPÍTULO 5

### MODELOS MATEMÁTICOS E DE PROCEDIMENTOS

A otimização das condições de usinagem deve apoiar-se em modelos matemáticos fidedignos, conforme sugerem CHUA, RAHMAN, WONG & LOH (1993), o que é óbvio. Os modelos de cálculos das velocidades, as quais delimitam o IME pelo critério de mínimo custo, tanto quanto pelo critério de máximo volume de produção, foram apresentados no Capítulo 4, os quais serão aplicados neste trabalho.

Destes modelos inseridos no contexto de fabricação flexível, deriva a  $v_{mclim}$ .

Metodologia e modelos são propostos visando melhorar a competitividade das empresas, praticamente sem investimentos, além de melhor qualificar o trabalhador. Nesta condição, este trabalho alcança a dimensão de gestão do trabalho (RAMOS FILHO, 1998), tangendo as vantagens oferecidas pela transformação tecnológica, através do processo de usinagem, de como repensá-lo e através da tecnologia de otimização.

#### 5.1 Modelos Matemáticos

Pelo critério de máxima produção,  $v_{mxp}$  é a velocidade otimizada e dada pelo modelo 4.8, apresentado no capítulo anterior. Conforme observa-se, este modelo calcula uma velocidade otimizada dependente apenas dos termos técnicos: coeficientes de vida da ferramenta e tempo necessário para trocá-la. Pelo critério de mínimo custo de produção,  $v_{mc}$  é a velocidade otimizada e calculada pelo modelo 4.5, também apresentado no capítulo anterior.

A  $v_{mc}$  considera parâmetros de custos referentes à máquina, à mão-de-obra e à ferramenta, além dos parâmetros técnicos determinantes de  $v_{mxp}$ .

Os referidos modelos de otimização estão relacionados com o cenário de fabricação. Atuam sobre esses modelos fatores como equipamentos, ferramental, sistemas de custeio e tecnologia.

A redução dos tempos é uma característica dos sistemas de fabricação flexível, conforme visto no Capítulo 2, além de ser uma necessidade competitiva na atual conjuntura econômica.

Com a tecnologia do ferramental de troca rápida e as pastilhas intercambiáveis, o  $t_{ft}$  é drasticamente reduzido. A evolução dos materiais, geometrias e revestimentos das ferramentas, melhoram o desempenho da aresta de corte durante sua vida, conforme visto no Capítulo 4. Isto possibilita a eliminação da operação de afiação, além de permitir que uma aresta de corte usine mais que um lote de peças. Este fato é devido ao tamanho reduzido dos lotes processados, tendendo a unidade. Portanto,  $t_{ft}$  pode ser considerado muito próximo de 0 (zero).

Com  $t_{ft}$  muito pequeno, ou inexistente, a aplicação do modelo 4.8, como determinante da velocidade de corte otimizada torna-se problemática. Isto é devido ao fato de que  $t_{ft}$  está no denominador da equação, assim, quando  $t_{ft}$  tende a 0 (zero), o valor de  $v_{mxp}$  tende a infinito. Deste modo, dificilmente  $v_{mxp}$  será a restrição para velocidade de corte, pois na maioria das máquinas de potência até 10 CV, os valores máximos das velocidades disponíveis para os menores diâmetros usináveis, resultam em rotações aquém daquela que seria exigida pela  $v_{mxp}$ . Portanto, freqüentemente a máxima rotação do equipamento torna-se a referência para o processo de otimização, dispensando a determinação de  $v_{mxp}$ .

Em outros cenários, conforme COPPINI & BATISTA (1998), onde  $t_{ft}$  não é significativamente pequeno e/ou as máquinas sejam de maior potência e campo de rotação relativamente elevado, o modelo é adequado.

Já no modelo 4.5, a influência de  $t_{ft}$  tendendo a 0 (zero), tem uma conotação diferente. Os custos referentes à ferramenta, dados pela soma de  $K_{ft}$  e o custo devido ao  $t_{ft}$ , ficam muito próximos, ou mesmo igual ao próprio  $K_{ft}$ . Isso acontecerá sempre. Desta forma, se  $t_{ft}$  tender a 0 (zero) na equação 4.5, obtém-se a expressão 5.1 que permite calcular  $v_{mclim}$ .

$$v_{mclim} = \sqrt[x]{\frac{K \times (S_h + S_m)}{60 \times (x - 1) \times K_{ft}}} \quad (5.1)$$

A  $v_{mclim}$  é definida como a maior  $v_{mc}$  quando  $t_{ft}$  é desprezível ou inexistente. No entanto, sempre que  $t_{ft}$  deixar de ser desprezível e assumir valores que não permitam considerá-lo próximo de zero, o valor de  $v_{mc}$  será matematicamente menor que o valor de  $v_{mclim}$ . Assim, ao contrário do que acontece com  $v_{mvp}$  quando  $t_{ft}$  tende a 0 (zero), a  $v_{mclim}$  assume valor finito e conhecido, contido no IME. Portanto, é possível calcular um valor para a  $v_{mc}$ , independente do “*setup*” da máquina. Definidos com precisão, o salário e encargos do operador ( $S_h$ ), bem como, o valor do salário máquina ( $S_m$ ), é possível trabalhar com uma velocidade otimizada pelo critério de mínimo custo dependente apenas dos coeficientes de vida de Taylor.

Por esta razão, o fator complicante passa a ser a obtenção e precisão dos parâmetros de custos envolvidos, pois os coeficientes  $x$  e  $K$  são precisos quando obtidos durante o processo em planta fabril, conforme PALLEROSI & COPPINI (1975), RODRIGUES, DINIZ & COPPINI (1987). A dificuldade imposta pelos parâmetros relativos a custos é devida ao fato de não estarem disponibilizados nos sistemas tradicionais de custeio e também por introduzirem distorções provocadas pelos rateios. Para melhorar a precisão de  $S_h$  e  $S_m$  provenientes dos sistemas tradicionais, é necessário apurar a eficiência destes sistemas, conforme MIGUEL (1992) e COPPINI & MIGUEL (1996), pois como estes autores observam, a expressão 3.1, de cálculo do custo por peça em centros de custos departamentalizados, representa o custo total da peça, inclusive “*overhead*”, mas não considera a contribuição da estação de trabalho específica, na formação dos custos da operação. Esses parâmetros devem ser médios: somatório de  $S_h$  dividido por número de funcionários da indústria e somatório de  $S_m$  dividido por número de máquinas da indústria, para adquirirem consistência lógica dentro do sistema.

Entretanto, a dificuldade imposta por esses parâmetros são eliminadas a medida que métodos de obtenção e disponibilidade são melhorados, como acontece com os sistemas baseados em atividades. Nos métodos ABC, o rastreamento do consumo de recursos e atividades, dentro das dimensões de custo e de processo, faz com que as microatividades sejam agregadas com informações financeiras e de desempenho, satisfazendo tanto o custeio quanto o controle operacional, conforme visto no Capítulo 3.

Desde que a  $v_{mclim}$  é adequada para situação na qual  $t_{ft}$  tende a zero, é referência de otimização adequada para sistemas flexíveis de fabricação, sistemas que atuam com ferramental de troca rápida e/ou pastilhas intercambiáveis.

Para obtenção dos coeficientes  $x$  e  $K$  de Taylor em planta fabril, conforme PALLEROSI & COPPINI (1975), são aplicados os modelos 5.2, 5.3, 5.4 e 5.5. Os modelos 5.2 e 5.3 calculam valores de  $x$  e  $K$ , respectivamente, para vida da ferramenta dada em minutos ( $T$ ).

$$x = \frac{\log\left(\frac{T_1}{T_2}\right)}{\log\left(\frac{v_2}{v_1}\right)} \quad (5.2)$$

$$K = T_1 \times v_1^x \quad (5.3)$$

Quando a vida da ferramenta é estabelecida em termos de peças usinadas ( $Z_T$ ), os referidos coeficientes são calculados pelos modelos 5.4 e 5.5.

$$x = 1 + \frac{\log\left(\frac{Z_{T1}}{Z_{T2}}\right)}{\log\left(\frac{v_2}{v_1}\right)} \quad (5.4)$$

$$K = Z_{T1} \times v_1^x \times t_{c1} \quad (5.5)$$

Todos os fatores de influência para os mecanismos de desgastes, como geometria, ângulos e material de ferramenta, quebra-cavacos e estrutura do material a ser usinado, reações na região de contato entre peça e ferramenta, são indiretamente considerados neste modelo, pois uma vez adotado o critério de vida, o  $t_c$  e/ou  $Z_T$  são consequência da ação de todos os agentes influenciadores, representados pelos coeficientes de vida  $x$  e  $K$ .

Como em fabricação flexível é possível usinar lotes de peças sem consumir totalmente uma aresta de corte, uma relação é estabelecida entre o número de peças possíveis de se usinar com uma ferramenta durante sua vida e o número de peças ( $Z$ ) do  $i$ ésimo lote ( $i$ ). Esta relação,  $Z_i/Z_{Ti}$ , expressa a vida consumida da aresta ( $n_{ai}$ ) para a usinagem de todas as peças do lote  $i$ . Assim, o somatório de  $n_{ai}$ , estabelece o número total de arestas ( $n_a$ ) necessário para a usinagem de todos os lotes programados para a jornada de trabalho ( $jt$ ). O  $n_a$  é expresso pelo modelo 5.6.

$$n_a = \sum_{i=1}^n \left( \frac{Z_i}{Z_{Ti}} \right) \quad (5.6)$$

O  $n_a$  corresponde ao consumo de arestas da FP.

## 5.2 Modelos de Procedimentos (A, B e C)

São apresentados 3 (três) modelos de procedimentos para planejamento de uma jornada de trabalho ( $Jt$ ). Este pode ser realizado conforme ilustra a Tabela 5.1, que permite rápida visualização de desempenho e de informações relativas.

No primeiro modelo (A),  $n_a$  é calculado quando  $v_c$  é adotada sem procedimentos de otimização ou aplicação de modelos matemáticos. A seleção da velocidade e definição da vida da ferramenta é realizada com base em catálogos, manuais, ou experiência do operador ou processista.

Outra situação é aquela que adota os modelos (5.2 e 5.3, ou 5.4 e 5.5) para obtenção dos coeficientes  $x$  e  $K$  de Taylor e o segundo modelo de procedimentos (B). Nesta situação, valores para  $v_c$  e respectivos valores de  $T$ , são sugeridos pelo fabricante de ferramentas baseados nos ensaios realizados em seu laboratório de pesquisas, ou ainda baseada em dados publicados na literatura. A velocidade otimizada pode ser calculada pelo modelo 5.1. O  $n_a$  é calculado pelo modelo 5.6.

Obviamente a qualidade do gerenciamento do processo utilizando-se dos modelos A e B é tão pior quanto maior a distância entre os dados utilizados e a situação real, embora melhor que a não aplicação de um modelo de procedimentos.



Na terceira alternativa de otimização, modelo C, o  $n_a$  também é calculado com base nos valores de  $x$  e  $K$ , porém estes coeficientes de vida da ferramenta são determinados em planta fabril, através de “*software*” do tipo do ATAC.

O ATAC é um banco de dados (Assistência Técnica Assistida por Computador) desenvolvido para aplicação em planejamento da produção, provendo gerenciamento de ferramentas diante da diversidade de material e geometria disponível no mercado, conforme COPPINI & RIBEIRO (1993). Em 1995, os autores colocaram o ATAC como ferramenta para organização de dados do processo e, neste mesmo ano, utilizaram-no para a seleção de ferramentas. Em 1996, algoritmos implantados no módulo de custos, desta ferramenta de otimização, possibilitam realizar e contabilizar ensaios comparativos entre diferentes ferramentas, trabalhando sob condições otimizadas pelo critério de máxima produção. Em 1997, o referido “*software*” é elevado à condição de ferramenta de gerenciamento em usinagem, determinando condições otimizadas durante o processo e para desenvolvimento deste.

