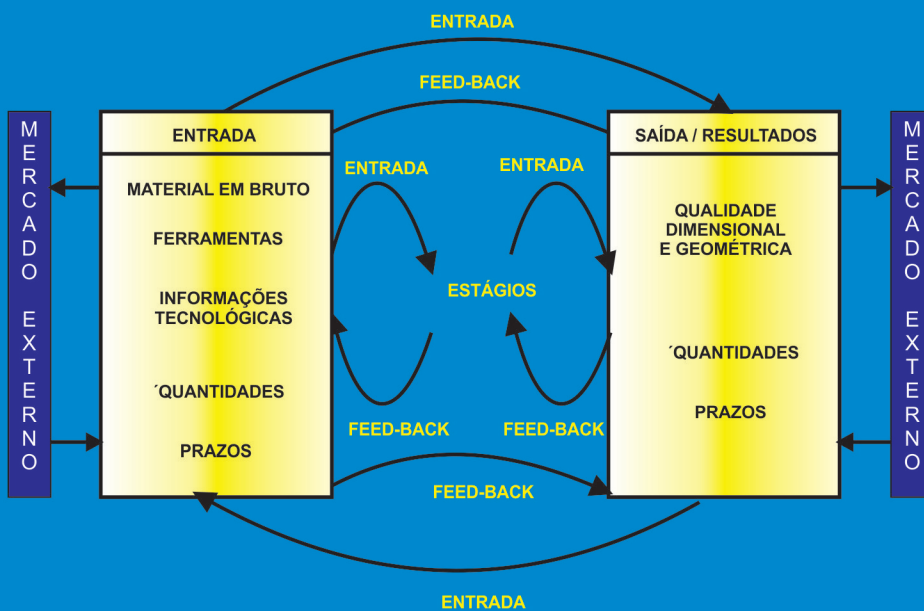


UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**OSWALDO LUIZ AGOSTINHO**



**SISTEMAS DE MANUFATURA**

Oswaldo Luiz Agostinho

**SISTEMAS DE MANUFATURA**

EESC/USP  
São Carlos  
2018

Ficha catalográfica elaborada pela Seção de Atendimento ao Usuário  
do Serviço de Biblioteca “Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes”

A275s                    Agostinho, Oswaldo Luiz  
                              Sistemas de manufatura [recurso eletrônico] / Oswaldo  
Luiz Agostinho. -- Dados eletrônicos. -- São Carlos :  
EESC/USP, 2018.  
349 p.  
Modo de acesso: World Wide Web.  
ISBN 978-85-8023-070-3 (e-book)  
DOI: 10.11606/9788580230703

1. Organizações de manufatura. 2. Tolerâncias de  
fabricação. 3. Roteiros de fabricação. 4. Sobremetal de  
usinagem. I. Título.

Eduardo Graziosi Silva – CRB-8/8907

Está autorizada a reprodução parcial ou total desta obra desde que citada a fonte.  
Proibido uso com fins comerciais.

## Dedicatória

A minha esposa Terezinha, pelo apoio e compreensão que sempre demonstrou.

A meus filhos Larissa, André e Rafael, pelo incentivo constante.





## Agradecimentos

Quero agradecer profundamente amigos e mestres que sempre incentivaram-me na jornada extensa que resultou nesta obra.

Professor Titular Rosalvo Tiago Ruffino, que orientou-me no caminho da precisão acadêmica necessária que resulta em rigor de conceitos.

Engenheiro e professor Antonio Carlos dos Santos Rodrigues, companheiro constante nos passos iniciais, tanto empresariais quanto acadêmicos, na direção da sistematização dos conceitos de Engenharia de Fabricação.

Professor João Lirani, companheiro nos passos iniciais na direção da sistematização dos conceitos de Engenharia de Fabricação.

Engenheiro Alberto Ferraz de Abreu, que nunca deixou de incentivar-me e lembrar-me da necessidade desta obra.

Profissionais da Engenharia de Processos de Equipamentos Clark Ltda., posteriormente Eaton Ltda., Divisão de Transmissões, que, com formação calcada no conhecimento prático (portanto tácito) iniciaram-me nesta parte do conhecimento da Engenharia.



## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	9
<b>1 MANUFATURA - ASPECTOS ORGANIZACIONAIS</b> .....	13
<b>1.1 Introdução</b> .....	13
<b>1.2 Sistema de manufatura como sistema de informação</b> .....	13
<b>1.3 Fluxo Geral de Informações</b> .....	14
<b>1.4 Manufatura – definições e modelos</b> .....	26
1.4.1 ENGENHARIA.....	28
1.4.2 CHÃO-DE-FÁBRICA (SHOP FLOOR).....	30
1.4.3 SUPORTE.....	32
1.4.4 NEGÓCIOS.....	32
1.4.5 INTER-RELAÇÃO ENTRE ATIVIDADES.....	33
<b>1.5 Organização da manufatura</b> .....	34
<b>1.6 Produção</b> .....	36
<b>1.7 Qualidade</b> .....	37
<b>1.8 Engenharia de fabricação</b> .....	38
<b>1.9 Fatores de influência nos sistemas de manufatura</b> .....	40
<b>2 MANUFATURA - ASPECTOS TECNOLÓGICOS</b> .....	43
<b>2.1 Introdução</b> .....	43
<b>2.2 Fundamentos da fabricação aplicados ao planejamento técnico</b> .....	44
2.2.1 O SIGNIFICADO DO PLANEJAMENTO TÉCNICO.....	44
2.2.2 PRINCÍPIOS DE FABRICAÇÃO.....	45
2.2.3 FABRICAÇÃO INTERCAMBIÁVEL.....	47
2.2.4 UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAL E MÁQUINAS.....	48
2.2.5 MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAL.....	49
2.2.6 AFERIÇÃO DE QUALIDADE.....	49
2.2.7 JUSTIFICATIVA ECONÔMICA DE FERRAMENTAL E MÁQUINAS.....	50
<b>2.3 Projetos de produto para manufatura – adequação de projetos a manufatura</b> .....	50
2.3.1 INTRODUÇÃO.....	50
2.3.2 PROJETO DE MONTAGEM.....	52
<b>2.4 Localização e alinhamento</b> .....	55
<b>2.5 Projeto dirigido à montagem</b> .....	58
2.5.1 DETALHAMENTO DAS PEÇAS.....	61
2.5.2 FABRICAÇÃO DE PEÇAS ANTES DA USINAGEM; PEÇAS SEM USINAGEM.....	62
<b>2.6 Peças usinadas</b> .....	74
<b>2.7 Padronização</b> .....	83
<b>2.8 Fatores que afetam os custos de produção</b> .....	86
<b>2.9 Metodologia para geração de roteiros de fabricação e operações utilizando-se regras de precedência</b> .....	87
2.9.1 METODOLOGIA.....	88
2.9.2 REGRAS DE PRECEDÊNCIA.....	90
2.9.3 APLICAÇÃO DAS REGRAS DE PRECEDÊNCIA NOS PASSOS DA METODOLOGIA.....	106

2.10 Exemplo de aplicação .....	109
<b>3 DIMENSIONAMENTO DE ROTEIROS DE MANUFATURA .....</b>	<b>117</b>
3.1 Introdução .....	117
3.2 Implicações organizacionais dos processos e roteiros de manufatura .....	119
3.3 Processos de Manufatura .....	121
3.3.1 OBJETIVOS E IMPLICAÇÕES .....	121
3.3.2 CONDIÇÕES PARA DIMENSIONAMENTO DO PROCESSO DE MANUFATURA.....	122
3.4 Planejamento de processos de manufatura .....	125
3.5 Roteiros de manufatura .....	131
3.6 Estruturação do processo de manufatura .....	140
3.6.1 OPERAÇÕES INICIAIS.....	141
3.6.2 OPERAÇÕES INTERMEDIÁRIAS.....	141
3.6.3 OPERAÇÕES FINAIS.....	141
3.7 Conclusão.....	142
<b>4 ANÁLISE DO DESENHO DA PEÇA.....</b>	<b>145</b>
4.1 Introdução .....	145
4.2 Análise do desenho do produto.....	145
4.3 Escolha das peças em bruto .....	147
4.3.1 INTRODUÇÃO .....	147
4.4 Peças não assimiláveis a sólidos de revolução .....	149
4.4.1 PEÇAS FUNDIDAS .....	150
4.4.2 PEÇAS SOLDADAS .....	155
4.4.3 PEÇAS FORJADAS .....	155
4.5 Peças estampadas.....	156
4.6 Peças assimiláveis a sólidos de revolução .....	159
4.6.1 EIXOS EM BRUTO.....	159
4.7 Forjamento de peças de revolução com relação $l / d$ menores que 1 .....	169
4.8 Critérios de seleção e utilização de peças em bruto.....	172
4.9 Peças não assimiláveis a sólidos de revolução .....	172
4.10 Peças assimiláveis a sólidos de revolução .....	172
<b>5 INTRODUÇÃO DO SISTEMA INICIAL DE REFERÊNCIA.....</b>	<b>179</b>
5.1 Introdução .....	179
5.2 Peças com comprimento $L$ maior que o maior diâmetro $D$ .....	181
5.3 Alternativas para a execução das operações de faceamento e centragem .....	185
5.4 Operações de facear em baixas séries .....	192
5.5 Operações iniciais para peças com $L/D$ menor que 1 .....	195
5.6 Operações iniciais para peças não assimiláveis a sólidos de revolução .....	198
5.7 Cunhagem.....	202
5.8 Observações.....	203
<b>6 SOBREMETAL DE USINAGEM .....</b>	<b>205</b>
6.1 Definições e conceitos básicos .....	205
6.2 Sobremetal mínimo necessário .....	209
6.3 Sobremetal mínimo operacional.....	221
6.4 Sobremetal máximo operacional $S_{iM}$ .....	223

6.5 Encadeamento de operações; tolerâncias e sobremetais operacionais .....	226
6.6 Sobremetais totais – sequência de operações encadeadas.....	234
<b>7 TRATAMENTOS TÉRMICOS.....</b>	<b>243</b>
7.1 Introdução .....	243
7.2 Tratamentos térmicos para usinabilidade.....	243
7.3 Tratamentos térmicos para propriedades finais.....	245
7.4 Consequências dos tratamentos térmicos.....	252
7.5 Conclusões .....	260
<b>8 EXERCÍCIO DE APLICAÇÃO.....</b>	<b>263</b>
8.1 Apresentação .....	263
8.2 Enunciado.....	264
8.3 Análise do desenho da peça.....	265
8.4 Seleção da peça em bruto.....	269
8.5 Planejamento do processo de manufatura .....	269
8.5.1 ROTEIRO FUNDAMENTAL.....	270
8.6 Detalhamento das operações do roteiro de manufatura .....	278
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>345</b>



## INTRODUÇÃO

O progresso tecnológico e os futuros desenvolvimentos de setores da Economia dependem dos avanços obtidos na fabricação de bens e no desenvolvimento de fabricação mais competitiva nas empresas fabricantes de bens de capital e de consumo.

De maneira geral, pode-se afirmar que a evolução tecnológica é caracterizada pela junção inseparável entre o projeto evoluído de produtos e o desenvolvimento de metodologias, métodos e modelos mais efetivos para sua fabricação. É condição necessária e suficiente que as especificações obtidas nos produtos físicos, após a sua fabricação, guarde relação biunívoca com as respectivas especificações constantes no seu desenho de produto. É preciso estabelecer o caminho lógico que leve das especificações do projeto de produto ao produto físico, mantendo-se biunívocamente as especificações do projeto do produto. A determinação estável desse caminho é imprescindível para que os produtos fabricados atendam o Princípio da Intercambiabilidade, com qualidade final estabelecida pelas especificações do projeto do produto, atendendo o Princípio da Qualidade, através do atendimento, nas peças fabricadas, das especificações expressas nas especificações constantes do seu respectivo desenho de produto.

O conhecimento empregado é, na sua maioria, de natureza tácita, ou seja, provém da experiência acumulada e da vivência ao longo do tempo de técnicos e engenheiros que militam nas áreas de manufatura e produção das empresas.

A constatação desse *status quo* gerou a motivação para se agrupar esses conceitos de modo a sistematizá-lo, e conseqüentemente facilitar o seu uso, transformando-o em conhecimento explícito.

A Engenharia de Processos de Fabricação emprega extensivamente ciências teóricas e aplicadas, sintetizando o seu conteúdo em conformidade com as necessidades e dificuldades da fabricação de bens.

Os princípios teóricos são desenvolvidos através da sistematização e generalização da pesquisa e experiências de produção e fabricação. Soluções abrangentes necessárias para questões que aparecem no planejamento de processos são possíveis somente quando embasadas em estudos aprofundados dos métodos de fabricação e de materiais. Conseqüentemente, o conhecimento de usinagem dos metais, conformação dos metais, tratamentos térmicos, obtenção



de peças plásticas, recobrimentos superficiais é parte importante da Engenharia de Processos. Deve-se ressaltar, no entanto, que não é escopo deste trabalho desenvolver os processos de fabricação nos seus aspectos fenomenológicos. Trata-se e desenvolve-se as características comparativas dos diferentes processos usados na fabricação de peças e montagens, afim de selecioná-los devidamente e empregá-los adequadamente em sequência de operações, sob condições definidas dos meios produtivos.

Portanto, quando os processos de fabricação são referenciados, deve-se entender a sequência de operações encadeadas para se fabricar uma determinada peça ou produto.

Esta obra, denominada Sistemas de Manufatura, aborda e sistematiza o conjunto de conhecimentos, iniciando-se pelos aspectos organizacionais e aspectos tecnológicos mais gerais, aprofundando-se em seguida na sistematização dos roteiros de fabricação, sistemas de referência para manufatura, escolha de peças em bruto, sobremetal de usinagem. Desenvolve-se, para consolidar a aplicação desses conceitos, um exercício completo de processamento de uma peça que compõe a caixa de mudança de velocidades de automóvel.

Prove-se conhecimento necessário não somente para o trabalho recorrente em suas atividades, mas também para atividades criativas nos campos de planejamento de novos métodos de fabricação, assim como no projeto e/ou seleção de novas máquinas e equipamentos que possam ser empregados na fabricação para se utilizar métodos produtivos mais eficientes.

Na concepção e desenvolvimento desta obra, foram tomados como referência duas publicações editadas pelo Departamento de Publicações da EESC USP, a saber:

- 1) Princípios de Engenharia de Fabricação – Processos de Fabricação – volume 1, inicialmente editado em 1978 , e constantemente publicado por vários anos , com demanda externa a EESC por profissionais militantes em diversas empresas.
- 2) Princípios de Engenharia de Fabricação – Processos de Fabricação – volume 2, inicialmente editado em 1982, dando continuidade aos assuntos tratados no volume 1.

A autoria dessas publicações é dos professores Oswaldo Luiz Agostinho, Antonio Carlos dos Santos Rodrigues e João Lirani, docentes da EESCUSP.

Atualiza-se e amplia-se os conhecimentos e práticas tratadas nessas publicações pioneiras, acrescentando novos conceitos originários dos trabalhos acadêmicos e vivência do autor em empresas fabricantes de auto peças .

Pretende-se, assim, dar continuidade nas publicações do Departamento de Engenharia de Produção, com o objetivo de prover conhecimento para a formação dos alunos que frequentam as disciplinas de Engenharia de Produção e Engenharia Mecânica. Em adição, fornecer aos profissionais das empresas fabricantes de bens conhecimentos necessários para a sistematização de sua produção, em busca de condições de competitividade nos mercados onde atuam.

São Carlos, Março de 2018.

Oswaldo Luiz Agostinho



## 1 MANUFATURA - ASPECTOS ORGANIZACIONAIS

### 1.1 Introdução

Os aspectos organizacionais dos Sistemas de Manufatura consideram a necessidade de entendimento da estrutura organizacional de uma empresa, assim como as várias interações entre os diversos conjuntos de informações que estão contidos no modelo lógico do Sistema de Manufatura. Este capítulo irá discutir essas interrelações, tanto internamente aos conjuntos que compõem o Sistema de Manufatura, quanto externamente a eles, advindas das conexões entre esses diversos conjuntos.

O encadeamento lógico entre os diversos conjuntos se dá através de troca de informações.

### 1.2 Sistema de manufatura como sistema de informação

Conforme se pode observar, o Sistema de Manufatura é constituído basicamente de três tipos de recursos:

#### - Recursos Físicos:

Os recursos físicos (máquinas, equipamentos, instalações, etc.) representam a parte fisicamente visível do Sistema de Manufatura; apesar de não ter capacidade de gerar bens por "moto próprio", representam o veículo (ou meio) pelo qual o Sistema transforma entradas (inputs) em saídas (outputs).

#### - Recursos Humanos:

Os recursos humanos representam o veículo pelo qual os recursos físicos irão transformar as necessidades que se apresentam (matéria-prima, conhecimento tecnológico, prazos, quantidades a serem atendidas) em produtos físicos. Ambos os recursos, tanto físicos quanto humanos, somente serão efetivos se disponibilizar o recurso articulador que dará sinergia e movimento a eles.

#### - Recursos de Informação:

Estes representam a parte não visível do Sistema de Manufatura; porém, através das informações que transitam pelas suas diversas partes, o Sistema de Manufatura, atua e exerce a sua função de produzir bens e serviços.

A capacidade do Sistema em transmitir informações reflete, com boa aproximação, o seu nível de organização. A adequação da organização, e como consequência, das informações que fluem internamente e externamente a ela para atender as necessidades de mercado ocorre por ajuste do seu estado organizacional, de tal modo que as informações transitem sinergicamente pelos diversos componentes do Sistema de Manufatura. Por ser uma condição estrutural, não é visível em primeira análise. **Quanto mais o Sistema de Manufatura prover e receber informações sinergicamente tanto mais as informações irão fluir sem interrupções, possibilitando que as necessidades externas transformem-se em produtos e serviços a serem oferecido pelo mercado consumidor. Consequentemente, a organização está provendo condições de competição no mercado em que atua.** Assim, maiores serão os seus "out-puts", na forma de produtos e volume de produtos e serviços entregues; como consequência, para os mesmos recursos, maior será a sua produtividade. Por isso, pode-se afirmar que:

**Um Sistema de Manufatura é, na sua essência, um sistema de informações. Sua capacidade de competir no mercado em que atua depende, essencialmente, da sinergia do fluxo de informações.**

### **1.3 Fluxo Geral de Informações**

Após as considerações do parágrafo anterior, será detalhado a seguir o Fluxo Geral das Informações nas organizações, composto pelo conjunto de processos que se iniciam com a prospecção externa dos mercados, evoluindo até a Política Econômica e Planejamento Estratégico das organizações.

O Fluxo Geral de Informações representa a sequência de informações que se inicia no mercado consumidor e termina na entrega desses produtos e/ou serviços ao mesmo mercado, conforme mostra a figura 1.1.



Figura 1.1 – Fluxo Geral de Informações de um sistema de manufatura  
Fonte: [7]

O Fluxo Geral inicia-se com as prospecções do Mercado, para auferição de parâmetros de atratividade do produto sendo oferecido, obtida pela interação da organização com seu respectivo mercado comprador. Utilizam-se metodologias para identificar as necessidades dos consumidores, respeitá-las e incorporá-las ao produto. Este tipo de enfoque é conhecido como Voz do Cliente, levando-se em conta a comparação feita pelos consumidores de vários produtos similares, antes de decidir pela escolha do produto de uma determinada organização. As informações assim prospectadas serão os dados de entrada para o dimensionamento do produto em questão.

A figura 1.2 esquematiza as atividades de geração do projeto do produto a ser posteriormente fabricado e entregue ao mercado consumidor:

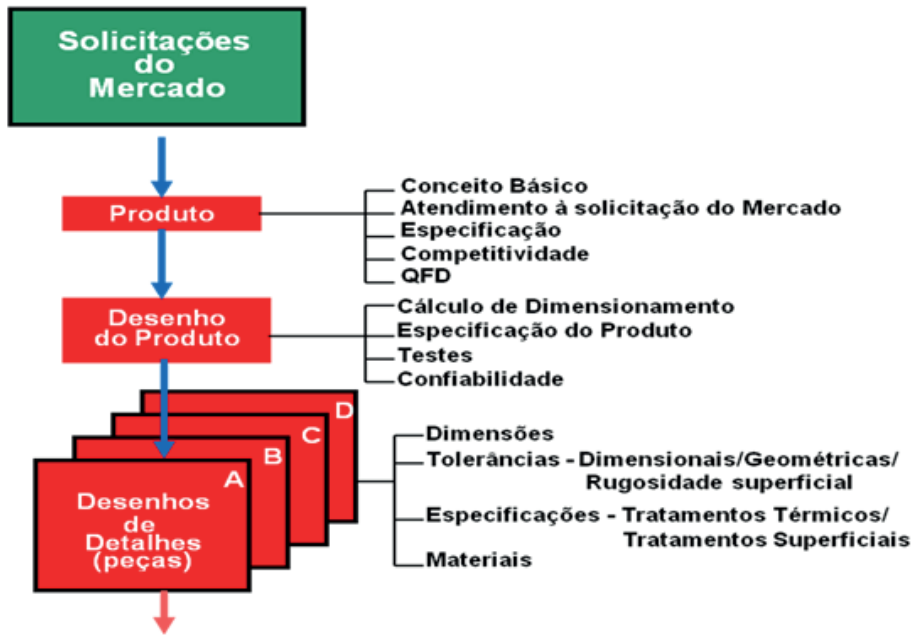


Figura 1.2 - Geração do produto

Fonte: [7]

Nessa fase são fixados os conhecimentos do **Produto** desenvolvido, como o conhecimento básico do produto, as especificações principais, os fatores do produto que irão permitir a sua competitividade nos mercados, além de suas condições de competitividade. São também fixados os cálculos de dimensionamento, especificações funcionais, além da realização dos testes de confiabilidade, para eventuais correções no projeto. Finalmente, são feitos os desenhos das peças, com fixação de tolerâncias dimensionais e geométricas, materiais, tratamentos térmicos e superficiais.

Assim, completa-se o pilar de **fixação do conhecimento do produto**, representando o conceito **do que fazer**.

A figura 1.3 representa a fase seguinte do Fluxo Geral de Informações, correspondente a criação dos meios de manufatura, com geração dos roteiros e processos de fabricação, para formalizar as instruções tecnológicas a serem seguidas, com o intuito de, a partir do material em

bruto, completar o ciclo de manufatura, com a obtenção da peça ou produto que atenda as especificações contidas no seu respectivo projeto de Produto.

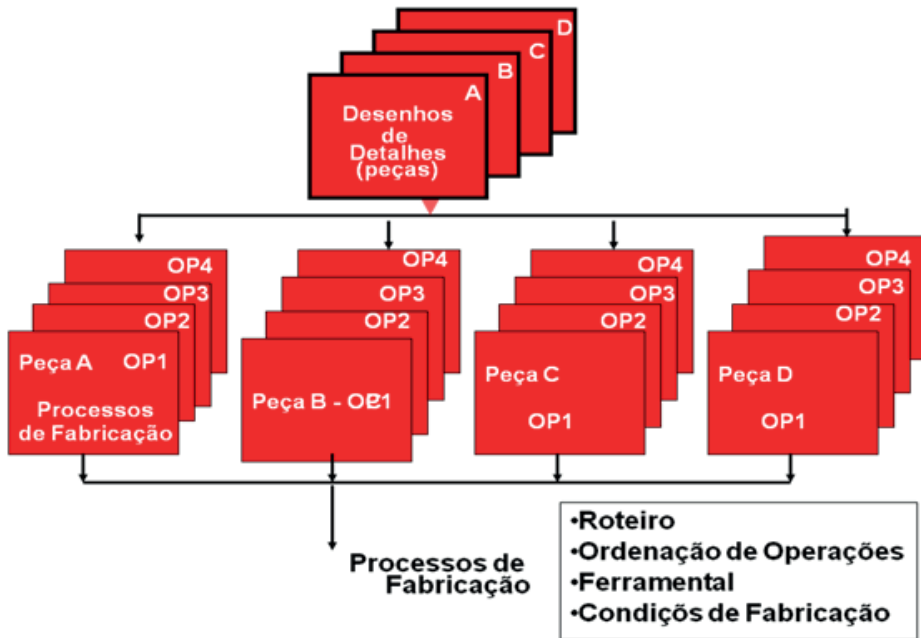


Figura 1.3 - Desenvolvimento dos meios de manufatura – roteiros, processos  
Fonte: Elaborado pelo autor.

Dentro do fluxo geral de informações do Sistema de Manufatura, **os processos de manufatura** desempenham papel importante como meio de fixação da tecnologia de Manufatura. Com a sua utilização, elimina-se principalmente a aleatoriedade de alternativas disponíveis, agregando-as em uma sequência ordenada de operações, baseadas em critérios tecnológicos. Assim, será possível assegurar-se que manufatura das peças seja feita, mantendo-se a qualidade exigida pelas especificações tecnológicas constantes no desenho de produto correspondente.

A fixação dos roteiros e processos de fabricação fixam o conhecimento de fabricação ou manufatura, ou **como fazer**, sendo considerado o pilar de fixação do **conhecimento da manufatura**.



Em sequência aos roteiros e processos de fabricação, determinam-se os tempos necessários para cada operação do roteiro, e conseqüentemente das peças e conjunto de peças que compõem o produto, conforme mostra a figura 1.4.

Cada operação do processo de manufatura fixa o restante das informações de manufatura, tais como condições de usinagem, roteiro da peça no parque de máquinas.