Neste modelo de procedimentos, os coeficientes de vida de Taylor são validados para o intervalo de velocidades ensaiadas e para a velocidade selecionada com base na  $v_{mclim}$ .

Como o cenário escolhido é o de fabricação flexível, é proposto o uso da FP, para os 3 (três) modelos (A, B e C), contrariando fabricantes de ferramentas e a literatura, que sugerem cortar cada peça com a ferramenta mais adequada.

Considerando que esforços são dirigidos para a padronização de processos e componentes de produtos variados, para diminuir o tempo de resposta às variações de demanda, é oportuno também, a padronização de ferramentas. Neste sentido, são direcionados os trabalhos de CORREIA FILHO (1998) e CORREIA FILHO, MAESTRELLI & COPPINI (1999) reduzindo ferramentas em processo e tempos de preparação

Entretanto, a concepção da FP vai além deste horizonte, pois uma vez realizado o “*setup*” da máquina, esta pode ser considerada de infinita flexibilidade, necessitando apenas da troca de arestas, muito embora, diversos lotes com peças completamente diferentes entre um e outro, possam estar sendo usinadas.

Conceitua-se FP àquela que substitui as ferramentas específicas de uma determinada operação para um conjunto de diferentes peças, a serem usinadas em uma mesma máquina. Assim, por exemplo, FP de desbaste externo é uma ferramenta que substitui todas as ferramentas de desbaste externo para diferentes peças a serem usinadas numa mesma

máquina, em uma jornada de trabalho. Outra FP executa todas as operações de acabamento para as peças anteriormente desbastadas com a FP de desbaste. Não é necessário que todas as ferramentas sejam utilizadas para usinar peças de todos os lotes. Entretanto, todas as peças dos diferentes lotes devem ser usinadas sem necessidade de ferramentas específicas.

A seleção da FP pode ser feita com base no material da peça, que exige melhor qualidade e desempenho da ferramenta. Também pode ser viável teste de desempenho entre ferramentas, selecionando a ferramenta de melhor relação custo/benefício, conforme COPPINI & RIBEIRO (1995) e COPPINI & FERREIRA (1996).

## CAPÍTULO 6

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 6.1 Influência da Velocidade de Corte na Forma do Cavaco

Este trabalho se dedica à otimização das condições operacionais, através da otimização de  $v_c$ , conforme visto anteriormente. Os parâmetros de usinagem  $f$  e  $a_p$  são otimizados através de valores máximos permissíveis, restritos à geometria de ferramenta e de peça, à limitações da máquina e ao tipo de operação.

Na verdade,  $f$  é delimitado e deve ser escolhido como sendo o máximo, dentro de faixas que caracterizam o volume de cavacos a ser removido e em função do tipo de operação, conforme Tabela 6.1. Por seu lado,  $a_p$  é definida como a máxima possível, respeitadas restrições tais como: sobremetal, potência da máquina e comprimento útil da aresta de corte da ferramenta. Assim, resta otimizar  $v_c$ .

Tabela 6.1 – Faixas para  $f$  em função da operação

<b>Operação</b>	<b>Faixa de <math>f</math></b>
Desbaste pesado	acima de 0,8 mm/volta
Desbaste	de 0,6 à 0,8 mm/volta
Desbaste leve	de 0,4 à 0,6 mm/volta
Semiacabamento	de 0,3 à 0,4 mm/volta
Acabamento	de 0,2 à 0,3 mm/volta
Acabamento fino	de 0,1 à 0,2 mm/volta

FONTE: SANDVIK (1995 p.148), adaptada pelo autor

Desta forma, são apresentados a seguir, resultados do ensaio de laboratório que mostra o porquê da otimização sem uma preocupação especial com  $f$  e  $a_p$ . Este ensaio está fundamentado na análise do cavaco resultante da variação das condições operacionais.

A análise de cavacos objetiva comprovar a desprezível influência de  $v_c$  na forma de cavaco. Este ensaio é providenciado com a finalidade de fortalecer a metodologia que mantém constantes  $f$  e  $a_p$  selecionados conforme anteriormente mencionados.

### 6.1.1 Metodologia do ensaio

Foram usinados 27 (vinte e sete) Cp, mostrados na Figura 6.1.

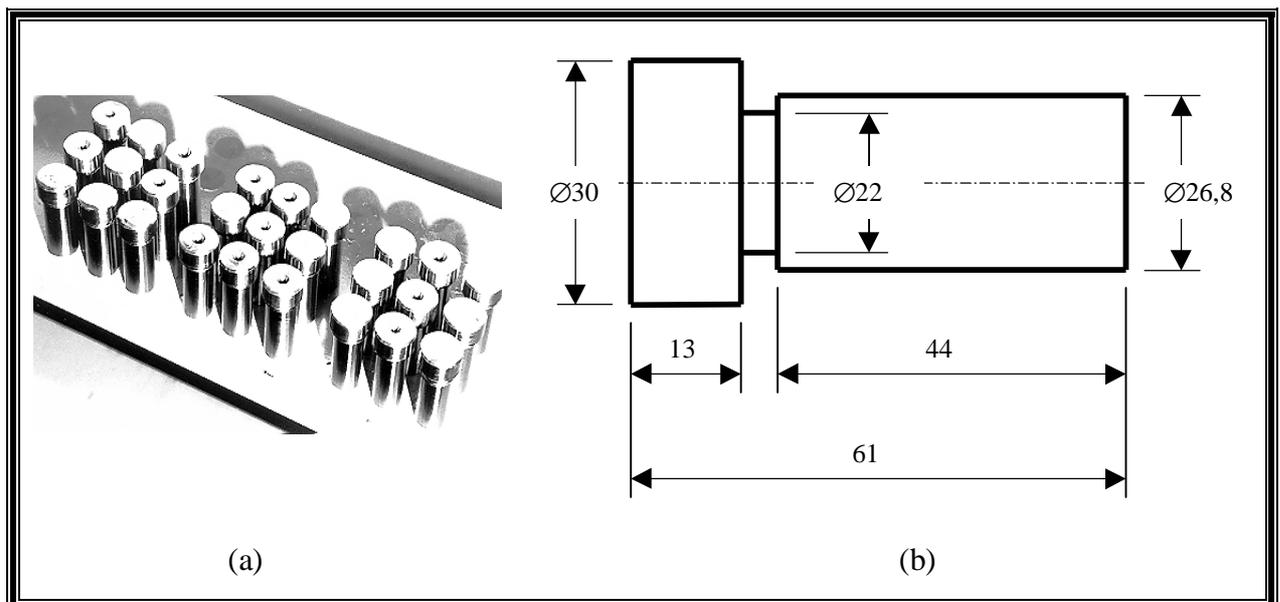


Figura 6.1 – (a) Cp usinados;  
(b) Desenho esquemático do Cp pré-usinado para análise de cavacos

Uma primeira ferramenta executa o passe de preparação, que corrige excentricidade, acertando o diâmetro em 26 mm. Este passe acontece em todas as peças e com a mesma aresta de corte. Outra ferramenta (de mesma especificação) executa o passe do qual os cavacos são coletados, porém as arestas são trocadas periodicamente. A ferramenta é a pastilha intercambiável de metal duro CNMG 120408 QM GC 4035. Conforme sugestão do fabricante a faixa de valores para  $v_c$  é de 145 a 195 m/min, para  $f$  é de 0,20 a 0,45 mm/volta e para  $a_p$  é

de 1,0 a 6,0 mm. O material usado neste ensaio é o mesmo aço 4340, utilizado na determinação de  $v_{mclim}$  em planta fabril, apresentado no item 6.4 deste capítulo.

Os 27 (vinte e sete) Cp foram nomeados de A à AB e usinados na seqüência alfabética. Os parâmetros de corte foram alterados a cada Cp usinado, conforme Tabela 6.2.

Tabela 6.2 – Condições de corte para os 3 (três) grupos de Cp

$f$ mm/volta	$v_c$ 190 m/min			$v_c$ 170 m/min			$v_c$ 150 m/min		
$f$ 0,2	Q	L	A	O	Z	B	P	U	C
$f$ 0,25	S	D	M	H	F	T	Y	G	N
$f$ 0,3	I	X	W	R	K	V	E	AB	J
	$a_p$ 1,0 mm	$a_p$ 1,5 mm	$a_p$ 2,0 mm	$a_p$ 1,0 mm	$a_p$ 1,5 mm	$a_p$ 2,0 mm	$a_p$ 1,0 mm	$a_p$ 1,5 mm	$a_p$ 2,0 mm

A aresta de corte da ferramenta foi trocada após usinagem de um certo número de Cp, conforme Tabelas 6.3.

Tabela 6.3 – Indexação ferramenta/Cp e distribuição aleatória do desgaste

Corpo de prova	Ferramenta
A, B, C	1 aresta
D, E, F	2 aresta
G, H, I, J	3 aresta
K, L	4 aresta
M, N, O	1 aresta
P, Q, R	2 aresta
S, T, U	3 aresta
V, X, Y	4 aresta
W, Z, AB	1 aresta

De acordo com a Tabela 6.2 formou-se 3 (três) grupos de 9 (nove) peças cada um. Cada grupo foi usinado com diferente  $v_c$ . Foram estabelecidos 3 (três) valores de  $f$  e 3 (três) valores de  $a_p$ . Estes parâmetros foram especificados dentro da faixa variável de dados de corte, sugerida pelo fabricante. Cada grupo foi usinado de modo que a cada valor de  $f$  fixado correspondesse 3 (três) Cp, cada um cortado com  $a_p$  diferente, mas com os mesmos valores de  $f$  e  $v_c$ .

De acordo com a Tabela 6.3, a influência dos parâmetros de corte no desgaste de cada uma das arestas é diferenciada, pois os valores de  $v_c$ ,  $f$  e  $a_p$  são alterados a cada Cp usinado, de

modo que as arestas fossem sempre solicitadas por combinações diferentes de parâmetros de corte. É ponderada a quantidade de  $C_p$  usinado por aresta.

Assim, as Tabelas 6.2 e 6.3 retratam os procedimentos adotados para que a influência do desgaste da aresta de corte fosse distribuída de forma aleatória. Desta forma, evita-se a formação do cavaco sob tal influência.

### 6.1.2 Apresentação e análise dos cavacos

Como os valores de  $v_c$ ,  $f$  e  $a_p$  foram adotados dentro das faixas de valores sugeridas pelo fabricante, a forma dos cavacos em função destes parâmetros é obtida de acordo com tal recomendação. Com os cavacos coletados montou-se um painel correlacionado com a Tabela 6.2. O painel é apresentado como Figura 6.2

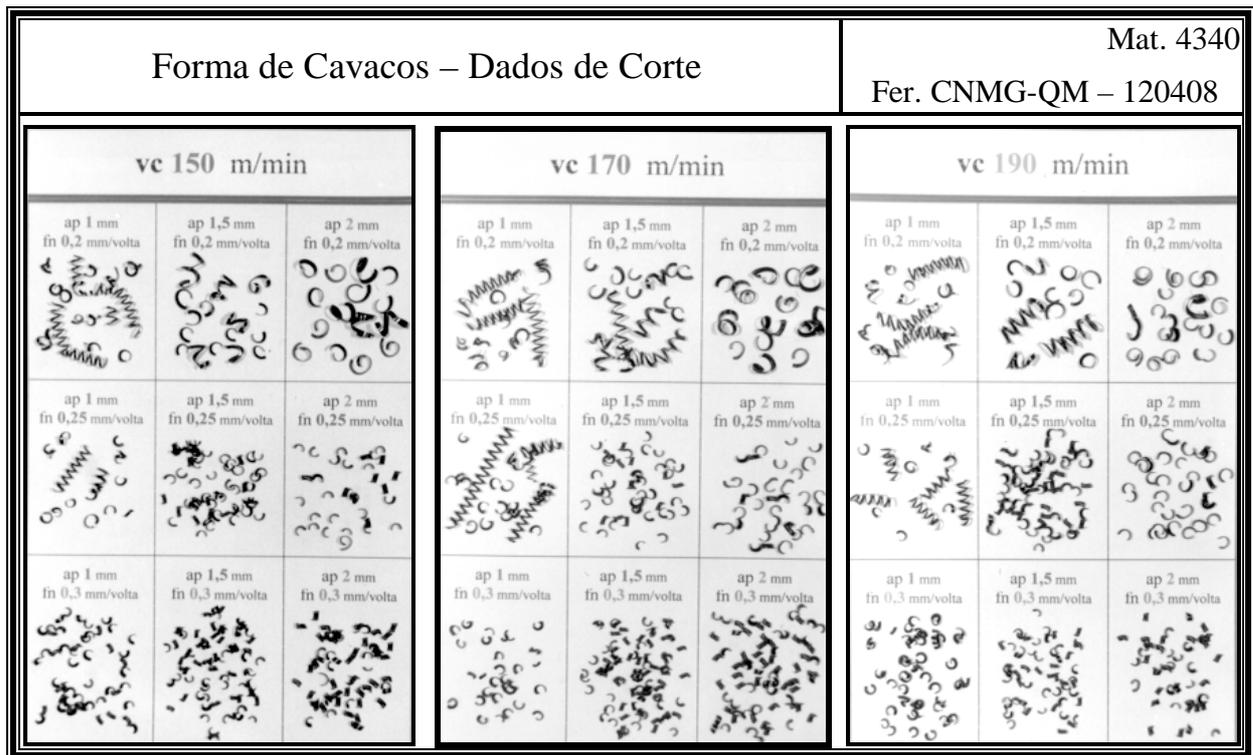


Figura 6.2 – Cavacos em função das condições de corte

Para melhor análise, a Figura 6.2 pode ser dividida em três partes: cavacos obtidos com  $v_c$  150, 170 e 190 m/min. O grupo de cavacos obtidos com  $v_c$  170 m/min é destacado para melhor análise.

Conforme observa-se, a forma e tamanho dos cavacos pertencentes a este grupo, se alteram de acordo com alteração dos parâmetros de usinagem,  $f$  e  $a_p$ . A forma predominante é a de lascas. Foram obtidos cavacos de forma helicoidal quando  $a_p = 1$  mm foi combinado com  $f = 0,20$  e  $0,25$  mm/volta. A forma helicoidal também é notada quando  $a_p = 1,5$  mm foi combinado com  $f = 0,20$  mm/volta

Quando a relação  $a_p / r_\epsilon$  é pequena, o cavaco se dobra lateralmente, com grande ângulo de fluxo, e não se quebra facilmente, o que explica a forma helicoidal nos dois primeiros casos citados. No terceiro caso, a forma helicoidal desaparece porque houve aumento da relação  $f/a_p$ .

Esta análise é válida para os outros grupos de  $v_c$  150 e  $v_c$  190 m/min. No entanto, observa-se que não há modificação na forma quando altera-se  $v_c$  e mantêm-se  $f$  e  $a_p$ .

Finalizando, é importante observar que o cavaco sofre alteração quando varia  $f$  e/ou  $a_p$ . Não há mudanças em função de  $v_c$ . Portanto, a otimização das condições operacionais com base na  $v_{mcLim}$ , tendo  $f$  e  $a_p$  previamente fixados e otimizados de extremos, está fundamentada no que aqui foi exposto.

## 6.2 Validação com Dados de Catálogo

Para validar os modelos de procedimentos A e B, propostos no capítulo anterior serão feitas simulações. Os modelos serão validados com dados baseados em catálogo de fabricante de ferramentas. Neste trabalho, o catálogo referenciado é o catálogo geral Ferramentas para Torneamento da SANDVIK Coromant do Brasil (SANDVIK, 1995).

Os lotes descritos na Tabela 6.4 serão usinados pela FP CNMG 120408 – PM GC 4035. Esta ferramenta foi selecionada segundo catálogo, por ser bastante tenaz e menos resistente ao desgaste, por possuir 4 (quatro) arestas de corte, por ser recomendada para operações de desbaste médio a leve e por estar disponibilizada no Laboratório de Processos de Fabricação Mecânica (LPFM) da Universidade Metodista de Piracicaba (UNIMEP).

Conforme a Tabela 6.4, os 10 (dez) lotes programados para uma Jt, diferem em tamanho (Z) e as peças que os compõem variam em material, dureza HB e geometria (diâmetro:  $d$ ; comprimento de corte:  $lf$ ) de um lote para outro.

Tabela 6.4 – Descrição dos lotes programados para usinagem

Lote nº	Material	CMC	HB	Z	D (mm)	Lf (mm)
1	4340	02.2	350	9	48	18
2	12L13	01.1	125	14	75	190
3	1045	01.2	150	9	93	42
4	1060	01.3	170	7	35	101
5	Z120M12	06.33	250	12	69	98
6	8620	02.1	180	10	70	21
7	L6	02.2	275	6	45	15
8	ASTM A353	03.11	200	4	82	158
9	D3	03.11	240	9	98	19
10	A2	03.11	260	6	55	20
<b>TOTAL</b>				<b>86</b>		

Na validação do modelo A, sem aplicação dos modelos matemáticos para obtenção dos coeficientes  $x$  e  $K$  e velocidades otimizadas, os valores de  $T$  e  $v_c$  baseiam-se na Tabela 6.5.

Tabela 6.5 – Fator de correção, velocidades e vidas

Material	HB	$f$ mm/volta	$T=10$ min fr 1,10	$T=15$ min fr 1,00	$T=20$ min fr 0,95	$T=25$ min fr 0,90	$T=30$ min fr 0,87
12L13	125	0,1	446	405	385	365	352
1045	150	"	402	365	347	329	318
1060	170	"	352	320	304	288	278
8620	180	"	314	285	271	257	248
L6	275	"	193	175	166	158	152
4340	350	"	154	140	133	126	122
ASTM A353	200	"	248	225	214	203	196
D3	240	"	209	190	181	171	165
A2	260	"	198	180	171	162	157
Z120M12	250	"	88	80	76	72	70

FONTE: SANDVIK, (1995); adaptada pelo autor

Conforme Tabela 6.5, os valores para  $v_c$  foram adotados considerando a dureza HB e a Classificação Coromant de Materiais (CMC), para a ferramenta selecionada com  $T$  estimado de 15 (quinze) minutos e  $f$  0,1 mm/volta.

No modelo de procedimentos B, os primeiros valores de  $v_c$  e  $T$  são os mesmos adotados para o modelo A. Através do fator de correção (fr), conforme Tabela 6.5, foram obtidos novos valores de  $T$  e correspondente  $v_c$ . Os modelos matemáticos forneceram os coeficientes de

Taylor e as velocidades otimizadas (Tabela 6.6), para os diferentes par-ferramenta-peça, a partir dos dados extraídos da Tabela 6.5.

Tabela 6.6 - Coeficientes e velocidades otimizadas com dados catalogados

Lote n°	Material SAE	HB	$v_{c1}$ (m/min)	$v_{c2}$ (m/min)	x	K	$v_{mc}$ (m/min)	$v_{mclim}$ (m/min)	$v_{mxc}$ (m/min)
1	4340	350	133	126	4,1	1,2E+10	128	130	238
2	12L13	125	385	365	4,2	1,3E+12	368	375	681
3	1045	150	347	329	4,2	8,8E+11	332	338	613
4	1060	170	304	288	4,1	3,5E+11	292	298	544
5	Z120M12	250	76	72	4,1	1,2E+09	73	74	136
6	8620	180	271	257	4,2	3,4E+11	259	264	477
7	L6	275	166	152	4,6	3,3E+11	155	158	271
8	ASTM A353	200	214	203	4,2	1,4E+11	204	208	375
9	D3	240	181	171	3,9	1,5E+10	176	180	339
10	A2	260	171	162	4,1	3,3E+10	164	167	306

Os valores na Tabela 6.6 foram calculados com auxílio da planilha de cálculos Excel. A Figura 6.3 apresenta uma tela da planilha de cálculos realizados. Resultados da validação dos modelos A e B são apresentados nas Tabelas 6.7 e 6.8, respectivamente.

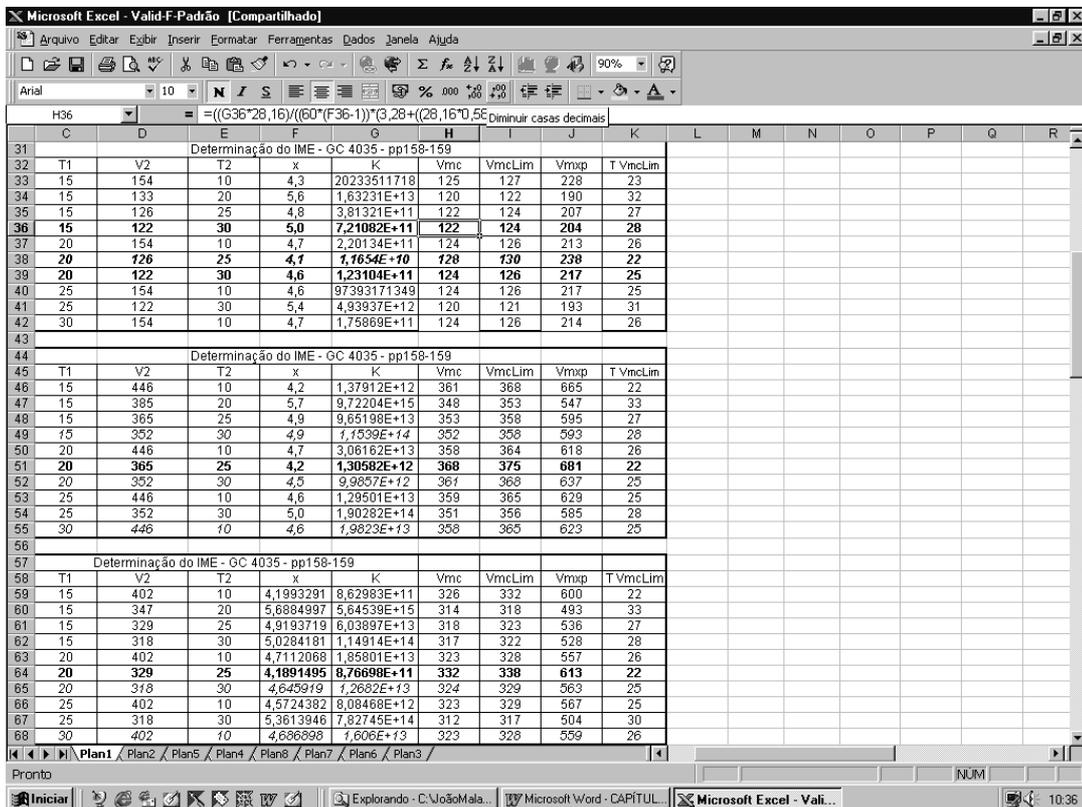


Figura 6.3 – Tela do Excel para aplicação dos modelos matemáticos



Conforme a Tabela 6.7, a usinagem das 86 peças foi prevista para  $J_t$  de 2 (duas) horas e meia. Pode-se observar tempos e custos relativos à unidade e relativos ao lote. A fabricação de todas as peças custa R\$ 85,86 e consome 4,53 arestas de corte. O  $n_a$  (4,53), representa gastos de R\$ 14,87 (catorze reais, oitenta e sete centavos,  $K_{ft} \times 4,53$ ). O  $K_{t2}$  que é o custo total relativo à ferramenta, chega à R\$ 16,10 (dezesesseis reais e dez centavos).