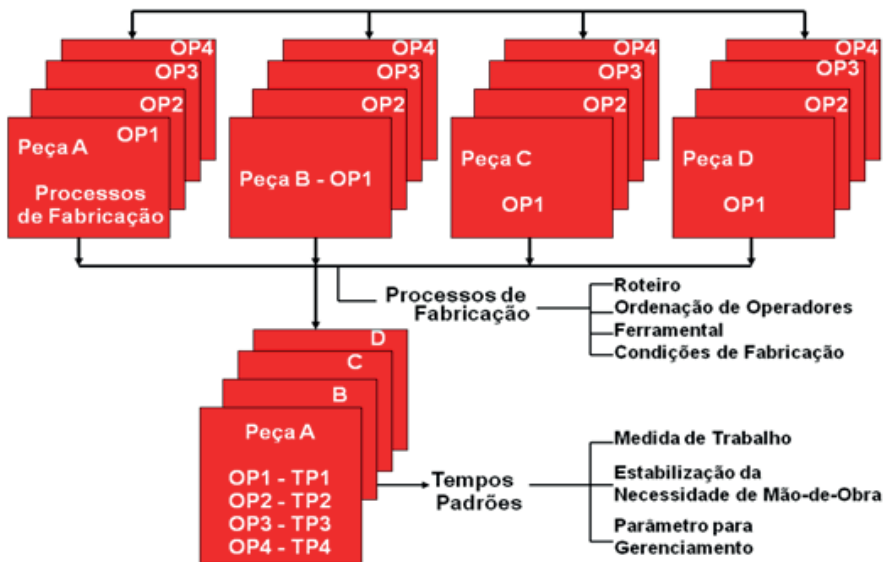


Figura 1.4 - Fixação dos tempos por operação

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os tempos de cada operação fixam a quantidade de trabalho necessária para operacionalizar determinada operação dos roteiros de fabricação.

A sua observação permite, além do controle gerencial da produtividade da empresa, também a fixação de custos de manufatura, necessidade de investimentos futuros, além do arranjo físico da instalação, etc. A fixação dos tempos de manufatura fixam o conceito de **com quanto fazer**, sendo considerado o pilar de fixação do **conhecimento de medida do trabalho e recursos**.

Os três pilares, **o que fazer, como fazer e com quanto fazer**, determinam o **Plano de Infraestrutura Tecnológica**, que instala as bases tecnológicas, as infraestruturas, os alicerces

para o desenvolvimento dos outros níveis e planos de gestão e controle do Sistema de Manufatura.

A figura 1.5 representa graficamente o Plano de Infraestrutura Tecnológica.



Figura 1.5 - Plano de Infraestrutura Tecnológica

Fonte: [7]

O fluxo de informações tem continuidade na figura 1.6, onde são determinados os ciclos de Manufatura de bens e Planejamento de volume e prazos de Produção, além da manufatura propriamente dita, ou seja, a efetivação das especificações do projeto das peças em produtos físicos.

Nesse estágio do fluxo geral de informações, são efetivados o **planejamento e realização da manufatura**. Para tal são empregados os seguintes conjunto de atividades e informações:

- Programas de Produção, com quantidades e datas de efetivação dos produtos sendo fabricados.
- Roteiros de operação das peças sendo fabricadas, com as suas respectivas operações.
- Tempos padrões correspondentes a cada operação de cada peça sendo fabricada.

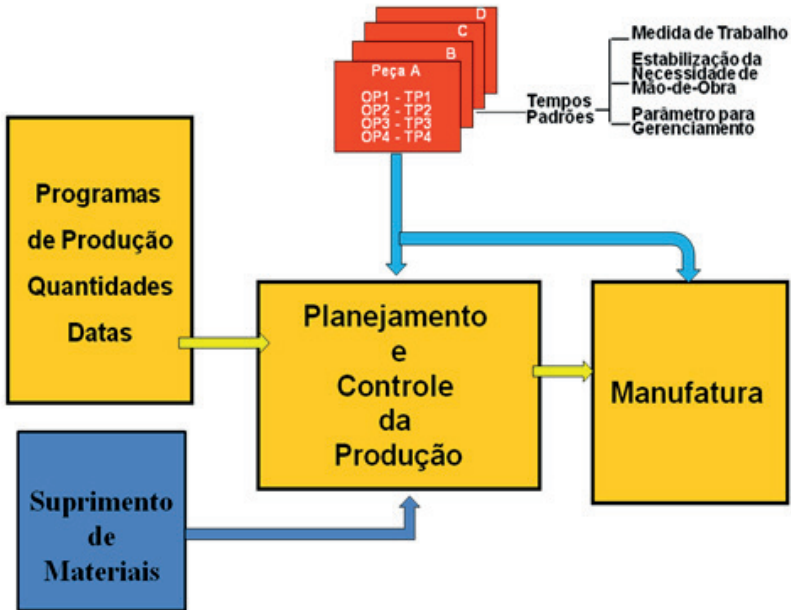


Figura 1.6 - Ciclos de planejamento e realização da manufatura

Fonte: [7]

Implementa-se a atividade de Planejamento de Produção, definindo-se e acompanhando as quantidades e prazos dos produtos serem fabricados, levando-se em conta tempos, roteiros das peças, tempos de espera, tempos de estocagem, além dos estoques de peças existentes, e fornecimento de materiais. Além disso, realiza a manufatura das peças a partir das informações de roteiros de fabricação, tempos de fabricação e quantidades planejadas e materiais.

Realiza-se a gestão dos recursos de manufatura, através de índices de controle gerenciais de eficiência, utilização de equipamentos e produtividade.

Não é objeto deste parágrafo detalhar as diversas metodologias de planejamento e controle de produção, e sim enquadrá-las logicamente no fluxo geral de produção.

**As atividades de Planejamento e Realização da Manufatura constituem um novo pilar**, ou ponto de apoio, que juntamente com **os pilares de Tempos e Roteiros de Fabricação**, determinam o **Plano de Gestão da Manufatura**, onde são efetivadas as principais atividades exercidas no conjunto de processos e atividades denominada Chão de Fábrica. Ressalte-se que o Plano de Gestão só pode ser efetivado se já estiver constituído o Plano de Infraestrutura

Tecnológica. A figura 1.7 expõe graficamente o Plano de Gestão, colocado em nível superior e suportado pelos pilares já citados.

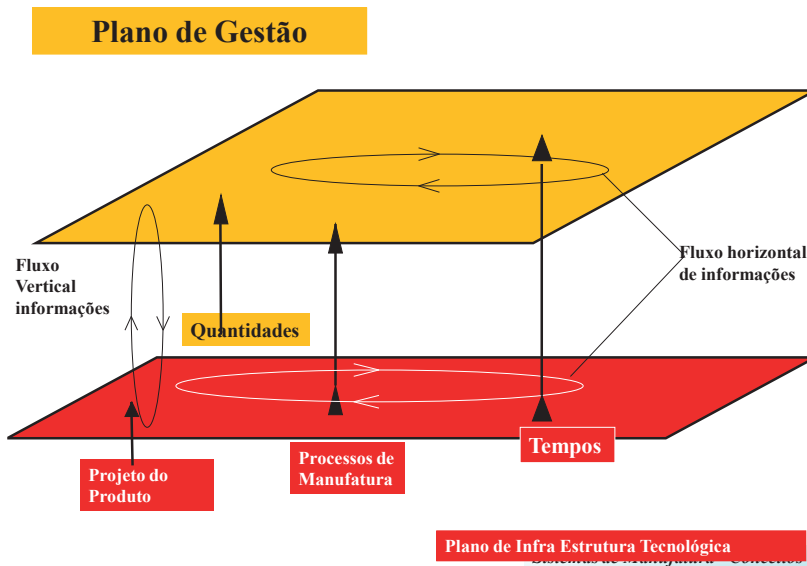


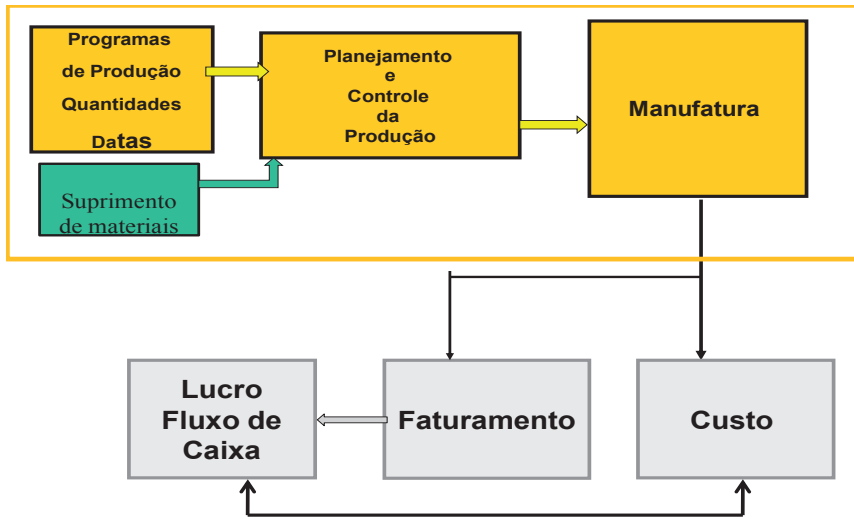
Figura 1.7 - Plano de Gestão

Fonte: [7]

Em continuidade ao fluxo geral de informações, realizam-se as atividades **Financeiras**, efetivadas a partir das informações de:

- Quantidades produzidas no período;
- Tempos padrões correspondentes as peças / operações sendo fabricadas;
- Materiais utilizados nos produtos;
- Despesas com salários, depreciação, compras, etc.

A figura 1.8 mostra o ciclo Financeiro, com suas atividades de Apuração de Lucro. Fluxo de Caixa, Faturamento e Apuração de Custos.



*Sistemas de Manufatura - Conceitos*

Figura 1.8 - Ciclo financeiro

Fonte: [7]

O **Plano Financeiro**, suportado pelos **pilares** ou pontos de apoio de **tempos, planejamento, e apuração de Despesas**, contem as atividades de apuração de custos diretos, custos indiretos e custos de suporte, faturamento, lucro e gestão de caixa. No Plano Financeiro faz-se a gestão econômico financeira da organização, executam-se as atividades de apuração de custos, faturamento, apuração de lucro e gestão do fluxo da caixa. A figura 1.9 mostra graficamente o Plano Financeiro, e suas relações com os Planos de Gestão e Plano de Infraestrutura Tecnológica.

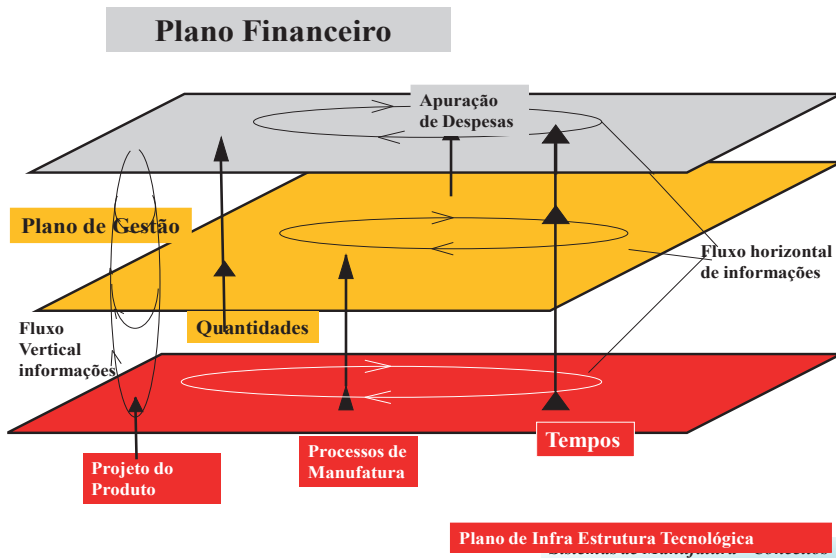


Figura 1.9 – Plano financeiro

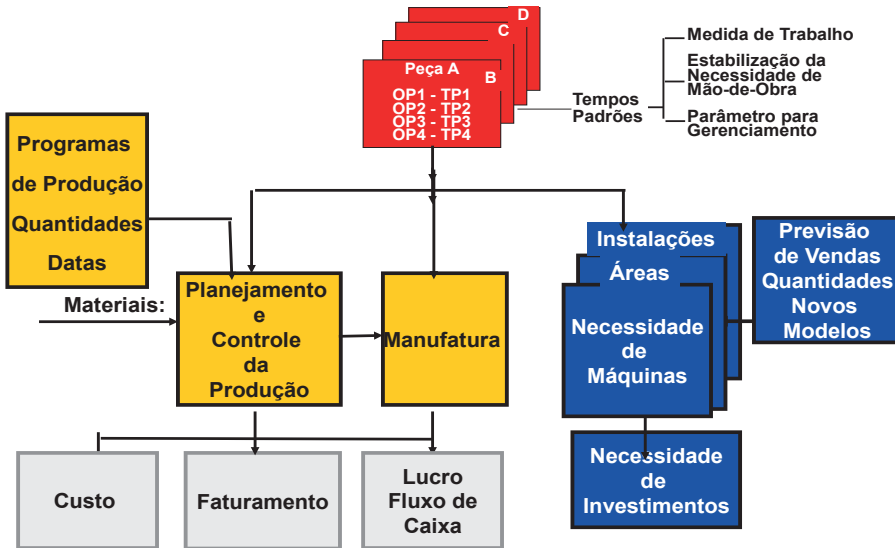
Fonte: [7]

Finalizando-se o fluxo geral de informações do sistema de manufatura definem-se as atividades de **Planejamento Estratégico e Política Econômica**, conforme definido abaixo:

- Determinação de necessidades de novos investimentos para atender demandas por novos produtos ou novos mercados.
- Determinação das novas necessidades de novos produtos, aumento de participação de mercado.
- Projeto de novas instalações, novas máquinas e equipamentos.
- Previsão de novos investimentos para os próximos anos – 2 a 5 anos

São as informações necessárias para o Planejamento Estratégico e Política Econômica, determinando um ponto de apoio para o Plano de Planejamento Estratégico e Política Econômica.