A diferença entre o número de peças possíveis de se usinar durante  $T=15$  min e o número de peças usinadas, representa uma economia real de ferramentas da ordem de 536/86 (quinhentos e trinta e seis, oitenta e seis avos), em termos de peças usinadas. Em percentual, esta diferença é de 523,25 %, mais de 5 (cinco) vezes o número de peças usinadas.

Após a usinagem de todas as peças programadas resta 0,47 de vida da aresta. Isto significa que para a próxima programação não é necessário trocar uma aresta nova, pois a ferramenta é padrão. Caso este valor fosse desprezível, uma nova aresta poderia ser montada.

A primeira troca de ferramenta foi prevista para a décima terceira peça do lote 2, ( $Mt_1$ ). Após a usinagem da terceira peça do lote 5, ocorre a segunda troca,  $Mt_2$ . O  $Mt_3$  acontece durante a usinagem da nona peça deste mesmo lote. A última troca é programada para o lote 8, durante a usinagem da segunda peça ( $Mt_4$ ). Uma aresta sobressalente deve ser entregue ao operador, prevenindo uma eventual falha. Esta aresta será utilizada somente se necessário e o operador deverá relatar o fato para que ajustes no sistema sejam providenciados.

Evidencia-se a racionalização de mão-de-obra, equipamento e ferramenta, através da introdução da FP e do planejamento baseado nas condições operacionais.

A análise da Tabela 6.8, que apresenta os resultados conseguidos com a aplicação do modelo B, é similar àquela feita para a Tabela 6.7 (validação do modelo de procedimento A). O enfoque é para a diferença dos resultados obtidos pelos dois modelos de procedimentos, pois a FP e os lotes programados são os mesmos, em ambos os casos

Pelo modelo com aplicação de  $x$  e  $K$  (modelo B),  $J_t$  tem um acréscimo de 3,3% de tempo, porém o custo operacional total da produção é reduzido em 2,15%. O  $Z_T$  é 748, enquanto que pelo modelo de procedimentos sem aplicação de  $x$  e  $K$  o  $Z_T$  é 536., ou seja, com aplicação dos coeficientes de Taylor o  $Z_T$  é 39,55% maior. Por esta razão a usinagem economiza mais que 1 (uma) aresta ( $4,53 - 3,33 = 1,32$ ), o que representa economia de 26,7% no gasto com pastilhas. Consequentemente o número de troca de ferramenta e custo relativo, também são reduzidos. O  $K_{t2}$  é reduzido para R\$ 11,81 (onze reais e oitenta e um centavos), o que significa economia de 26 %.

Apresenta-se na Figura 6.4, uma tela da planilha de cálculos do Excel, usada para calcular os valores das simulações.

SIMULAÇÃO COM DADOS DE CATÁLOGO sem x e K para T =														
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
	K1c	K1	K2	kt2z	Lote	Material	HB	vcat	d	n	lf	tc	t1	t2
3	0,09	0,44	0,05	0,41	1	4340	350	140	48	929	18	0,19	0,940	0,003
4	0,52	0,44	0,26	3,66	2	12L13	125	405	75	1720	190	1,10	0,940	0,017
5	0,16	0,44	0,08	0,72	3	1045	150	365	93	1250	42	0,34	0,940	0,005
6	0,16	0,44	0,08	0,57	4	1060	170	320	35	2912	101	0,35	0,940	0,005
7	1,25	0,44	0,63	7,54	5	Z120M12	250	80	69	369	98	2,65	0,940	0,041
8	0,08	0,44	0,04	0,38	6	8620	180	285	70	1297	21	0,16	0,940	0,003
9	0,06	0,44	0,03	0,17	7	L6	275	175	45	1238	15	0,12	0,940	0,002
10	0,85	0,44	0,43	1,71	8	ASTM A353	200	225	82	874	158	1,81	0,940	0,028
11	0,14	0,44	0,07	0,66	9	D3	240	190	98	617	19	0,31	0,940	0,005
12	0,09	0,44	0,05	0,27	10	A2	260	180	55	1042	20	0,19	0,940	0,003
13				16,10	TOTAL									
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22														
23	K1c	K1	K2	kt2z	Lote	Material	HB	x	K	Vmc	VmLim	VmXP	d	n
24	0,10	0,44	0,03	0,30	1	4340	350	4,1	1,2E+10	128	130	238	48	863
25	0,56	0,44	0,19	2,66	2	12L13	125	4,2	1,3E+12	368	375	681	75	1594
26	0,17	0,44	0,06	0,52	3	1045	150	4,2	8,8E+11	332	338	613	93	1158
27	0,18	0,44	0,06	0,42	4	1060	170	4,1	3,5E+11	292	298	544	35	2707
28	1,34	0,44	0,46	5,56	5	Z120M12	250	4,1	1,2E+09	73	74	136	69	343
29	0,08	0,44	0,03	0,28	6	8620	180	4,2	3,4E+11	259	264	477	70	1200
30	0,06	0,44	0,02	0,11	7	L6	275	4,6	3,3E+11	155	158	271	45	1118
31	0,92	0,44	0,31	1,23	8	ASTM A353	200	4,2	1,4E+11	204	208	375	82	808
32	0,15	0,44	0,06	0,51	9	D3	240	3,9	1,5E+10	176	180	339	98	585
33	0,10	0,44	0,03	0,20	10	A2	260	4,1	3,3E+10	164	167	306	55	969
34				11,81	TOTAL									

Figura 6.4 – Tela do Excel para simulação dos modelos de procedimentos A e B

De acordo com os resultados, o modelo que se utiliza dos coeficientes  $x$  e  $K$  e da  $v_{mLim}$ , permite o mesmo volume de produção com sensível redução de custos, em relação ao modelo A. Menores tempos conseguidos com o modelo A, sem método de otimização das condições de corte, mascaram o acréscimo de custos correspondentes, pois menores tempos e custos de corte, são superados pelos acréscimos dos tempos referentes à troca de ferramenta e seus custos correlacionados.

## 6.3 Validação Com Dados Experimentais

Para validação do modelo de procedimento C, viabiliza-se a determinação de  $v_{mclim}$ , para um par-ferramenta-peça.

Para validação deste modelo, o ambiente fabril é reproduzido pelo LPFM. Os parâmetros de custos obtidos, para o referido LPFM, representam custos industriais reais. Obtem-se os parâmetros técnicos em função da operação. A operação deve ser desenvolvida como no dia-a-dia da produção de uma empresa.

### 6.3.1 Descrição do LPFM

São locados no LPFM, os recursos de máquinas, ferramentas e os recursos de mão-de-obra de 4 (quatro) técnicos e 1 (um) supervisor. Este laboratório é subdividido em 5 (cinco) grupos de equipamentos:

- usinagem convencional: composto por 4 (quatro) tornos, 2 (duas) fresadoras, 2 (duas) retificadoras, 2 (duas) furadeira, 1 (uma) plaina e 2 (duas) serras;
- usinagem CNC: composto por 1 (uma) retificadora e 2 (dois) tornos, sendo um de bancada e construído por alunos de graduação para fins didáticos;
- conformação: composto por 1(uma) prensa mecânica, 1(uma) calandra e 1(uma) guilhotina;
- soldagem: composto por 1 (uma) máquina de solda MIG-MAG, 1 (uma) TIG, 1 (uma) para corte à plasma e unidades oxi-gás;
- fundição: composto por 1 (uma) forno cubilot, 1 (um) refratário e 1 (uma) forja.

### 6.3.2 Adaptação do ABC ao ambiente

Conforme visto na literatura, os recursos são consumidos pela atividade. A operação tornear, é a considerada atividade. Assim pode-se montar e apresentar a Tabela 6.9. Esta Tabela mostra um resumo de como acontece a alocação dos recursos e atividades, no centro de atividades Torno CNC Centur 30 RV, conforme os conceitos e princípios do custeio ABC.

Tabela 6.9 – Precisão dos parâmetros de custos pelo ABC

Recursos	Direcionador	Centro de Atividades	Micro Atividades	Direcionador	Custo Não agrega valor	Custo Agrega valor
:		Torno CNC Centur 30 RV	Preparar	$t_p$	$t_p \times (S_h + S_m)$	
Mão-de-obra	$S_h$ operador		Fixar peça	$t_f$	$t_f \times (S_h + S_m)$	
Máquina	$S_m$ da máq.		Usinar	$t_c$		$t_c \times (S_h + S_m)$
Ferramenta	$K_{ft}$ da ferr.		Trocar fer.	$t_{ft} + K_{ft}$	$K_{ft} + t_{ft} \times (S_h + S_m)$	
:			Inspeccionar	$t_i$	$t_i \times (S_h + S_m)$	
:			:	:	:	:
:						

Tornando o LPFM parte de uma indústria, o  $S_h$  do termo  $C_2$  dos modelos matemáticos é o salário/hora do operador do torno CNC, acrescido dos encargos sociais. O Torno ROMI CNC Centur 30RV (Mach 8) é a base para alocação dos recursos, conforme Tabela 6.10.

Tabela 6.10 – Parâmetros de custos referentes à homem e máquina

Parâmetros	Base	Valor/unidade
$S_m$	Centur 30 RV	\$ 15,00
$V_{mi}$	Centur 30 RV	\$ 85000,00
$m$	Centur 30 RV	4,0 anos
$M$	Centur 30 RV	10 anos
$j$	Mercado	0.35%
$K_{mc}$	Centur 30 RV	\$ 2.400,00
$Em$	Centur 30 RV	14,20 m <sup>2</sup>
$K_e$	Mercado	\$ 40,00
$H$	Centur 30 RV	2200 horas
$S_h$	Técnico	\$ 15,00
$C_2$	$S_m, S_h$	\$ 28,16

A Tabela 6.10 mostra a composição de  $C_2$  (recursos de mão-de-obra e de máquina) pelos parâmetros  $S_h$  e  $S_m$ .

Os custos referentes à ferramenta são apresentados na Tabela 6.11 e são relativos às pastilhas e suportes usados na máquina.

Tabela 6.11 – Parâmetros de custos referentes à ferramenta

Parâmetros	Base	Valor/unidade
$K_{ft}$	Suporte, Pastilha	\$ 3,28
$n_{pt}$	Suporte PCLN Sotefe 20 x 20	500 vezes
$V_{si}$	Suporte PCLN Sotefe 20 x 20	\$ 40,00
$K_s$	Pastilha CNMG 120408 PM-GC 4035	\$ 12,80
$n_s$	Pastilha CNMG 120408 PM-GC 4035	4 arestas
$C_3$	Kft, C2, ttf	\$ 3,55

Pela Tabela 6.11, observa-se as bases para obtenção e composição de  $C_3$  e de  $K_{ft}$ .

Os custos considerados neste trabalho são específicos do centro de custo Torno CNC. Desta forma, o cálculo do custo por peça não inclui os custos indiretos que deveriam ser apropriados pela aplicação do ABC, até a composição final do custo da mesma.

### 6.3.3 Descrição da operação e método de obtenção dos parâmetros técnicos

A operação idealizada consiste no desbaste leve de um corpo de prova (Cp), em 12 passadas. Resume-se na redução do diâmetro de 50,8 para 26,8 mm, em comprimento de corte de 46 mm. Cada passada é executada com  $a_p$  de 1 mm e  $f$  0,25 mm/volta.

A recarga da máquina é contínua. As peças a serem cortadas são fixadas, imediatamente após terminado o ciclo de usinagem da peça anterior. O  $t_c$  pode ser medido durante o ciclo, ou calculado. A produção, somente é interrompida quando determinado fim de vida da aresta de corte. O processo de corte aguarda reinício durante o tempo necessário para a troca da aresta e a alteração do valor de  $v_c$  no programa. O programa pode ser observado em anexo. O  $t_{ft}$  é obtido com base no tempo médio de 8 (oito) trocas, realizadas também, por 3 (três) operadores diferentes.

O fim de vida da aresta de corte e conseqüente  $M_t$  ficam a critério do operador. No entanto, esta tarefa não é realizada de modo aleatório. A sensibilidade do operador é apoiada no acréscimo da rugosidade e do diâmetro da peça, além da medição direta do desgaste  $V_B$  na aresta de corte. A medição destes três fatores é feita por operadores diferentes. Cada operador mede 3 (três) vezes cada fator. As medidas deste controle dimensional e do tempo das trocas de ferramentas, podem ser observadas em anexo.

À partir do momento em que o operador interrompe o processo obtém-se a vida da ferramenta ( $T$  ou  $Z_T$ ). Os coeficientes  $x$  e  $K$  podem ser determinados à partir de duas velocidades ensaiadas ( $v_{c1}$ -  $v_{c2}$ ) e vidas respectivas ( $T_1$ - $T_2$ ) para duas arestas.

### **6.3.4 Descrição dos materiais**

O material disponível é um aço 4340. A Figura 6.5 apresenta o Cp pré-usinado que , esquematicamente é representado na Figura 6.6.

A dureza do material é dada pelo Laboratório de Materiais para Construção Mecânica, da UNIMEP, como sendo de 33,4 HRc, conforme documento da Figura 6.7

No ensaio de dureza foi utilizado o durômetro HECKERT, n.º fabricação 311/2.

A ferramenta selecionada é a pastilha intercambiável CNMG 120408 - PM GC 4035, para suporte Sotefe PCLNL 20x20.

Para medição do desgaste da ferramenta foram usados o projetor de perfis TOPOCON, mod. PP -30E e a lupa SANDVIK, 10x - 0,1 mm. Também foi utilizado o software Global Lab (analisador de imagens), conforme potencialidades descritas por LIMA & VIEIRA JÚNIOR (1998). Telas de medições de  $V_B$ , através deste software, são apresentadas em anexo, para as 8 (oito) arestas consumidas. A rugosidade foi medida pelo rugosímetro digital Surfrest - 211, Mitutoyo. O diâmetro foi medido com micrômetro externo 25 - 30 mm, Mitutoyo. As medidas de diâmetro e rugosidade também estão em anexo.

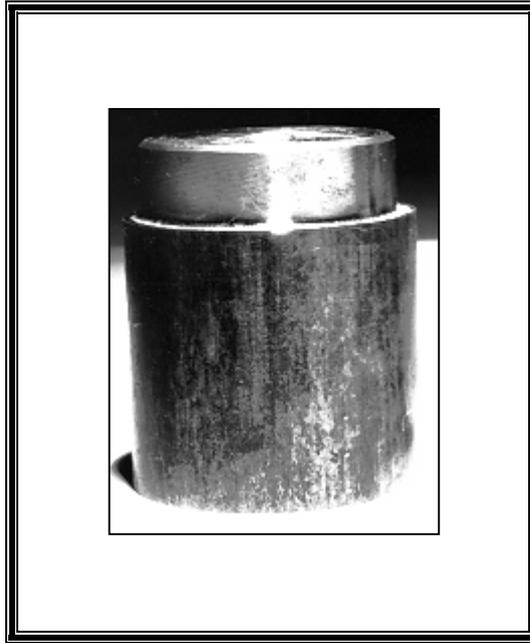


Figura 6.5 – Cp pré-usinado para determinação de  $v_{mclim}$

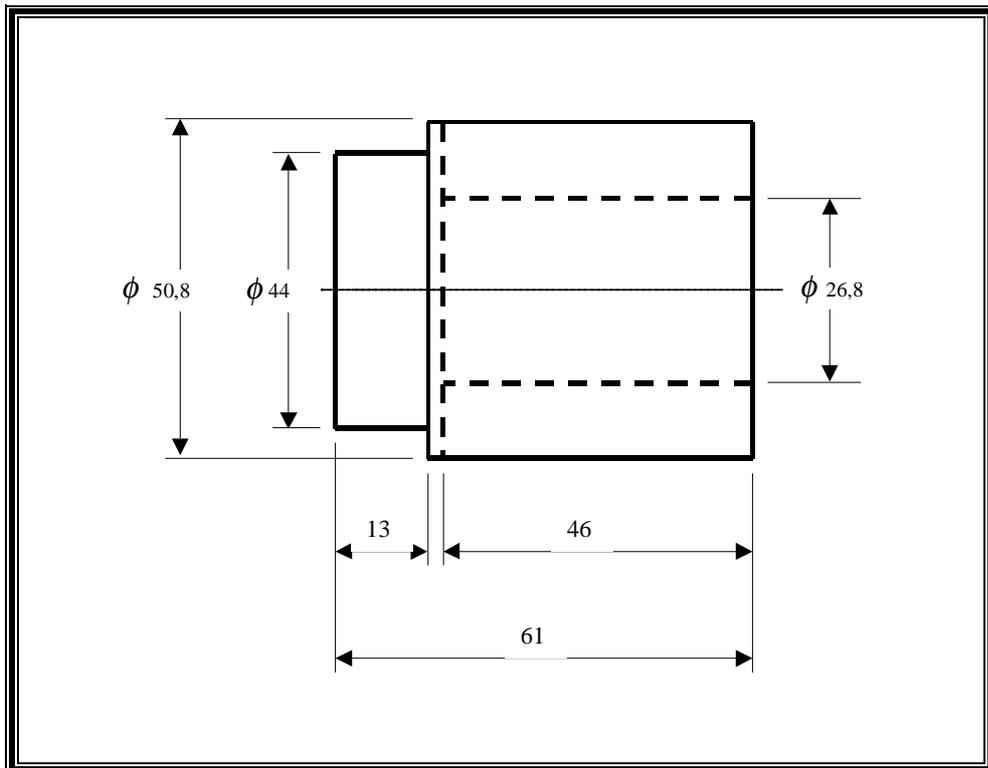


Figura 6.6 – Desenho esquemático do Cp para determinação de  $v_{mclim}$



### 6.3.5 Determinação de $v_{mclim}$

O valor inicial de  $v_c$  seria de 175 m/min, com avanço de 0,1 mm/volta, conforme o catálogo sugere. Esta velocidade, 175 m/min, é corrigida em função da diferença de dureza entre a dureza referenciada no catálogo (HB 275) e a dureza medida no material a ser usinado (33,4 HRc). Pela tabela de conversão de dureza do catálogo, o material tem aproximadamente 325 HB. Portanto, este valor de 175 para  $v_c$  é corrigido e equivalente à 160 m/min, para material CCM 02.1, cortado com pastilha PM de Classe GC 4035, para a qual  $T =$  vida de 15 (quinze) minutos. Entretanto,  $v_c$  inicial foi de 310 m/min. O segundo valor de  $v_c$  ensaiado foi de 260 m/min. O terceiro foi de 215 m/min e o quarto valor de  $v_c$  foi 175 m/min. O valor de  $f$  também seria o mesmo sugerido no catálogo, 0,1 mm/volta. No entanto, o avanço adotado e fixado foi de 0,25 mm/volta.

Os valores adotados são diferentes dos valores recomendados, pois experiência anterior revelou que na prática o sistema MFDP suporta velocidades maiores que aquelas sugeridas pelo catálogo. Também revelou que para  $f = 0,1$  mm/volta não ocorre a quebra de cavacos. Por esta razão foram adotados os valores citados anteriormente e não os recomendados.

Para cada valor de  $v_c$  adotado, duas arestas de corte foram testadas, exceto para a  $v_c$  de 310 m/min. Com  $v_c = 310$  m/min, as condições de corte fizeram-se demais severas, inutilizando aresta de corte antes de completar um ciclo de usinagem. Foram obtidos os parâmetros  $Z_T$ ,  $T$  e  $V_B$  para as duas arestas de corte, ensaiadas com mesmo valor de  $v_c$ . Também foram obtidos  $R_a$  do primeiro e do último Cp usinados com a mesma aresta e, o valor de  $t_c$  (Tabela 6.12).

Tabela 6.12 – Parâmetros para determinação de  $v_{mclim}$  em planta fabril

$v_c$ m/min	Aresta	$V_B$ mm	$Z_T$	Cp n°	$R_a$ ( $\mu$ m) 1°Cp	$R_a$ ( $\mu$ m) último Cp	$T$ min	$t_c$ min
310	1ª Ar 1	<b>2,7</b>	0	0	0	0	0,00	0,00
260	1ª Ar 2	1,5	5	041-045	2,17	4,83	5,04	1,01
<b>215</b>	<b>1ª Ar 3</b>	<b>1,4</b>	<b>9</b>	<b>046-054</b>	<b>1,66</b>	<b>3,80</b>	<b>10,97</b>	<b>1,22</b>
215	2ª Ar 4	1,6	10	055-063+068	2,35	3,57	12,19	1,22
<b>260</b>	<b>2ª Ar 5</b>	<b>1,8</b>	<b>4</b>	<b>064-067</b>	<b>2,61</b>	<b>4,22</b>	<b>4,03</b>	<b>1,01</b>
<b>175</b>	<b>1ª Ar 6</b>	<b>1,5</b>	<b>16</b>	<b>069-084</b>	<b>2,70</b>	<b>2,61</b>	<b>23,96</b>	<b>1,50</b>
175	2ª Ar 7	1,4	16	085-x16	2,61	2,53	23,96	1,50
185	1ª Ar 8	<b>1,7</b>	13	96-104+109-112	2,47	3,3	18,45	1,42

Conforme a Tabela 6.12, foram adotadas 5 (cinco) velocidades e consumidas 8 arestas para a usinagem completa de 73 (setenta e três) Cp, mostrados na Figura 6.8

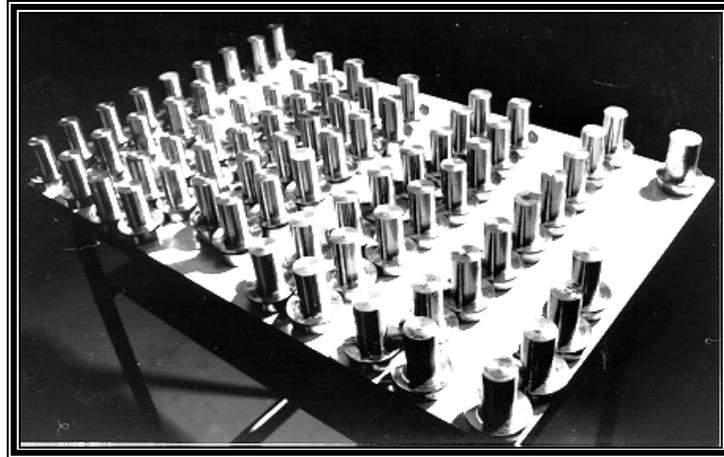


Figura 6.8 - Lote de Cp usinado para determinação do IME

Com estes parâmetros obtidos em função de  $v_{c1} = 260$  m/min, mais os mesmos parâmetros obtidos com  $v_{c2} = 215$ , tem-se os dados  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $Z_{T1}$ ,  $Z_{T2}$  e  $t_c$  para o primeiro par de velocidades ensaiadas,  $v_{c1}$ -  $v_{c2}$ . A aplicação destes dados aos modelos matemáticos, vistos no capítulo anterior, fornece valores para os coeficientes  $x$  e  $K$  e para as velocidades  $v_{mxp}$ ,  $v_{mclim}$  e  $v_{mc}$ . Como a  $v_{mclim}$  calculada não satisfaz a condição de estar contida no intervalo de velocidades ensaiadas, um novo par de velocidades foi ensaiado e novos valores para os parâmetros foram obtidos. A terceira velocidade ( $v_c = 215$ ) foi mantida para o segundo par de velocidades ensaiadas, formado pelas velocidades 215 e 175. Desta vez as velocidades ensaiadas contiveram a  $v_{mclim}$  calculada com os valores por elas fornecidos. Desta forma a  $v_{mclim}$  (185 m/min) é validada, podendo ser adotada como velocidade otimizada.