A figura 1.10 mostra essas atividades, quando relacionadas com as informações do Plano de Gestão e do Plano de Infraestrutura Tecnológica.



*Sistemas de Manufatura - Conceitos*

Figura 1.10 – Necessidade de novos investimentos

Fonte: [7]

Além das atividades já delineadas, o faturamento e apuração de custos, determinam **Plano de Planejamento Estratégico e Política Econômica**, cujas atividades definem o direcionamento estratégico da organização, em função das condições econômicas expressas pelo lucro e fluxo de caixa, e a necessidade de novos investimentos em produtos, pesquisa e desenvolvimento e fixação estratégica em novas áreas geográficas ou novos mercados ou eventualmente nichos de mercado. São elas:

- Elaboração do Planejamento Estratégico a partir de dados financeiros e fatores estratégicos. O Planejamento Estratégico compõe-se de estratégias que direcionam a organização nas seguintes tendências:
  - Determinação de áreas de atuação.
  - Desenvolvimento e fixação de novos mercados.
  - Projetos de novas instalações.
  - Alteração do portfólio de produtos.

- Elaboração da Política Económico-Financeira, que também referênciam-se nos dados financeiros correntes, além de projeções de faturamento, lucro, etc. para projetar a lucratividade no médio e longo prazos e fluxo de caixa suficiente para cobrir obrigações financeiras operacionais e de novos investimentos.

Os Planos de Infraestrutura, Gestão, Financeiro e de Planejamento Estratégico e Política Económica formam o arcabouço organizacional das empresas. O arcabouço organizacional é mostrado graficamente na figura 1.11.

Observa-se que o Plano de Infraestrutura Tecnológica representa o alicerce desse arcabouço, o qual permite a viabilidade e a estabilidade de todos os outros planos.



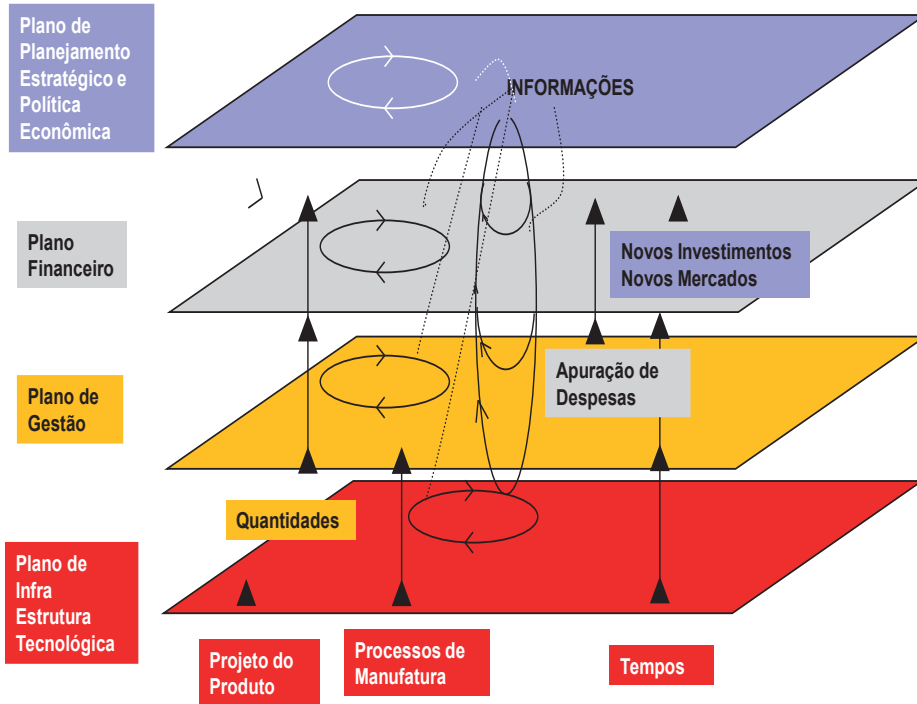


Figura 1.11 - Arcabouço organizacional  
Fonte: [7]

#### 1.4 Manufatura – definições e modelos

Define-se **manufatura de bens** como um sistema que integra seus diferentes estágios necessitando para isso dados de entrada definidos para se obter resultados esperados.

O modelo genérico de Manufatura é mostrado na figura 1.12.

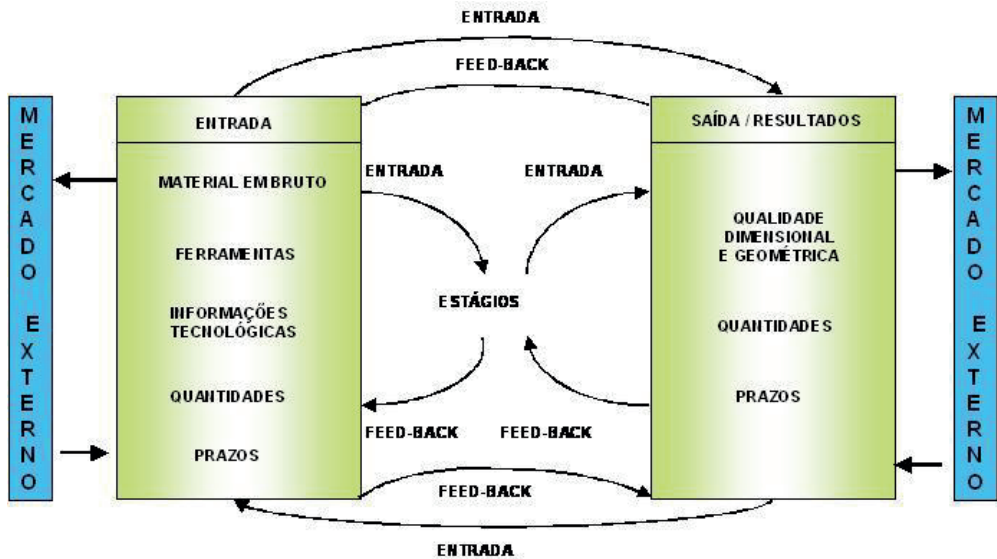


Figura 1.12 - Sistema de manufatura – modelo genérico

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme foi esquematizado na figura 1.12, o percurso da entrada até a saída será composta por vários estágios.

Os **estágios** caracterizam o caminho pelo qual os produtos vão de seu **início (entrada)**, até a **saída (resultados)**. É evidente que, quanto maior for o número de estágios, maior será o tempo associado; o tempo associado necessário para se perfazer todos os estágios será definido como tempo de manufatura total, ou lead time.

Cada estágio pode ser caracterizado por **dados de entrada (inputs)**, **seqüência de atividades, saídas (outputs)**, e **retorno de informações (feed back)**, para o estágio anterior.

Um modelo simplificado do Sistema de Manufatura é descrito na figura 1.13:

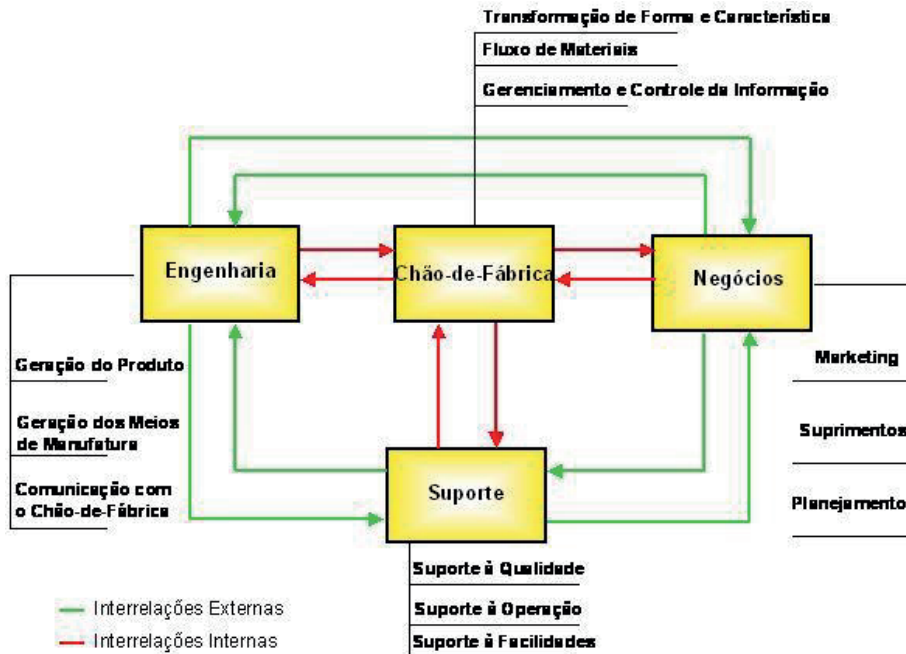


Figura 1.13 - Sistema de manufatura  
Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da definição de manufatura como sistema, este pode ser entendido como composição do seguinte conjunto de processos de negócio e atividades componentes (figura 1.13).

- Engenharia
- Chão de Fábrica
- Negócios
- Suporte

Desenvolvendo-se cada uma dessas macro atividades, tem-se:

#### 1.4.1 ENGENHARIA

A atividade correspondente à Engenharia é responsável pela criação e desenvolvimento dos produtos a serem fabricados, assim como o desenvolvimento dos meios de manufatura necessários (processos de fabricação, ferramental, equipamentos, etc.). Esta atividade deve englobar as Engenharias de Produto e Fabricação, como são conhecidas hoje nas organizações

industriais tradicionais. A atividade de Engenharia pode ser desdobrada nas subatividades principais.

- **Geração do produto**

Na subatividade de geração do produto, pode-se estabelecer outras subatividades a ela subordinadas, tais como:

- *Projeto Conceitual*

Nesta fase são feitas as interações com o mercado, onde são definidas as características preliminares do produto.

- *Projeto Básico*

Envolve o uso de conhecimentos tecnológicos e ciência básica, que serão incorporados ao produto, para cumprimento de suas funções, além dos cálculos de dimensionamento.

- *Projeto Preliminar*

Envolve a concepção preliminar do produto, e avaliação de sua viabilidade, através de interação com as áreas de engenharia de manufatura.

- *Projeto Detalhado*

Corresponde ao detalhamento dos desenhos; o tipo de conhecimento empregado é de conteúdo tecnológico, diferenciando-se bastante do projeto básico.

- *Projeto Teste Funcional e Comprovação de Confiabilidade*

Corresponde à fase de testes de campo, sob condições de operação. Pode-se ter nesta fase, alterações substanciais do projeto básico, em função de requisitos de confiabilidade.

- **Geração dos Meios de Manufatura**

Na subatividade de geração dos meios de manufatura pode-se estabelecer outras subatividades a elas subordinadas, tais como:

- *Definição do Roteiro de Manufatura*

A definição do roteiro estabelece a lógica geral de passagem das especificações do produto até a fabricação da peça; leva em conta, como consequência, os recursos e limitações de máquinas e equipamentos disponíveis.

- *Definição do Processo de Manufatura*

A partir do roteiro, estabelecem-se os documentos detalhados, que fixam dimensões intermediárias, ferramental utilizado, etc.

- *Determinação das Condições Operacionais e Tempos de Manufatura*

Inclui a determinação de tempos de montagem (set-up), tempos padrões para as operações do roteiro, condições operacionais (usinagem, montagem, etc.).

- *Comunicação com o Chão-de-Fábrica*

A subatividade de comunicação com o chão-de-fábrica proverá os meios de se repassar, para o chão-de-fábrica, as tecnologias de produto e manufatura estabelecidas nos itens anteriores. Essa comunicação poderá ser feita por meios manuais, na forma de papel, ou através de formas eletrônicas ou computacionais, conforme será vista no capítulo de Automação.

#### 1.4.2 CHÃO-DE-FÁBRICA (SHOP FLOOR)

As atividades correspondentes a Manufatura, também conhecidas como "Chão-de-Fábrica" ou "Shop Floor", são responsáveis por fabricar os produtos determinados nos prazos e quantidades determinadas. Os recursos disponíveis, além das máquinas e equipamentos, são também a mão-de-obra direta (operadores) e indireta (suporte diretamente relacionado à manufatura). Atividades de suporte direto à manufatura, seja tecnológico ou administrativo, fazem parte destas atividades.

A atividade correspondente ao chão-de-fábrica pode ser subdividida em 3 subatividades:

- *Transformação de Forma e Características das peças*

A subatividade de transformação de forma e característica inclui tecnologias de máquinas ferramenta, processos, ferramentas, dispositivo, sensores e controle, utilizados para fabricar e montar um determinado produto, além do próprio pessoal empregado. Inclui também tecnologias de carga e descarga.

A transformação de forma e características das peças será efetuada em estações de trabalho, quer variam com a operação a ser feita, de acordo com o roteiro de fabricação, dentro dos seguintes tipos:

- usinagem
- conformação a quente
- conformação a frio

- tratamentos térmicos
- tratamentos químicos
- montagem

Na subatividade de carga e descarga, faz-se a alimentação das peças nas estações de trabalho. Esta poderá ser feita:

- manualmente
- automaticamente, através de dispositivos mecânicos rígidos ou programáveis.