O  $t_{ft}$  usado nos cálculos foi estabelecido pela média do tempo gasto nas trocas das referidas 8 (oito) arestas, realizadas por 3 (três) operadores, conforme Tabela 6.13.

Tabela 6.13 – Obtenção de  $t_{ft}$

	$t_{ft}$ 1 (seg.)	$t_{ft}$ 2 (seg.)	$t_{ft}$ 3 (seg.)
Operador 1	21	36	27
Operador 2	35	38	44
Operador 3	44	32	-
Tempo médio para uma troca em min	<b>0,58</b>		

Tabela 6.14 – Valores empíricos para IME

Velocidade		Vida		Coeficiente		IME		
$v_{c1}$ m/min	$v_{c2}$ m/min	$T_1$ min	$T_2$ min	$x$	$K$	$v_{mc}$ m/min	$v_{mclim}$ m/min	$v_{mxc}$ m/min
215	260	10,97	4,03	5,3	2,12E+13	175	178	285
<b>215</b>	<b>175</b>	<b>10,97</b>	<b>23,96</b>	<b>3,8</b>	<b>7,80E+09</b>	<b>181</b>	<b>185</b>	<b>356</b>
175	260	23,96	4,03	4,5	3,00E+11	171	174	303

Para cada par  $v_{c1}$ -  $v_{c2}$  determinou-se  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $x$ ,  $K$  e velocidades otimizadas (Tabela 6.14).

De acordo com a Tabela 6.14, o valor determinado para  $v_{mclim}$  é 185 m/min. Utilizando-se dos modelos matemáticos é calculado para esta velocidade um  $Z_T$  esperado de 13,7 peças. Pelo critério do operador o  $Z_T$  realizado com tal velocidade foi de 13 peças.

Na Figura 6.9 é exibida a planilha de cálculos Excel, usada para a validação com base nos coeficientes obtidos em ambiente de chão de fábrica.

The screenshot shows an Excel spreadsheet titled "Microsoft Excel - Valid-F-Padrão [Compartilhado]". The main data table is as follows:

vc	MGC403	VB	Zt	Cp	Ra 1° Cp	Ra út. Cp	T	tc
215	1° Ar 3	1,4	9	046-054	1,66	3,80	10,97	1,22
215	2° Ar 4	1,6	10	5-063+06	2,35	3,57	12,19	1,22
260	1° Ar 2	1,5	5	041-045	2,17	4,83	5,04	1,01
260	2° Ar 5	1,8	4	064-067	2,61	4,22	4,03	1,01
175	1° Ar 6	1,5	16	069-084	2,70	2,61	23,96	1,50
175	2° Ar 7	1,4	16	085-x16	2,61	2,53	23,96	1,50
310	1° Ar 1	2,7	0	0	0	0	0,00	0,00
185	1° Ar 8	1,7	13	6-104-x109-11	2,47	3,3	18,45	1,42

Summary table (bottom right):

prod/hor	vc	t1	cust t1
31,0	356	0,938	0,44
25,0	185	0,938	0,44
24,7	181	0,938	0,44
22,1	149	0,938	0,44

Figura 6.9 – Tela do Excel para determinação de  $v_{mclim}$  em ambiente fabril

## 6.4 Análise de Tempos e Custos

A validação do modelo C, para otimização realizada durante a produção e em chão de fábrica, foi viabilizada para um par-ferramenta-peça, conforme item 6.3.

A análise comparativa referente à aplicação dos 3 (três) modelos de procedimentos propostos é baseada em resultados obtidos considerando os parâmetros utilizados neste mesmo item 6.3. Portanto, o lote 1 considerado é composto pelas 73 (setenta e três) peças anteriormente ensaiadas (somatório de  $Z_T$  da Tabela 6.12). Assim, os modelos A e B, para otimização baseada em dados de catálogos, são reaplicados considerando tal lote.

As velocidades para os modelos A e B são corrigidas em função da dureza do material disponível. O modelo de procedimentos C tem a  $v_{mclim}$  obtida com base nos coeficientes  $x$  e  $K$  determinados durante o processo de usinagem, qual seja  $v_c$  de 185 m/min. Para o modelo B, a  $v_{mclim}$  tem valor de 149 m/min. O modelo A é aplicado com  $v_c$  de 160 m/min. Para todos os modelos  $f$  é 0,25 mm/volta e  $a_p$  é 1 mm. O valor de  $f$  também foi alterado em função do controle de cavacos.

Conforme descrito, os valores de tempos e custos obtidos foram norteados por estes parâmetros e se constituem na base para análise.

Os resultados obtidos com aplicação dos três modelos, para o mesmo lote de 73 peças e mesma ferramenta (CNMG 120408-PM CG 4035), são comparados na Tabela 6.15.

A Tabela 6.15 foi construída com valores calculados pela planilha de cálculos do Excel, representada na Figura 6.10.

Pela Figura 6.10, pode ser observado que tempos e custos foram calculados para cada uma das 12 (doze) passadas de uma peça.

Conforme resultados apresentados na Tabela 6.15, o modelo A que adota valores para os parâmetros de corte sem aplicação dos modelos matemáticos para otimização das condições operacionais é o qual possui o maior custo/peça (R\$ 1,60), embora o tempo total por peça seja o intermediário ( $t_t = 2,63$  min). Este modelo também possui o maior consumo de arestas ( $n_a > 8$ ) e conseqüentemente o maior tempo gasto com suas trocas (0,063 min/peça). O custo relacionado ao consumo e trocas das arestas, por conseguinte é o maior ( $K_{t2} = 0,39$ ).



O modelo B, embora tenha otimizado  $v_c$ , o fez baseado em dados de catálogo e não considerando implicações do caso real. Por esta razão, reduz gastos com ferramentas, reduzindo o consumo de arestas ( $n_a = 6$ ). Isto contribui para que se cumpra a maior jornada ( $J_t = 200,02$  min) com menor custo que no caso A ( $K_z = R\$ 114,93$ ), mesmo com o maior custo do tempo de corte que é devido à menor velocidade. Deste modo, a diferença entre os resultados é pequena.

Para o modelo de procedimentos C, a velocidade selecionada (185 m/min) com base na experimentação, apesar de maior que nos casos A e B, representa resultados sempre melhores.

Os modelos propostos mesmo sem procedimentos para otimização das condições de corte, contribuem para reduzir tempo e custo de preparação, além de ferramentas e o número de suas trocas, permitindo melhor gerenciamento do processo de usinagem.

O custo relacionado à matéria-prima não é considerado na análise de tempos e custos, pois não dependem das condições operacionais. A análise limitou-se a custos operacionais.

Na verdade o custo real por peça deve ser calculado considerando todos os demais custos. Pelo método tradicional cada estação de trabalho deve ser considerada um centro de custos. Nesta situação os rateios necessários são inconvenientes. Para que  $K_p$  seja real, pelo método ABC, é necessário também que todos os demais custos sejam trazidos à operação, através do rastreamento dos recursos consumidos, como proposto por FONSECA & COPPINI (1995).

Por outro lado, o cálculo de custos como feito neste trabalho, considerando  $S_m$ ,  $K_{ft}$  e  $S_h$  da operação, se ajusta perfeitamente ao modelo apresentado na Figura 3.2 (COGAN, 1995).

O conceito de produtividade e de competitividade está relacionado com o acréscimo da produção em dado espaço de tempo, sem que haja acréscimo dos custos correspondentes, ou continuar produzindo o mesmo volume, mas reduzindo seu custo.

A Tabela 6.15 mostra que o mesmo número de peças é usinado em menos tempo e com menor custo, adotando a  $v_{m\acute{c}im}$  determinada em planta fabril, portanto mostra também que a proposta deste trabalho deve ser considerada, pois implica em produtividade e competitividade.

Desta forma, o modelo C é validado, viabilizando procedimentos para os demais 9 (nove) lotes e sugerindo resultados semelhantes.

## CAPÍTULO 7

### CONCLUSÃO

### E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

#### 7.1 Conclusões

Foram propostos e validados modelos matemáticos e de procedimentos, baseados nos conceitos de  $v_{mclim}$  e  $F_p$  para o cenário de fabricação flexível.

Os modelos mostraram-se, pelo menos na abrangência da validação praticada, instrumentos de vantagens em termos de custos e de orientação para a prática da usinagem em termos de definição do momento bom para troca de ferramenta.

Os modelos mostram-se viáveis para níveis de automação que dispensam a utilização de sensores sofisticados, porém, são adequados sempre que a utilização de tais instrumentos estiverem disponíveis.

O modelo proposto permite selecionar a velocidade de corte otimizada com base apenas no limite inferior do IME ( $v_{mc}$ ). Sempre que for mais vantajoso trabalhar-se com velocidades mais produtivas, mesmo incorrendo em maior custo, bastará adotar valores relativamente maiores, respeitados os valores limites impostos pela máquina ferramenta, pois nos sistemas flexíveis, a velocidade de máxima produção dificilmente representará a restrição mais crítica. A  $v_{mclim}$  mostrou-se como referência adequada, principalmente por estar sempre contida no IME e ser o maior valor de  $v_{mc}$  quando  $t_{ft}$  tende a 0 (zero).

Os sistemas tradicionais de custeio não se adequam à aplicação do modelo proposto neste trabalho devido às dificuldades e imprecisões na determinação dos parâmetros de

custos. Embora pese menor eficiência e eficácia, além de trabalho, um tratamento aos valores poderá capacitá-los. Entretanto, com a determinação desses parâmetros pela adoção do sistema de custeio (ABC), poderão ser conseguidos maior precisão e confiabilidade aos valores calculados, resultando em ferramenta alternativa e eventualmente poderosa para o gerenciamento do processo de usinagem.

O processo de otimização a partir de catálogos apresenta resultados próximos daqueles obtidos com dados sugeridos pelo fabricante, relativos à vida da ferramenta, em termos de tempo e custos totais. No entanto, a economia com ferramentas é bastante significativa.

A otimização praticada em chão de fábrica, durante a produção, revela-se como instrumento de produtividade.

A metodologia proposta permite ainda elevar o nível da capacitação profissional do operador, habilitando-o a determinar o momento de troca da ferramenta. Praticamente sem nenhum investimento em equipamentos de monitoramento, o momento de troca pode ser estabelecido por um número otimizado de peças usinadas, evitando desperdícios, quando é considerado a ocorrência do processo de usinagem em regime de semi-automação.

A introdução da ferramenta padrão, abre diversas perspectivas no sentido de proposição e análise de modelos para gerenciamento de ferramentas, organização de células de manufatura e tratamento de lotes de peças diferentes como um lote único a ser tratado com coeficientes modificados de Taylor. Permite introduzir otimização durante a organização da produção de acordo com os modernos conceitos de sistemas flexíveis de manufatura. O uso da FP significa introdução de melhorias em termos de gerenciamento de ferramentas, diminuição de custos pela economia não só do número menor de ferramentas utilizadas mas também, devido ao menor número de troca das mesmas. Após realizado o primeiro "setup", a máquina é dotada de flexibilidade "infinita", pois apenas trocas de arestas de corte da ferramenta padrão, serão necessárias. Mesmo sem os procedimentos de otimização das condições operacionais, o conceito de ferramenta padrão é uma alternativa de gerenciamento e planejamento, que racionaliza e otimiza a produção.

A fabricação poderá ser realizada dentro de um esquema de produção adequada ao cenário de manufatura flexível e sempre com possibilidade de trabalhar-se com o menor custo, pela adoção de condições operacionais otimizadas em ambiente fabril sem a interrupção da produção normal.

## 7.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Ao passo que os modernos conceitos de manufatura incentivam a melhoria contínua, este trabalho sugere avançar nas pesquisas, apresentando os seguintes projetos:

- estudar e viabilizar metodologia de tratamento de lotes completamente diferentes, como sendo lote único;
- estudar detalhadamente as implicações de adoção da ferramenta padrão;
- aplicar o modelo proposto em conjunto com sistemas especialistas e bancos de dados, bem como em outros processos ;
- avaliar o modelo proposto através de sistemas de monitoramento; procurar integrá-los;
- realizar estudos de casos.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ACEVEDO, O. M. D., BATOCCHIO, A. Metodologia para definição e avaliação de sistemas de medição de desempenho. *Máquinas e Metais*, v. 32, n. 375, p. 240-251, abr. 1997.
- BRIMSON, J. .A. *Activity accounting: an activity based costing approach*. New York: John Wiley & Sons, 1991, 214p.
- BROWN, C. R. O ferramental de troca rápida contribui para a competitividade de indústrias. *Máquinas e Metais*, ano 32, n. 378, p. 50-89, jul. 1997.
- CABRINI, S. L., MAESTRELLI, N. C., VANALLE, R. M. Preparação da produção (um modelo para processos de produção baseados na cultura kaisen). In: ENCONTRO DE MESTRANDO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, II, 1998, Santa bárbara d`Oeste. *Anais ...* Santa bárbara d`Oeste, PROMEP - UNIMEP, 1998, p.162-171.
- CAKIR, M.C., GURARDA, A. Optimization and graphical representation of machining conditions in multi-pass turning operations. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, v.2, n. 3, p. 157-170, July, 1998.
- CALARGE, F. L., AGOSTINHO, O. L. Um método baseado na análise de valor do processo aplicado a sistemas de manufatura. *Ciência & Tecnologia*, v. 4/1, n. 7, p. 17-29, 1995.
- CASTNER, M., PITSKE, A. Quick-change turns to lathes. *American Machinist*, v. 139, n. 9, p. 45-47, Sept. 1995.
- CHIN, Y. C., JOO, Y. S. Optimization of machining with practical constraint. *International Journal Production Research*, v. 30, n. 12, p. 2907-2919, 1992.
- CHING, H. Y. *Gestão baseada em custeio por atividades: ABM – activity based management*. São Paulo: Atlas, 1995. 124p.
- CHOW, W. S., HAWALESHKA, O. An efficient algorithm for solving the machine chaining problem in cellular manufacturing. *Computers & Industrial Engineering*, v. 22, n 1, p. 95-100, 1992.
- CHUA, M.S., RAHMAM, M., WONG, Y.S. Determination of optimal cutting conditions using design of experiments and techniques. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, v. 33, n. 2, p. 297-305, 1993.
- COGAN, S. *Activity based costing (ABC): a poderosa estratégia empresarial*. São Paulo: Pioneira, 1995. 129p.
- COLDING, B.N. Intelligent selection of machining parameters for metal cutting operations: the least expensive way to increase productivity. *Robotics & Computer – Integrated Manufacturing*, v.9, n.4/5, p. 407-412, 1992.
- COLOMBO, L. C. Custeio baseado em atividades: estudo de caso em uma fundição. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 18º, 1998, Niterói. *Anais ...* Niterói, Universidade Federal Fluminense - ABEPRO, 1998. (Cd-Rom)

- COLOMBO, Luiz Carlos. Análise ao Tratamento dado aos Custos Indiretos de Fabricação (CIF) – Um estudo de caso baseado no Sistema de Custeio ABC (activity based costing). São Paulo: EAESP-FGV, 1994. (Dissertação de Mestrado)
- COPPINI, N. L., BAPTISTA, E. A. Alternativas de otimização dos parâmetros de corte para cenários de fabricação em usinagem. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 18º, 1998, Niterói. *Anais ...* Niterói, Universidade Federal Fluminense - ABEPRO, 1998. (Cd-Rom)
- COPPINI, N.L., BATOCCHIO, M.C.A. Sistema especialista de banco de dados em usinagem para aplicação em planta fabril. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE ENGENHARIA MECÂNICA, 1993, Madrid. *Anais ...* Madrid, v. 4, p 247-251.
- COPPINI, N. L., FERREIRA, J. R. Custo de usinagem na seleção de ferramentas no torneamento de compósito PRF. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 16º, 1996, Piracicaba. *Anais ...* Piracicaba, Universidade Metodista de Piracicaba – ABEPRO, 1996. (Cd-Rom)
- COPPINI, N. L., FONSECA, E. M., MATTOS, A. V. Os sistemas de cálculo atuais e suas conseqüência no desempenho das empresas no mercado. In CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA, 13, 1995, Belo Horizonte. *Anais ...* Belo Horizonte, UFMG - Associação Brasileira de Ciências Mecânicas, 1995. (CD-Rom)
- COPPINI, N. L., MALAQUIAS, J. C. Velocidade de mínimo custo como condição suficiente para seleção da velocidade de corte otimizada. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA MECÂNICA NORTE NORDESTE, IV, 1996, Recife. *Anais ...* Recife, ABEPRO, 1996, p. 297-300, 1996.
- COPPINI, N. L., MIGUEL, P. C. A. Fator de contribuição de máquinas-ferramenta na composição de custo por peça, calculados com base em centros de custo. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA MECÂNICA NORTE NORDESTE, II, 1992, João Pessoa. *Anais ...* João Pessoa, ABEPRO, 1992, p. 371-378, jun. 1992.
- COPPINI, N.L., MIRANDA, G.W.A., FERREIRA, J. R. Cutting tool edge replacement criterion for optimized adaptive control purposes. In: Canadian Congress of Applied Mechanics, 16º, 1997, Québec. *Proceedings ...* Québec: Université Laval, 1997, v. 1, p.547-548, jun 1997.
- COPPINI, N.L, RIBEIRO, M.V. System and optimization of cutting conditions – CATA. In: Canadian Congress of Applied Mechanics, 16º, 1997, Québec. *Proceedings ...* Québec: Université Laval, 1997, v. 1, p.549-550, Jun 1997.
- COPPINI, N.L., RIBEIRO, M.V. Assistência técnica assistida por computador aplicada na seleção de ferramentas e parâmetros de usinagem. In CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA, 13, 1995, Belo Horizonte. *Anais ...* Belo Horizonte, UFMG - Associação Brasileira de Ciências Mecânicas, 1995. (CD-Rom)
- CORAL, E.; SELIG, P.M., POSSAMAI, O. Gerenciamento de custo através de sistemas baseados em processos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 16º, 1996, Piracicaba. *Anais ...* Piracicaba, Universidade Metodista de Piracicaba – ABEPRO, 1996. (Cd-Rom)

- CORRÊA, H. L., GIANESI, I. G. N. *Just-in-time, MRP II E OPT – Um enfoque estratégico*. São Paulo, Atlas, 1996. Capítulos 1- 3. p. 1-103.
- CORRÊIA FILHO, Antonio Nelson. *Proposta de um método para identificação do ferramental de grupo baseado em análise de agrupamentos*. Santa Bárbara d'Oeste: Centro de Tecnologia, Universidade Metodista de Piracicaba, 1998. 91p. (Dissertação de Mestrado)
- CORRÊIA FILHO, A. N., MAESTRELLI, N., BATOCCHIO, A. Um método simplificado para identificação de agrupamentos de peças e máquinas. *Máquinas e Metais*, v. 32, n. 383, p. 80-88, dez. 1997.
- CORRÊIA FILHO, A. N., MAESTRELLI, N. C., COPPINI, N. L. Identificação do ferramental de grupo. *Máquinas e Metais*, v. 35, n. 399, p. 46-74, abr 1999.
- COSTA, R. P., BRUNSTEIN, I. Um sistema de apoio às decisões de pequenas indústrias. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 18º, 1998. Niterói. *Anais ... Niterói*, Universidade Federal Fluminense - ABEPRO, 1998. (Cd-Rom)
- COWTON, C. J., WIRT, A. On the economics of cutting tools. *International Journal of Production Research*, v. 31, n. 10, p. 2441-2446, Oct 1993.
- DINIZ, A.E., et al. Otimização das condições de usinagem em células. *Máquinas e Metais*, v. 25, n. 281, p. 48-54, jun, 1989.
- DINIZ, A. E., COSTA, C. E. A corrente elétrica do motor da máquina mostra o fim de vida da ferramenta. *Máquinas e Metais*, v. 32, n. 354, p. 41-52, jul.1995.
- DINIZ, A E., MARCONDES, F. C., COPPINI, N. L. *Tecnologia da usinagem dos materiais*. São Paulo: Editora mm, 1999. 242 p.
- DINIZ, A. E., NORITOMI, P. Y. Influência dos parâmetros de corte na rugosidade. *Máquinas e Metais*, v. 34, n. 391, p. 92-101, ago 1998.
- DINIZ, A. E., NORITOMI, P. Y. Parâmetros de usinagem nos esforços de corte em aço. *Máquinas e Metais*, v. 35, n. 395, p. 92-100, dez, 1998.
- DOMINGUES, M.A., NAZZONI, R. Como a variação da velocidade de corte em tornos automáticos beneficia a produção. *Máquinas e Metais*, v. 35, n. 399, p. 186-192, abr, 1999.
- DOMINGUES, M.A., NAZZONI, R. Otimização do volume de produção com a variação da velocidade de corte em tornos automáticos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 16º, 1996, Piracicaba. *Anais ... Piracicaba*, Universidade Metodista de Piracicaba – ABEPRO, 1996. (Cd-Rom)
- DRUCKER, P. F. *Administrando para o futuro - os anos 90 e a virada do século*. São Paulo: Pioneira, 1995. 242 p.
- FERRARESI, D. *Fundamentos da usinagem dos metais*. São Paulo: Edgard Blücher, 1977. 751p.