- *Fluxo de Materiais*

A subatividade de fluxo de inclui tecnologias de armazenagem e transporte, destinadas aos processos de suprimento, administração de inventários e remoção de resíduos.

O transporte das peças até as estações de trabalho para posterior carregamento poderá ser feito por:

- transporte manual
- transporte automatizado, através de dispositivos de transferência mecânica (ou rígida) e programáveis

A estocagem de peças e/ou ferramental poderá ser efetuado por armazéns controladores de estoques, durante o fluxo produtivo ou em localizações centralizadas. A sua alimentação, analogamente às subatividades anteriores, poderá ser feita manualmente ou automaticamente, seja por elementos mecânicos (rígidos), ou programáveis.

- *Gerenciamento e Controle da Informação*

O gerenciamento e controle da informação inclui tecnologias de planejamento, programação, supervisão, monitoramento, coordenação, análise e reportagem; são utilizadas para controle de processos, de fluxo de material direto, status de reportagem de manufatura, e análise de desempenho da manufatura, aqui entendida no chão-de-fábrica.

### 1.4.3 SUPORTE

O Suporte às atividades de chão-de-fábrica é responsável por manter o seu desempenho e característica; tanto de qualidade quanto operacionais dos equipamentos. Assim ela poderá ser subdividida nas subatividades:

- *Suporte à Qualidade*

Deve prover meios para manter controlada e estável a qualidade dos produtos; a qualidade dos produtos é sempre expressa na forma de especificações nos desenhos, tais como dimensões, tolerâncias, materiais, tratamentos térmicos, etc. Deve incluir tecnologias de controle estatístico do Processo de Fabricação, sensoriamento, medição "on-line", etc.

- *Suporte à Operação*

Deve prover meios para manter os equipamentos e instalações do chão-de-fábrica em condições operacionais adequadas; normalmente essas atividades são entendidas como manutenção, tanto dos equipamentos, quanto das instalações.

- *Suporte à Facilidades*

Deve prover meios para manter as facilidades do chão-de-fábrica em condições operacionais adequadas. Entende-se por facilidades: ar comprimido, energia elétrica, etc.

Em alguns casos parte dessas atividades, mais diretamente ligadas ao chão-de-fábrica podem estar incorporadas a ele.

### 1.4.4 NEGÓCIOS

A atividade de Negócios deve ser a interface do Sistema de Manufatura com o mundo exterior, tanto do mercado consumidor (clientes) quanto do mercado supridor (fornecedores). Assim, ela compreenderá as subatividades de:

- *Marketing*

Provê a conexão entre o Sistema de Manufatura e o mercado consumidor, sendo responsável por pesquisas de mercado, definição das necessidades do mercado, com participação ativa na definição conceitual dos produtos. Deve prover informações sobre:

Estabilidade dos Produtos Produzidos

Tendência à diversificação

Vida útil dos produtos

Alterações de quantidades nos curto, médio e longo prazos.

- *Suprimentos*

Provê a conexão entre o Sistema de Manufatura e o mercado supridor. É sempre diretamente afetado pelas subatividades de Marketing e atividade de Engenharia; deverá suprir respostas para:

variação de especificações, materiais e peças conseqüentes da queda de vida dos produtos e sua diversificação.

desenvolvimento de confiabilidade de suprimento em termos de qualidade, quantidades e prazos de entrega.

- *Planejamento*

A atividade de planejamento e controle da manufatura será responsável pela ligação da atividade de negócios ao Chão-de-Fábrica. Em vários casos, em empresas com conceitos de integração de funções mais definido, as atividades de planejamento fino e controle da manufatura podem estar integradas às atividades de manufatura.

#### 1.4.5 INTER-RELAÇÃO ENTRE ATIVIDADES

As diversas atividades do Sistema de Manufatura devem se classificadas tanto pela sua inter-relação interna como pela sua inter-relação externa.

São consideradas **inter-relações internas** e seus respectivos vínculos operacionais:

	<b>Relação</b>	<b>Vínculo</b>
Engenharia	<input type="checkbox"/> Chão-de-Fábrica	. Engenharia de Fabricação
Negócios	<input type="checkbox"/> Chão-de-Fábrica	. Planejamento e Controle da Manufatura
Suporte	<input type="checkbox"/> Chão-de-Fábrica	. Engenharia externa da Qualidade/ Manutenção

São consideradas **inter-relações externas** e seus respectivos vínculos operacionais:

	<b>Relação</b>	<b>Vínculo</b>
Engenharia	<input type="checkbox"/> Negócios	. Marketing (para novos produtos)



			. Suprimentos (para desenvolvimento de fontes de suprimentos)
Engenharia	<input type="checkbox"/>	Suporte	. Engenharia de Qualidade (especificações) . Manutenção (previsibilidade dos equipamentos)
Negócios	<input type="checkbox"/>	Suporte	. Engenharia de Qualidade (qualificação de suprimentos e política de qualidade)

As quatro atividades citadas devem relacionar-se sinergicamente entre si para viabilizar a operação do Sistema de Manufatura como um todo; as inter-relações internas e externas e seus respectivos vínculos operacionais são os responsáveis pela operação do Sistema de Manufatura.

### 1.5 Organização da manufatura

Dentro da organização pela qual processam-se e produzem-se produtos, existem alguns níveis de informação tecnológica que representam as bases das quais as suas atividades serão organizadas. Essas informações podem ser classificadas em:

- a. Desenhos que representam o formato final do produto, tanto do conjunto quanto de detalhamento para todas as peças serem fabricadas. Estes desenhos são os documentos nos quais está fixada a tecnologia de produto da empresa.
- b. Roteiros e processos de manufatura, onde se fixa parte da tecnologia de manufatura da empresa. Estes parâmetros fixam o restante das informações de manufatura, tais como condições de usinagem, roteiro da peça no parque de máquinas, etc.
- c. Tempos necessários para cada operação do processo de manufatura. Os tempos fixam a quantidade de trabalho necessária para operacionalizar determinada operação dos roteiros de fabricação.

A sua observação permitirá, além do controle gerencial da produtividade da empresa, também a fixação de custos de manufatura, necessidade de investimentos futuros, além do arranjo físico da instalação, etc.

A figura 1.14 representa esquematicamente o fluxo geral da informação num Sistema de Manufatura. Partindo-se do fluxo geral das informações do sistema de manufatura já visto, é possível particularizá-lo e detalhá-lo, especificando-se os processos de negócio e atividades

básicas de Marketing, Engenharia de Produto, Engenharia de Fabricação, Produção e Controle de Qualidade, com seu fluxo e “feedback” de informações. Desse fluxo particularizado, pode-se visualizar que atividades interligadas necessariamente devem prover “feedback” (Ex.: Eng<sup>a</sup> de Produto, Eng<sup>a</sup> de Fabricação; Engenharia de Fabricação e Produção, etc.). O “feedback” mais externo deverá ser entre o mercado consumidor e o Sistema de Manufatura, através da atividade de Marketing.

Ressalte-se que todo sistema de informações só mantém vitalidade se tiver feed back conveniente e contínuo, estruturado de forma procedural.

Dentro desse diagrama funcional, que representa com bastante aproximação a organização da grande maioria das indústrias fabricantes de peças e equipamentos observa-se que alguns setores ou departamentos desempenham papel fundamental:

- **Engenharia do Produto ou de Projetos**

A partir das informações de funcionamento, desempenho, vida útil, etc., a Engenharia do Produto deverá:

- a) Definir dimensões, tolerâncias, seja de ajuste ou de forma e posição, acabamentos superficiais, tratamento térmico ou químico, recobrimento superficiais, etc.
- b) Testar os protótipos a fim de testar sua funcionalidade e qualidade. Após estas etapas, o desenho do produto é então definido, devendo ser respeitado em todas as fases subsequentes da fabricação. Pronto, o desenho do produto deverá ser então liberado para produção normal.

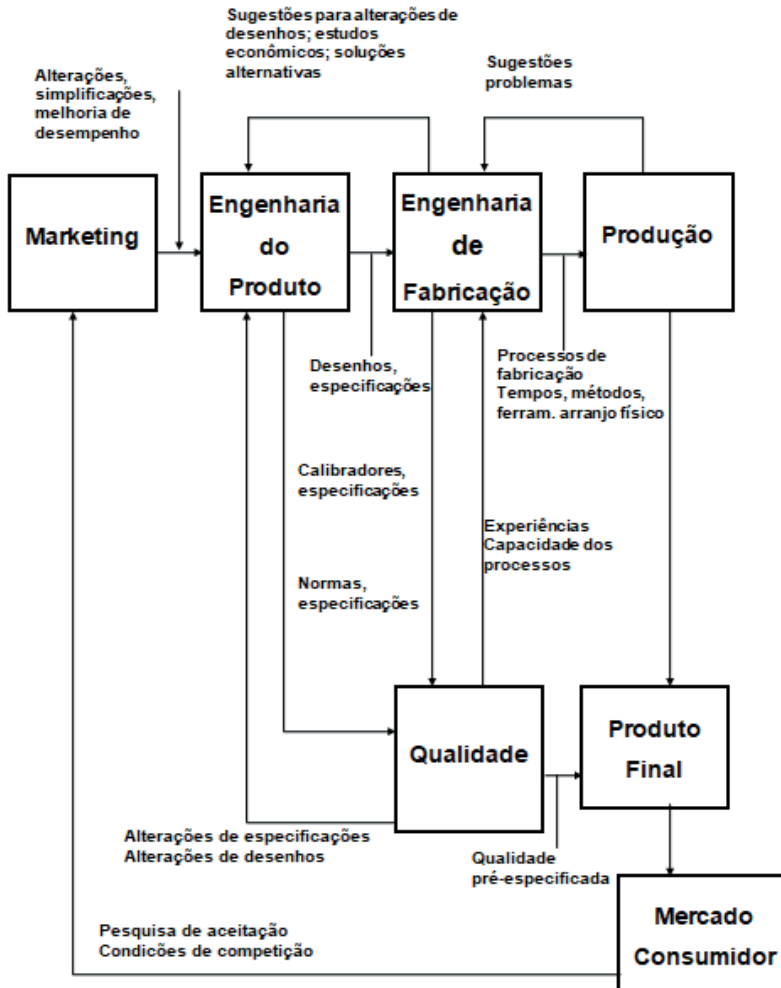


Figura 1.14 - Fluxo das informações no sistema de manufatura

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 1.6 Produção

A este conjunto de processos de negócio e atividades cabe a função de produzir as quantidades programadas dentro do prazo definido, dispondo de máquinas e mão de obra para este fim. Naturalmente, dentro de sua função específica de produzir peças, cumprindo um determinado programa estabelecido de acordo com as necessidades de venda, esta função deverá

ser subsidiado com informações técnicas bastante detalhadas com previsões e antecipações de todos os eventuais problemas. Suas principais preocupações devem ser:

- a) Manter o nível de peças rejeitadas dentro dos limites permissíveis;
- b) Manter a eficiência das máquinas dentro de limites aceitáveis, ou seja, o tempo de fabricação das peças deve ser o mais próximo possível do tempo padrão pré-estabelecido;
- c) Gerenciar os ativos, de modo que as horas utilizadas para produzir sejam bastante próximas das horas disponíveis de produção;
- d) Determinar lotes econômicos de fabricação;
- e) Otimizar o fluxo das peças em fabricação, a fim de diminuir seu ciclo. Quanto menor for o tempo necessário para que a matéria prima se transforme em produto final, maior será a aceitabilidade daqueles produtos devido à diminuição do inventário de materiais em processo.

### **1.7 Qualidade**

Para que se assegure que a peça no fim do seu ciclo de fabricação, seja uma cópia fiel do desenho originado em Produto, haverá necessidade de pessoal que faça cumprir as exigências dimensionais, metalúrgicas e especificações técnicas nela contidas. Esta função está determinada aos processos de Qualidade.

A fim de se colocar os processos de Qualidade no seu devido nível de responsabilidade, deve-se diferenciar a sua função da de inspeção. Inspeção é uma atividade de segurança, que serve somente para medir e separar peças que estão conformes com as especificações das que estão em desacordo com elas. A função do controle de qualidade, em contraste com a inspeção, é estabelecer um nível de qualidade definido, que deve ser aceito simultaneamente pela firma produtiva e seus clientes.

As principais metas a serem atingidas pela Qualidade são:

- a- Determinar As tolerâncias funcionais possíveis de serem obtidas, a partir das tolerâncias pelo desenho do produto. Este retorno de informações técnicas à

Engenharia do Produto é importante para adequação do projeto à capacidade produtiva de fábrica;

- b- Determinar plano de Qualidade a partir dos resultados obtidos pelos processos de fabricação. Esta comunicação com a Engenharia de Fabricação, através de estudos de capacidade de máquinas ou processos, além do controle de Qualidade, permite melhorar continuamente os processos de fabricação;
- c- Conhecer a estabilidade oferecida pelas montagens das máquinas nas diversas operações do processo de fabricação. Este conhecimento permite à produção fabricar peças dentro dos limites de rejeição pré-estabelecidos.
- d- Desempenhar corretamente, através das três atribuições anteriores, a função de fazer respeitar a qualidade do produto compatível com o desempenho dele esperado e sua respectiva adequação aos meios produtivos à disposição.