- FONSECA, E. M., COPPINI, N.L. Metodologia prática para cálculo de custos de fabricação dentro da filosofia ABC. In CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA, 13, 1995, Belo Horizonte. *Anais ...* Belo Horizonte, UFMG - Associação Brasileira de Ciências Mecânicas, 1995. (CD-Rom)
- FONSECA, E. M., COPPINI, N.L. Bases para alocação de despesas dentro da filosofia de custo ABC. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 16, 1996, Piracicaba. *Anais ...* Piracicaba, Universidade Metodista de Piracicaba – ABEPRO, 1996. (Cd-Rom)
- FONSECA, N. V.; et al. The activity based costing (ABC) on rough part specification. *Journal of Brazilian Society Mechanical Sciences*, v. 17, n. 2, p.201-208, 1995.
- FORTULAN, M. R., RESENDE, M. O. O gerenciamento de ferramentas é importante dentro dos novos sistemas produtivos. *Máquinas & Metais*, v. 32, n.378, p.111-119, jul. 1997.
- HALLE, T. E. Maximize profits with computer models. *Manufacturing Engineering*, v. 119, n. 6, p.28-34, Dez. 1997.
- HERRERA, V. E., SCRAMIM, F. C. L., BATALHA, M. O. O activity based costing (ABC) como ferramenta gerencial: aplicação em uma mini-usina de leite. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 18º, 1998, Niterói. *Anais ...* Niterói, Universidade Federal Fluminense - ABEPRO, 1998. (Cd-Rom)
- KLUFT, W. Monitorando a ferramenta e visualizando o processo de corte melhora-se a produção. *Máquina & Metais*, v. 43, n. 378, p. 20-49, jul. 1997.
- KOULAMAS, C. A note on incorporating tool life variability in the geometric programming formulation of machining economics problems. *IIE Transation*, v. 26, n. 4, p.87-90, Jul. 1994.
- LIMA, A., VIEIRA JÚNIOR, M. Aquisição e análise de imagens utilizando recursos computacionais. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA UNIMEP/CNPQ, VIº, 1998, Piracicaba/Santa Bárbara d'Oeste. *Anais ...* Piracicaba/Santa Bárbara d'Oeste, UNIMEP - CNPQ, 1998, p. 145-146, 1998.
- MAESTRELLI, N. C., BATOCCHIO, A. Identificação de peças e máquinas que são gargalos em arranjos físicos celulares. *Máquinas e Metais*, v. 32, n. 353, p. 54-61, jun.1995.
- MARTINS, E. *Contabilidade de Custos*. São Paulo: Atlas, 1998. 388p.
- MARTINS, J.; BERNABE, H. A. S., COPPINI, N. L. Gerenciamento de custo baseado em atividades. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 16º, 1996, Piracicaba. *Anais ...* Piracicaba, Universidade Metodista de Piracicaba – ABEPRO, 1996. (Cd-Rom)
- MARTINS, J., COPPINI, N. L. Gerenciamento de custos baseado em atividades. In: ENCONTRO DE MESTRANDO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, I, 1997, Santa Bárbara d'Oeste. *Anais ...* Santa Bárbara d'Oeste, PROMEP - UNIMEP, 1997, p.11-19, 1997.

- MATSUMOTO, H. G., DINIZ, A. E. Torneamento do aço endurecido monitorado por emissão acústica e corrente do motor. *Máquinas e Metais*, v. 34, n. 391, p. 72-79, ago. 1998.
- MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick. *Proposta de um novo modelo de cálculo do custo por peça em centros de custos departamentais*. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, 1992. 149 p. (Dissertação de Mestrado)
- MIGUEL, P. A. C., COPPINI, N. L. Cost per piece determination in machining process: an alternative approach. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, v. 36, p. 939-946, 1996.
- MIRANDA, Gilberto Walter Arenas. *Uma contribuição para aplicações em controle adaptativo otimizado no torneamento*. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, 1997. 80p. (Dissertação de Mestrado)
- NAKAGAWA, M. *ABC - custeio baseado em atividades*. São Paulo: Atlas, 1995. 95p.
- NOVASKI, O. *Custos de Usinagem*. Campinas: UNICAMP, 1991. 149p.
- PALLEROSI, C.A. ; COPPINI, N.L. Durabilidade de ferramentas de corte na usinagem dos metais. *Metalurgia*, v31, nº215, p. 645-649, out. 1975.
- PALLEROSI, C.A.; COPPINI, N.L., VILELLA. R.C. Durability of cutting tools under true conditions. In: CANADIAN CONGRESS OF APPLIED MECHANICS, 13º, 1991, Winnipeg. *Proceedings ...* Winnipeg, Jun. 1991. p. 350-351.
- PAMPLONA, E. O. Distorções provocadas por agrupar atividades e recursos no sistema ABC. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 17º, 1997. Gramado. *Anais ...* Gramado: UFRGS-PPGEP - ABEPRO, 1997. (Cd-Rom)
- PIRES, J. R., DINIZ, A. E. Evitando o desperdício de ferramentas de tornar: uma aplicação em chão de fábrica. *Máquinas e Metais*, v.32, n. 370, p. 73-85, nov, 1996.
- QUEIRAZZA, G., MAESTRELLI, N. C. Desenvolvimento de um sistema de classificação e codificação para engenharia de projeto. In: ENCONTRO DE MESTRANDO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, I, 1997, Santa Bárbara d'Oeste. *Anais ...* Santa Bárbara d'Oeste, PROMEP - UNIMEP, 1997, p.32-40, 1997.
- QUEIROZ, A. A.; BOEHS, L., COUTINHO, S. A. L. Seleção de condições otimizadas de corte - "software" apoiado por banco de dados. In: SEMINÁRIO DE COMANDO NUMÉRICO NO BRASIL, VI, 1986, São Paulo. *Anais ...* São Paulo, SOBRACON, 1986, v.1, p.01.01-01.17.
- RAMOS FILHO, A. C. Evolução tecnológica e gestão do trabalho. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 18º, 1998, Niterói. *Anais ...* Niterói, Universidade Federal Fluminense - ABEPRO, 1998. (Cd-Rom)
- RIBEIRO, M.V., COPPINI, N.L. ATAC – Um banco de dados aplicado à usinagem. *Ciência & Tecnologia*, UNIMEP, v. 4/1, n 7, p. 65-74, 1995.

- RODRIGUES, A. C. S., DINIZ, A. E., COPPINI, N. L. Análise das condições operacionais visando a obtenção das condições de usinagem otimizadas. In: SEMINÁRIO DE COMANDO NUMÉRICO NO BRASIL, VII, 1987, São Paulo. *Anais ...* São Paulo, SOBRACON, 1987, v.1, p.03.01-03.06.
- RUCINSKI, Liane. *Um Estudo sobre a Similaridade de Conceitos entre os Métodos de Custeio ABC e UEP, e uma Proposta de Modelo de Gestão de Custos para os atuais Sistemas de Manufatura*. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, 1996. 81p. (Dissertação de Mestrado)
- RUCINSKI, L., LIMA, P. C. Um modelo de sistema ABC na manufatura aplicado em layout celular. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 16º, 1996, Piracicaba. *Anais ...* Piracicaba, Universidade Metodista de Piracicaba – ABEPRO, 1996. (Cd-Rom)
- RUCINSKI, L., LIMA, P. C. Um modelo de sistema ABC na manufatura aplicado em layout celular. *Máquinas e Metais*, v. 32, n. 375, p. 220-230, Abril, 1997.
- SANDVIK COROMANT. Ferramentas para torneamento. Sandviken, Sweden, 1995. 416p.
- SOUSA, M. M., DUARTE, M. A. V., MACHADO, A. R. Utilizando a vibração mecânica para monitorar a usinagem por fresamento. *Máquinas e Metais*, ano 32, n 379, p. 102-105, ago, 1997.
- TANI, G. Tool management in manufacturing systems equipped with CNC machines. *Produção*, v. 7, n. 2, p. 177-187, Nov. 1997.
- TAYLOR, F.W. *Princípios da administração científica*. São Paulo: Atlas, 1995. 109p.
- TEIXEIRA, I. S., TEIXEIRA, R. C. F. Activity based costing: um sistema de custeio para gestão da qualidade e produtividade. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 17º, 1997. Gramado. *Anais ...* Gramado: UFRGS-PPGEP - ABEPRO, 1997. (Cd-Rom)
- TEIXEIRA, I. S., TEIXEIRA, R.C.F. Uma análise de como implementar os princípios da filosofia jit. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 16º, 1996, Piracicaba. *Anais ...* Piracicaba, Universidade Metodista de Piracicaba – ABEPRO, 1996. (Cd-Rom)
- THELIN, OLSSON. Wear mechanisms and performance of cutting tools. AB Sandvik Coromant, s.l.p., s.d.
- TUBINO, D. F., DANNI, T. S. Uma proposta de sistema de avaliação operacional no ambiente just-in-time. *Máquinas e Metais*, v32, n 378, p. 120-130, jul. 1997.
- VIEIRA JR., Milton. *Avaliação da dureza de rebolos em trabalho através da emissão acústica na dressagem*. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, 1996. 140p. (Tese de Doutorado)
- VILELLA, Ronaldo de Castro. *Metodologia prática visando a otimização das condições de usinagem em células de fabricação*. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, 1988. (Dissertação de Mestrado)

WEINERT, K., MEISTER, D. Machining and tool wear. In: PRODUCTION ENGINEERING RESEARCH AND DEVELOPMENT IN GERMANY, 1995, Germany. *Proceedings ...* Germany, German Academic Society for Production Engineering, 1995, v.2, n. 2, p.1-6.

ZHOW, C., WYSK, R. A. An integrated system for selecting optimum cutting speeds and tool replacement times. *International Journal of Machine Tools & Manufacture – Design, Research & Application*, v. 32, n 5, p. 965-707. 1992.

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- ABDUL-KADER, W., AIT-KADI, D. On capacity estimation of a multiproduct production line using unreliable workstations. In: Canadian Congress of Applied Mechanics, 16º, 1997, Québec. *Proceedings ...* Québec: Université Laval, 1997, v. 1, p.533-534, Jun 1997.
- CARVALHO, A. C. B., et al. Proposta de pesquisa sobre o uso da simulação e sua aplicação com usuários. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 18º, 1998, Niterói. *Anais ...* Niterói, Universidade Federal Fluminense - ABEPRO, 1998. (Cd-Rom)
- COPPINI, N. L., COSTA, D.D. Raciocínio baseado em casos: uma ferramenta útil para a escolha de parâmetros de processo. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 16º, 1996, Piracicaba. *Anais ...* Piracicaba, Universidade Metodista de Piracicaba – ABEPRO, 1996. (Cd-Rom)
- COPPINI, N.L., PROTA, W.P. Metodologia para condições de usinagem otimizadas em fresamento de faceamento. In CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA, 13, 1995, Belo Horizonte. *Anais ...* Belo Horizonte, UFMG - Associação Brasileira de Ciências Mecânicas, 1995. (CD-Rom)
- FREITAS, A. L. P., COSTA, H. G. Seleção de ferramentas de corte para a usinagem utilizando o método electre. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 18º, 1998, Niterói. *Anais ...* Niterói, Universidade Federal Fluminense - ABEPRO, 1998. (Cd-Rom)
- HADDAD, R.B.B., LIMA, PC O uso do ABC como uma ferramenta de apoio à metodologia do problema de sequenciamento e sua função objetivo. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 16º, 1996, Piracicaba. *Anais ...* Piracicaba, Universidade Metodista de Piracicaba – ABEPRO, 1996. (Cd-Rom)
- LOBO, Y. R. O., LOBO C. E. A., LIMA, P. C. Uma proposta de integração de sistemas de informação já existentes ao modelo ABC. *Máquinas e Metais*, v.32, n. 379, p.109-118, ago. 1997.
- MACAHDÓ, A. R. Condições da interface cavaco-ferramenta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA, 11º, 1991, São Paulo. *Anais ...* São Paulo, ABCM, dez, 1991, p.381-387.
- ONYEAGORO, E. A. Group technology cell design: a case study. *Production Planning & Control*, v. 6, n. 4, p. 365-373, 1995.
- PEYRE, J. P., VINTERHOLLER, O. Revestidas por CVD ou PVD, as ferramentas têm vida melhor. *Máquinas e Metais*, v. 30, n 344, p. 68-79, set. 1994.
- SOUZA, R. Tool-provisioning strategies for flexible manufacturing systems. *Robotics & Computer-Integrated Manufacturing*, v. 13, n. 1, p.31-39, 1997.