### **1.8 Engenharia de fabricação**

Inserida entre o projeto do produto e a sua produção propriamente dita, encontra-se os processos de análise e tratamento tecnológico, de modo a detalhar o caminho pelo qual transformam-se as especificações contidas nos desenhos de produto em especificações contidas nas peças fabricadas. Pode-se dizer que é preocupação da Engenharia de Fabricação é de se fabricar peças em condições tecnológicas coerentes com as especificações do desenho e das limitações dos processos de fabricação utilizados a fim de se manter a intercambiabilidade das peças em suas diversas fases de manufatura, estabelecendo o elo de ligação entre as possibilidades de projetar, produzir e controlar a qualidade.

Para algumas organizações de manufatura, muitas vezes não é possível distinguir-se com nitidez as suas diversas situações. Perde-se assim, por diluição de responsabilidades, grande chance de se executar um planejamento técnico a priori. Para se conseguir uma produção competitiva, há necessidade de enfoque de engenharia, a partir do reconhecimento que os problemas fundamentais de fabricação são basicamente os mesmos para todas as indústrias. Existem sempre soluções satisfatórias para todos os problemas que são enfrentados, determinados por conhecimentos básicos de engenharia. Sob o aspecto de fabricação, o produto obtido é

sempre um compromisso entre uma qualidade aceitável e um custo aceitável. A meta a ser atingida é a máxima qualidade compatível a um mínimo custo.

A Engenharia de Fabricação deve abranger, em princípio:

- 1- Geração de roteiros e processos de fabricação.
- 2- Projeto e dimensionamento de ferramental – dispositivos de fixação, dispositivos de medição, calibradores, ferramental de corte.
- 3- Estabelecimento de tempos padrão e métodos operacionais.
- 4- Arranjo Físico e Análise de Fluxo de fábrica
- 5- Dimensionamento de capacidade produtiva
- 6- Determinação e acompanhamento de controles gerenciais – eficiência, utilização e produtividade

Através dessas atribuições e função de definir como o produto deve ser manufaturado economicamente, deve determinar:

- a) folhas de processo detalhadas
- b) ferramentas e dispositivos para a execução das operações
- c) calibradores e dispositivos de medição
- d) condições de usinagem
- e) tempos padrões para operações
- f) métodos operacionais
- g) arranjo físico e análise de fluxo de fábrica.

A seguir, detalham-se essas atividades principais que compõem a Engenharia de Fabricação:

- 1) Geração dos roteiros e processos de fabricação

A partir dos desenhos das peças, determinam-se os processos produtivos, fornecendo sequência da fabricação, máquinas, ferramental de corte, fixação e medição, utilizados nas operações, condições de usinagem, etc.

- 2) Projeto de ferramental

Projeto do ferramental definido nas operações de processo, seja ele de corte, fixação ou medição.

- 3) Fabricação do ferramental

Manufatura-se o ferramental projetado anteriormente. A construção poderá ser feita internamente ou comprada externamente. Caso seja construído internamente em ferramentarias, estas devem possuir máquinas adequadas, tais como madriladoras de precisão, frezadoras copiadoras, furadeiras de coordenadas, retificadoras universais, retificadoras planas, assim como a mão de obra melhor especializada da fábrica. Desempenhando serviço análogo ao da ferramentaria, porém somente para a manutenção de ferramentas de corte, a Afição deverá mantê-las afiadas após o uso pela produção. As principais ferramentas a serem afiadas são ferramentas de torno, fresas, brochas, cortadores de engrenagem tipo caracol, “shavers”, etc. - Apesar de não ter essa atribuição, poderá eventualmente construir ferramentas dos tipos mais convencionais, de acordo com a necessidade.

#### 4) Determinação e controle de tempos e métodos

A partir da sequência da fabricação estabelecida pelos processos de fabricação, determina, para as diversas operações, os tempos padrões para a sua execução, seja através de cronometragem no local ou por estimativas. Os tempos assim determinados serão usados para determinação do custo da peça, controle de eficiência do operador, relação entre horas trabalhadas e horas disponíveis e, eventualmente, prêmios de produção. Participa também da determinação das condições operacionais (avanço, rotação, profundidades de corte, fluido de corte, etc.) juntamente com o setor de processos. Determina também o melhor método de operação, prevendo-se movimentos, movimentação, etc.

#### 5) Arranjo físico e análise de fluxo de fábrica

A atividade de Arranjo Físico (Layout) determina a posição das máquinas produtivas através das informações recebidas dos processos de fabricação. Além disso, analisa as condições de fluxo de peças, dando condições para melhor determinação do arranjo físico.

### **1.9 Fatores de influência nos sistemas de manufatura**

Nas organizações dos anos 90 e 2000, os sistemas de manufatura são bastante complexos, envolvendo numa série de atividades interdependentes. A sua complexidade será tanto maior quanto mais complexos forem os produtos a serem fabricados e a estrutura de manufatura vinculada a esses produtos. Assim, algumas características determinam a sua maior ou menor complexidade:

**a) Complexidade do produto a ser fabricado**

Esse fator é expresso pelas tolerâncias, especificações de qualidade do produto a ser fabricado; como consequência, ter-se-á roteiros de fabricação com maior ou menor número de operações. Assim, produtos cujas peças componentes tem poucas operações no seu roteiro de fabricação serão por consequência, menos complexos.

**b) Diversificação de produtos**

Um sistema de manufatura será tão mais complexo quanto maior for o número de produtos diferentes sendo fabricados. Esta complexidade será conseqüente do maior número de roteiros de fabricação, com a necessidade de envolvimento de maior número de máquinas-ferramenta e controles.

**c) Variação de Quantidade de Produtos Fabricados**

A variação das quantidades dos produtos fabricados tende a aumentar a complexidade de operação dos sistemas de manufatura, na medida que gera situações de variação carga nas máquinas-ferramenta sendo empregadas. Esta flutuação de carga provocará sobrecarga e ociosidade, gerando como consequência maior dificuldade de planejamento.

**d) Introdução de Novos Produtos**

A introdução de novos produtos no sistema de manufatura aumentará sua complexidade, visto que interferirá diretamente nos itens 1, 2 e 3.





## 2 MANUFATURA - ASPECTOS TECNOLÓGICOS

### 2.1 Introdução

Para que um produto, seja ele um conjunto mecânico ou não, tenha boa aceitação pelo mercado consumidor, não é suficiente que tenha um bom projeto de dimensionamento, com suas verificações dos esforços, desgastes, vidas úteis, etc.

Dentro do ciclo de produção deste produto, a fase de projeto dimensionamento é apenas uma das muitas que deverá ser percorrida até que o produto seja colocado no mercado.

As condições posteriores, a serem previstas são:

1) A *Intercambiabilidade* entre as diversas peças componentes, fabricada em épocas diferentes e, eventualmente, por fábricas diferentes, deverá ser mantida. Somente através desta condição, o produto atingirá um índice de credibilidade suficiente para ser consumido em larga escala, sem preocupação de reposição de peças que não venham a ter a mesmo desempenho da peça original.

Esta condição pode ser atingida ainda em fase de projeto, com a introdução dos conceitos de tolerâncias de ajuste entre as peças, especificações de desvios de forma e posição, rugosidade superficial, além do estudo dos acúmulos de tolerâncias que permitem a montagem do conjunto dentro das condições previstas em cálculos de dimensionamento.

Este assunto já foi discutido no primeiro volume da série “Princípios e Fabricação Mecânica”, o trabalho “Ajustes, Tolerâncias, Desvios e Análise de Dimensões”.

2) A *qualidade do produto* deverá ser mantida constante ao longo dos lotes produzidos.

É muito comum ouvir-se a afirmação, quando é feita a comparação entre um produto nacional e o equivalente importado: - “Apesar de serem iguais, o importado é melhor”, ou ainda “O produto nacional não mantém a qualidade ao longo da sua utilização como o importado”, ou então “As vezes o produto nacional é tão bom quanto o importado, às vezes é bem pior”. Afirmações como estas, bastante comuns aos consumidores, de uma maneira geral tendem a levar a uma conclusão: - “Há necessidade de se manter o produto dentro de uma qualidade constante ao longo do mercado tempo, sem o que, o produto perderá sua credibilidade”. Por consequência, o consumidor tenderá a utilizar-se do produto similar que lhe for mais confiável.

A Qualidade de um produto deixou de ser um fator de competitividade, passando a ser exigência dos mercados consumidores, tornando-se portanto uma característica a ser mantida nos produtos fabricados por uma organização, seja ela produtora de produtos físicos, como também de serviços.

1) O *custo final* deverá ser o menor possível.

Esta condição completa as duas anteriores, fechando o ciclo dos pré-requisitos que devem ser atingidos para que o produto tenha condições de competição.

Partindo-se do pressuposto que os consumidores, e portanto o mercado, principalmente a partir dos anos 80 passaram a ser mandatórios na escolha de produtos, os preços de venda estão condicionados as exigências do mercado consumidor. Sendo que os acionistas das empresas sempre condicionam a sua participação acionária e financeira a distribuição de dividendos que são derivados dos lucros auferidos, conclui-se que o custo dos produtos será resultado de boa gestão no suprimento de matérias primas, da operação de manufatura e das chamadas organizações de apoio (Engenharias, Planejamento, Manutenção, Tecnologia de Informação, Suprimentos Finanças, Vendas, etc. Custos baixos representam possibilidade de Competitividade para qualquer organização que opere em mercados altamente competitivos.

## **2.2 Fundamentos da fabricação aplicados ao planejamento técnico**

### **2.2.1 O SIGNIFICADO DO PLANEJAMENTO TÉCNICO**

A fabricação de um produto provém de um número de estágios e formas de planejamento. A primeira e mais evidente é o Planejamento Administrativo, que estabelece metas, além de controlar o empreendimento como um todo e cria normas que o direcionam para os objetivos estratégicos, através da gestão dos seus vários componentes. Com referência as soluções dos problemas de produção, o enfoque tecnológico para cumprir as normas e decisões de administração é considerado como Engenharia aplicada aos meios de Fabricação, que incluem as atividades de planejamento de processamento e ferramental, estudo de tempos e movimentos e arranjo físico (layout), entre outros. O Planejamento Técnico será efetivado sob a forma de “registros formais para fixação da tecnologia de fabricação (folhas de processo, folhas de roteiro de fabricação, listas de ferramental), possibilitando a geração de relatórios de análise (rejeição,

oscilação de tempo padrão, capacidade instalada, número de máquinas e homens necessários, índices gerenciais de eficiência, utilização de equipamentos, produtividade, etc.), que fornecem dados para iniciar e manter o planejamento de produção.

*A maior produtividade possível é obtida quando é produzido um produto com a qualidade necessária, no tempo previsto, pelo método melhor e a custo mais baixo.* Este deve ser o objetivo de toda administração de produção. Assegura-se este objetivo prevendo-se a quantidade de material necessário, máquinas e ferramental adequados, pessoal necessário, além das instruções adequadas nos lugares e tempos corretos. Para se atingir, ou mesmo aproximar-se deste objetivo, é necessário planejamento. A esse respeito, um dos precursores do planejamento industrial, Henry L.Gantt, estabeleceu que *planos bem elaborados, juntamente com instruções completas e detalhadas, podem resultar em um aumento de produção acima de 100%, quando o esforço físico é o fator limitante.*

A fabricação de um produto envolve sempre uma série de operações que constituem o *processo de fabricação*. Determina-se, para a fabricação de um determinado produto, de vários processos alternativos ou mesmo variações dentro de um mesmo processo. A programação para abastecimento de peças em bruto, além de qualidade adequada de ferramental são importantes para a operacionalização dos processos, visando prevenir problemas que podem ocorrer na fabricação, resultando em:

- a) eliminação de perdas causada por projetos mal dimensionados de ferramentas de corte, dispositivos, matrizes e calibradores.
- b) a eliminação, ou pelo menos, minoração dos métodos de tentativa e erro na escolha e dimensionamento de ferramental, que usualmente conduz a um reprojeto ou alteração, resultando altos custos adicionais.

### **2.2.2 PRINCÍPIOS DE FABRICAÇÃO**

A fabricação deve ser planejada e direcionada por princípios básicos que definem seu melhor dimensionamento e utilização de recursos.

Estes princípios relacionam-se a:

### 2.2.2.1 Determinação de objetivos

A condição obrigatória para um projeto de fabricação é o estabelecimento do seu objetivo, com o qual cada atividade pode ser alinhada. Conseqüentemente, o planejamento do chão de fábrica deve especificar os produtos a serem fabricados com as respectivas peças, e sua inter-relação com o planejamento geral.

### 2.2.2.2 Divisão ou especialização de esforços

Sempre que se concentra uma pessoa, ou várias pessoas, em poucas ou apenas uma tarefa procurando sua especialização, a prática adquirida proporcionará eficiência, que aumentará a sua produção em quantidade e qualidade.

Baseado neste preceito, se designa a cada pessoa, seja ele de chão de fábrica ou e funções de apoio a produção uma ou várias tarefas, para as quais ela será capaz de ser treinada e executá-la.

A divisão de esforço permite a aplicação da quantidade de esforço e habilidade extras para cada operação. Sempre que um operário executa um ciclo total de fabricação de uma peça, a sua habilidade deve ser suficiente para executar todas as fases com a precisão necessária. O mesmo raciocínio aplica-se a máquinas e equipamentos. Essas, quando são utilizadas para diversas operações, devem ter a habilidade e conhecimentos necessários para completar todo o ciclo de fabricação daquela peça ou produto.

Por outro lado, se o processo de fabricação é subdividido em operações, esta especialização será aplicada somente a cada uma das operações do ciclo ou processos de fabricação. Como resultado, a construção e o uso de máquinas destinadas a operações especializadas são sempre possíveis. A tendência ao uso de máquinas especiais torna-se adequado quando os níveis de produção horária são altos. Máquinas universais, tais como tornos paralelos, furadeiras de coluna, plainas limadoras, frezadoras universais, tendem progressivamente a ceder seu lugar no parque fabril brasileiro a máquinas especiais, sejam elas providas de automação rígida, tais como linhas de transferência rígidas, tornos multifusos multiferramentas, madriladoras especiais, furadeiras múltiplas, tornos verticais, ou automação programável com o uso de máquinas de controle numérico e Sistemas e Células Flexíveis de Manufatura.

A fim de promover a especialização e a simplificação, instruções devem ser passadas aos operários através de planejamento antecipado, ou seja; qual trabalho deve ser executado, onde, como e quando. Como a tendência à especialização é crescente, a necessidade de planejamento da forma e da sequência das operações antecipadamente torna-se necessária. *Portanto, em sua forma mais geral, um planejamento de processo deve especificar as instruções em cada operação e apresentar as orientações para obtê-las eficientemente.*

### 2.2.3 FABRICAÇÃO INTERCAMBIÁVEL

A fabricação intercambiável é fundamental para a produção de um produto. *O princípio estabelece que se se execute cada dimensão de todas as peças de uma máquina, tal que, qualquer das peças se ajustará com a sua respectiva peça par, funcionando corretamente em qualquer uma das montagens.* O princípio da intercambialidade já foi utilizado para a conceituação de ajustes, desvios de forma e posição, rugosidade superficial e análise de dimensões no trabalho Tolerâncias, Ajustes, Desvios e Análises de Dimensões.

A sua aplicação permite:

- Facilidade de montagem do conjunto de peças que compõem o produto.
- Reposição mais simplificada de peças gastas pelo uso.
- Padronização dos processos de fabricação.

Dentro de um processo de fabricação, as peças intercambiáveis de operação para operação devem ser fixadas e localizadas dentro dos limites definidos, mantendo-se a previsibilidade dentro do lote produzido. Assume importância o estudo de tolerâncias de fabricação, desvios de fixação e localização, sobremetal a ser removido, etc. A intercambialidade é obtida prevendo-se uma variação ou tolerância da dimensão nominal. Esta poderá ser aberta ou estreita, dependendo das exigências em cada operação, sendo que sua observância dependerá dos controles operacionais. Nos processos produtivos, as peças a serem produzidas numa determinada operação deverão sempre manter, ao longo do lote, as mesmas superfícies de localização e fixação. Este é o motivo do uso de dispositivos de fixação e máscaras de furação, que localizam as peças sempre uniformemente. São introduzidos desvios pelas variações na localização da peça, pela ação das ferramentas de corte, pelas imprecisões da máquina, além do fator humano. Então, para se assegurar-se que os desvios não ultrapassem as especificações dos desenhos de produto, a

natureza de cada fator de variabilidade deve ser estabelecida. Em outras palavras, necessários a fim de *o planejamento do processo deve garantir a localização da peça especificando as superfícies de localização na peça e no dispositivo para garantir o contacto efetivo entre elas. Deve ainda incluir a descrição das ferramentas e máquinas, relacionando nas fases da fabricação em que foram previstas. E, finalmente, dentro da mesma escala de valores, não deve deixar de considerar o fator humano, prevendo os meios auxiliar o operador, a executar corretamente o seu trabalho.*

#### 2.2.4 UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAL E MÁQUINAS

A utilização de ferramentas e máquinas em um processo de fabricação provêm das vantagens advindas dos princípios de:

- *multiplicação da aplicação de força*, seja através de elementos mecânicos (grampos de fixação, alavancas, planos inclinados), ou hidráulicos pneumáticos (cilindros, válvulas, etc.).
- *Ampliação de percepção*, através de escalas ampliadas, seja por um colar micrométrico, numa máquina ferramenta, seja por sistemas e medição com ampliação da percepção humana.
- *Transferência de potência*, através do qual as máquinas ferramentas são providas de meios para a aplicação de potência de uma fonte externa, a fim de suplementar ou mesmo substituir o esforço humano.
- *Transferência de habilidade e necessidade de raciocínio*, para as máquinas e ferramentas que aumentam o desempenho do artesão, possibilitando o uso de pessoal relativamente inexperiente. Uma máscara de furação é um exemplo típico; outro exemplo é uma máquina automática que repete cada fase de um ciclo sem atenção contínua.
- *Simultaneamente de ações*, através do qual vários elementos de uma mesma operação são executados simultaneamente, como uma máquina ferramenta programada para usinar várias superfícies simultaneamente. Outra aplicação deste princípio é a operação planejada tal que o operador carrega um dispositivo de fixação com uma peça, enquanto que a máquina esta usinando outra peça em outro dispositivo.

O planejamento do processo e do ferramental deve atentar para as características das máquinas e do ferramental necessários, a fim de conseguir vantagens operacionais. Por exemplo, a aplicação de sistemas de fixação em dispositivos só será viável se a vantagem mecânica

advinda de sua aplicação não provoque distorções na peça. Se as tolerâncias dimensionais forem estreitas, os calibradores deverão permitir ao operador a percepção acurada das dimensões sendo usinadas. É o caso da substituição de calibradores de boca, passa-não-passa, etc, por outros com relógios comparadores, leitores digitais ou colunas de ampliação pneumática. O tamanho, o tipo e a construção de cada máquina ferramenta, devem ser determinados a fim de se assegurar capacidade e potência suficientes. A transferência de habilidade só deve ser efetivada quando se tem uma idéia clara de como esta transferência será feita para a máquina ou ao ferramental. Frize-se, quando houver necessidade de aumento de produção, esta não devera ser buscada qualquer custo, através de investimentos maciços em novos equipamentos. Deve-se buscar aumento de produtividade com os equipamentos existentes, através da aplicação de novos processos e métodos de manufatura, melhorias de caráter administrativo, estudos para se diminuir peças refugadas etc. Um investimento em novos equipamentos só devera ser feito após a sua comprovação econômica, visando reduções de custo que possam amortizar rapidamente o investimento feito.

### 2.2.5 MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAL

A movimentação e manipulação de materiais é parte considerável de um processo produtivo. A economia neste caso é conseguida reduzindo-se o número de operações, movimentando-se as peças em linha reta, diminuindo-se as distâncias nas quais elas devem ser transportadas, além de se prever transportadores eficientes. As considerações detalhadas em projetos de movimentação de materiais, geralmente não está dirigida ao planejamento de processo, porém, sua inter-relação não deve ser esquecida. Qualquer planejamento de processo ou de ferramental deve levar em conta fatores como a localização das máquinas na fábrica, pontos de transporte no projeto dos dispositivos, etc.

### 2.2.6 AFERIÇÃO DE QUALIDADE

A aferição de qualidade é necessário nos processos de fabricação, seja em alta ou baixas séries. O sistema usual de se controlar a qualidade, é o de inspeção na produção, além de controles estatísticos, estudos de tendência, capacidade de processo e máquinas. Ele poderá ser preventivo, atuando em todas as máquinas simultaneamente. Pode ainda ser feita em operações



de processo consideradas importantes, tais como antes e após tratamento térmico, após operações de corte de engrenagens que deverão ser acabadas por “shaving”, etc. Outra opção é sua atuação após a peça pronta. *A inspeção sozinha porém, é um meio passivo de se obter a qualidade desejada. A qualidade, deve ser “fábrica” com o produto.* As causas dos desvios e os meios de controlá-los devem sempre ser conhecidos, o bom planejamento de processo e de ferramental deve facilitar ao homem e a máquina, conseguir a qualidade necessária sem esforços além dos que seriam normais em produção normal.

### 2.2.7 JUSTIFICATIVA ECONÔMICA DE FERRAMENTAL E MÁQUINAS

Conforme foi explanado anteriormente, a mecanização proporcionou vantagens bastante grandes num processo de fabricação. Entretanto, qualquer decisão a ser tomada deve ser analisada através de uma análise econômica das diversas opções técnicas que se apresentam. Dentro da produção em alta escala, quanto maior for o número de unidades que devem ser fabricadas de um determinado produto, maior o tempo e recurso que podem ser poupados mediante preparação e planejamento. Devido a que um planejamento de processo e ferramental sempre implique em investimento, pode-se concluir que dever-se-á sempre justificar economicamente as suas necessidades técnicas a fim de que este torne-se viável e competitivo.

## 2.3 Projetos de produto para manufatura – adequação de projetos a manufatura

### 2.3.1 INTRODUÇÃO

Antes da Revolução Industrial, as necessidades dos clientes, e os produtos e sistemas de produção simples. Artesãos eram capazes de integrar todos os aspectos referentes as necessidades do consumidor, projeto do produto, e a respectiva manufatura. O processo do projeto era essencialmente otimizado por um única pessoa, através da combinação de simplicidade e entendimento das interdependências entre as várias partes do sistema de manufatura.

Comparando-se com os sistemas de manufatura atuais e os produtos neles manufaturados são muito mais densos e complexos. Eles necessitam uma quantidade muito grande de conhecimento especializado, focalizados na solução de problemas de um único produto. Em superposição, torna-se exponencial a quantidade crescente de novas informações e tecnologias,

junto a uma constante redução nos tempos de ciclo dos produtos, além do crescimento da competição global. Provavelmente, essas alterações impactam fortemente o processo de projeto dos produtos. Definida como a conversão de material em bruto em produtos acabados, o sistema de manufatura abraça todas as atividades relacionadas a uma empresa de manufatura contemporânea. Este posicionamento inclui concepção, desenvolvimento e projeto dos produtos, produção, marketing, vendas, e distribuição de produtos, e mais recentemente, suporte dos produtos em uso.

No seu significado mais amplo, o Projeto para Manufatura (Design for Manufacturing-DFM) está relacionado com o entendimento dessas interações e a utilização deste conhecimento para otimizar o sistema de manufatura para se obter qualidade, custo e entrega dos produtos. Mais especificamente, o Projeto para Manufatura está relacionado com:

1 – Entendimento de como os processos pelos quais o produto é concebido interage com os outros componentes do sistema de manufatura. Utilizar esse entendimento para projetar produtos melhores no aspecto qualidade, que podem ser manufaturados com custos menores e disponibilizados aos mercados mais rapidamente.

2- Entendimento de como o projeto físico do produto interage com os componentes do sistema de manufatura. Utilizar esse entendimento para definir alternativas de projeto de produto que auxiliam a otimização dos sistemas de manufatura como um todo.

A fabricação de produtos é subdividida em dois tipos principais:

a - fabricação das peças componentes do produto em questão.

b - montagem e ajuste desta mesmas peças em linhas de montagem ou subconjuntos.

O projeto do produto correspondente segue esta sequência, com avaliação das premissas externas, desenvolvimento do conceito básico do produto atendendo as especificações externas, projeto e desenho de conjunto, cálculo de tensões e deformações, escolha de materiais, simulação de montagem, cálculo de acúmulo de tolerâncias na montagem. O passo seguinte é o de detalhamento das peças, especificação das tolerâncias dimensionais, geométricas, rugosidade superficial, tratamentos térmicos e superficiais.

Serão detalhadas a seguir as condições de fabricabilidade ou manufaturabilidade, tanto na montagem quanto na fabricação individual de cada uma das peças componentes. O objetivo é de se adequar os projetos de produto as condições e limitações advindas das condições de

ordenamento de operações do roteiro de fabricação, execução das operações do roteiro com as condições limitantes dos processos de fabricação utilizados, restrições de montagem, etc.

Esta metodologia que permite a adequação dos projetos de produto as condições de fabricação ou manufatura é conhecida como *Projetos para Manufatura (Design for Manufacturing – DFM)*.

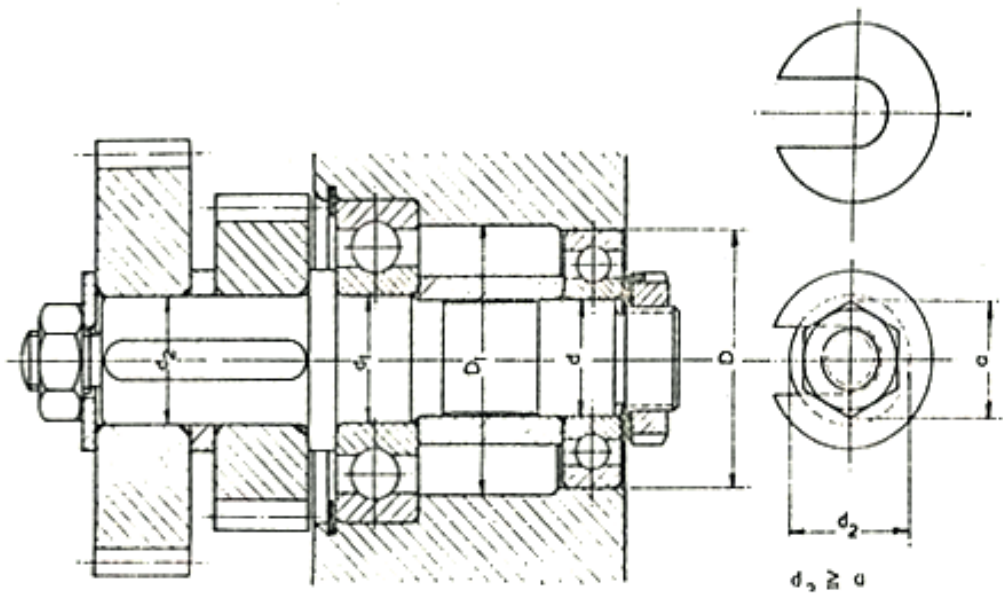
### 2.3.2 PROJETO DE MONTAGEM

Além de se satisfazer as especificações funcionais e de desempenho, outras devem ser atendidas no projeto de montagem de conjuntos mecânicos. Uma das principais especificações é a necessidade de facilidade de manipulação das peças e unidades durante a montagem, instalação, operação e manutenção.

#### 2.3.2.1 Facilidade de montagem

Se se analisar sob o ponto de vista dos aspectos econômicos de montagem, os componentes de um conjunto devem ser montados de maneira simples, evitando-se dificuldades de ajustagens cuidadosas feitas por artífice altamente especializado. A escolha correta das tolerâncias geométricas e dimensionais para as peças componentes tem papel importante, porém outras providências podem ser adotadas através de um projeto de montagem cuidadoso. A seguir serão apresentados alguns exemplos que ilustram os conceitos acima.

No exemplo da figura 2.1, os aros dos rolamentos são selecionados de modo que nenhum deles tenha que ser fixado no eixo ou no furo da carcaça além do comprimento necessário para se perfazer o ajuste necessário. Assim, o diâmetro  $d_1$  do rolamento de esferas maior será assentado com mais facilidade, visto ser maior que o diâmetro interno  $d$  do dois aros internos dos rolamentos. A extremidade do eixo suporta engrenagens que devem ser frequentemente trocadas em serviço. Por isso, a porca hexagonal tem que ser selecionada tal que o diâmetro  $d_2$  das engrenagens seja maior que a dimensão dos cantos do hexágono. As engrenagens são fixadas na sua posição por uma arruela  $C$ , cujo diâmetro externo deve ser maior que  $d_2$ , enquanto que o rasgo é ligeiramente maior que a rosca. Para se remover as engrenagens, a rosca deve ser soltar levemente, possibilitando a saída lateral da arruela  $C$ , possibilitando-se a saída rápida das engrenagens, assegurando troca rápida e precisa na troca das engrenagens.



**Figura 2.1 - Eixo montado em rolamentos**

É particularmente importante que operações de ajustagem que exigem habilidade sejam executadas convenientemente, desde que se mostrem inevitáveis. Exemplificando, na montagem de uma chaveta sobre um eixo, é preferível que o ajuste da chaveta no eixo seja feito com o eixo antes da montagem do conjunto; isto porém só será possível se o eixo com a chaveta montada passar livremente através dos vários furos durante a operação final de montagem.

No exemplo da figura 2.2, a engrenagem cônica deverá ser montada no eixo com ajuste com interferência. Se houver necessidade de se desmontar o conjunto, haverá dano inevitável em algum dos componentes, a menos que o diâmetro, portanto, deverá ser duas vezes maior que o maior raio do diâmetro do eixo mais chaveta.

Um fato adicional a ser considerado na montagem é o fato que o eixo, engrenagem, rolamentos e caixa de rolamentos são projetados como uma unidade fechada. Esta solução assegura que a engrenagem pode ser fresada no eixo de maneira adequada, utilizando-se um dispositivo de montagem, o que não ocorreria se os rolamentos fossem assentados diretamente na carcaça principal. A fim de se assegurar montagem na caixa de rolamentos, é necessário que o diâmetro  $D$  correspondente ao diâmetro externo do conjunto da engrenagem seja menor que o

furo da carcaça  $D_1$ . Deve-se mencionar também que o diâmetro  $d_2$  do anel prensado no diâmetro  $d_1$  de tal maneira que o anel de feltro (furo  $d_2$ ) não tenha que ser deslocado ao longo do comprimento relativamente grande do diâmetro  $d_3$ . Um fato adicional a ser considerado na montagem é o fato que o eixo, engrenagem, rolamentos e caixa de rolamentos são projetados como uma unidade fechada. Esta solução assegura que a engrenagem pode ser colocada no eixo de maneira adequada, utilizando-se um dispositivo de montagem, o que não ocorreria se os rolamentos fosse assentados diretamente na carcaça principal.

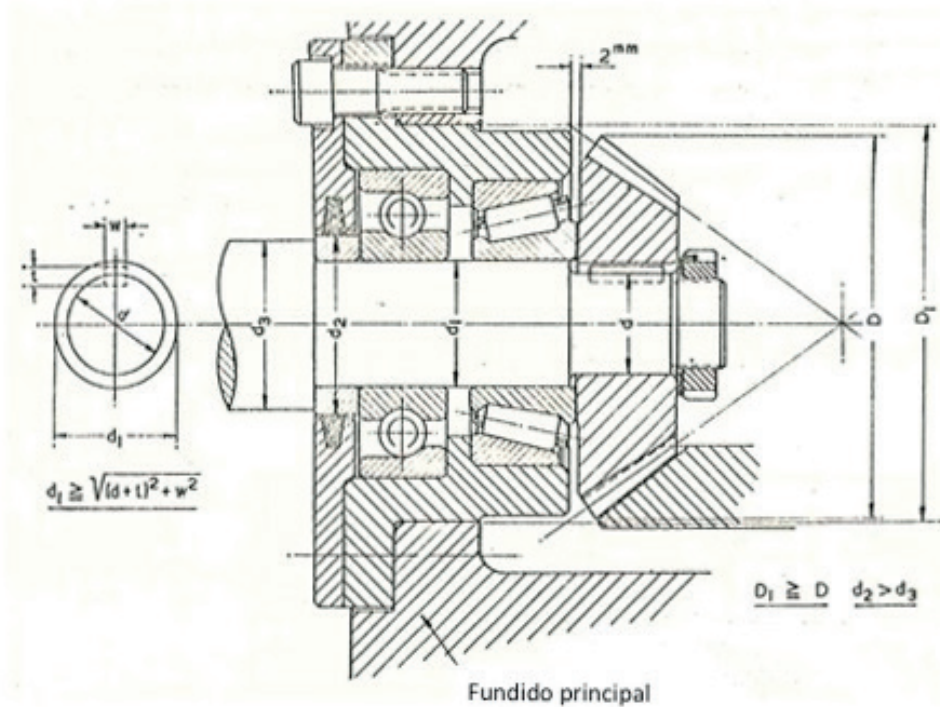


Figura 2.2 – Montagem de eixo e engrenagem cônica

Esta solução é mais viável, quando se compara a se tornejar um comprimento relativamente longo do eixo do diâmetro  $d_2$  ao diâmetro  $d_3$ .

O mesmo diâmetro  $d_1$  é utilizado para assentar o rolamento cônico que suporta a maior parte da carga axial e o rolamento de esferas responsável pelo alinhamento do eixo; isto pode ser

feito porque, para a montagem do rolamento de esferas no eixo, o rolamento é aquecido em banho de óleo, após o que desliza suavemente ao longo do diâmetro  $d_1$ . O rolamento cônico é então prensado da mesma maneira que a engrenagem cônica. A folga axial do rolamento é ajustada através da porca e rosca na ponta do eixo.

Existe ainda uma vantagem adicional na construção da caixa de engrenagem separada. Normalmente exige-se grande precisão na usinagem de furos e ressaltos que servem para assento de rolamento na carcaça principal. Qualquer desvio além da tolerância especificada nesta usinagem levaria a rejeição e perda com alto custo de rejeição. Além disso, no caso de qualquer desvio fora das especificações que ocorra na usinagem da carcaça principal, a caixa de rolamentos poderá ser trocada a um preço relativamente baixo, alterando-se o seu diâmetro externo. Além disso, a posição axial da engrenagem cônica pode ser ajustada, se necessário, através da colocação de calços calibrados ou usinagem dos ressaltos da flange de caixa de rolamentos. Esta solução evita a colocação de tolerâncias estreitas no faceamento da carcaça principal,

Ressalte-se que, com a utilização cada vez mais frequente de automação, seja rígida ou programável nas linhas de montagem, torna-se importante que os projetos de produtos adicionem condições onde se tenha facilidade de montagem, sem ajustes intermediários, nas diversas operações de montagem.

## 2.4 Localização e alinhamento

É importante assegurar-se que a localização e alinhamento possam ser:

- a) Definidos claramente e sem superposição;
- b) Conseguída sem dificuldades;
- c) Determinada para se assegurar montagem.

Alguns exemplos típicos são:

a) Deve-se utilizar somente um piloto para se assegurar localização concêntrica e uma face para localização axial. Observe-se a necessidade de um chanfro em uma das peças para se assegurar localização correta. A figura 2.3 (a) mostra também a necessidade de se ter raios, chanfros e folgas, de tal maneira que as superfícies de referência não se interfiram. A figura 2.3 mostra esta condição de manufaturabilidade.

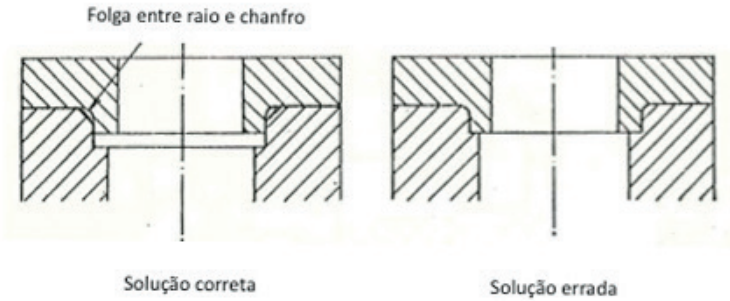


Figura 2.3 – Projeto de piloto de localização

b) Deve-se tomar cuidado tal que as referências adotadas não se interfiram mutuamente. Este fato pode ser observado na figura 2.4, onde somente a localização em A é suficiente. A localização l em B, além de desnecessária, torna-se difícil de ser conseguida.

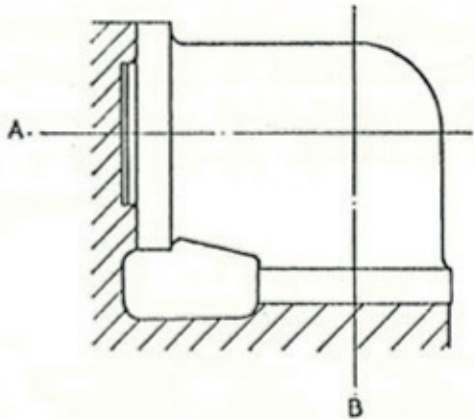


Figura 2.4 – Localização redundante.

c) Quando se utilizar superfícies cônicas para se prever alinhamento axial e radial, deve-se tomar cuidados, a fim de que faces desnecessárias não interfiram na localização - figuras 2.5(a) e 5(b).

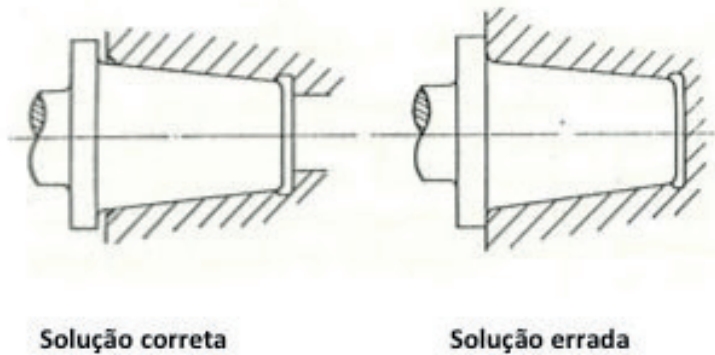


Figura 2.5 – Alinhamento radial e axial através de cones.

- d) Quando se fabrica cones através de superfícies usinadas em acabamento, quando de sua montagem, podem-se formar bolsões de ar que impedem a sua colocação e retirada quando necessária. Para se evitar este problema, prevê-se uma saída de ar - figura 2.5(a), - que permita montagem e desmontagem fácil. A solução da figura 2,5(b) não deve ser utilizada. Esta é uma dificuldade geralmente relevada pelo projetista de produto e identificada pelo montador, quando furos cônicos de guias devem ser colocados e removidos.
- e) Para se localizar peças de máquinas entre si numa relação definida empregam-se pinos de guias, pois eles permitem ao ajustador deixar para o final o posicionamento e localização de uma peça, quando todas as outras condições já foram atendidas. Os pinos de guia devem ser utilizados também para se definir sem ambiguidade a posição relativa das peças sem montagem. Além disso, os pinos de guia devem estar o mais afastados possível, desde que as condições permitam. Por exemplo, quando se localiza duas faces retangulares, os pinos de guia devem ser localizados na diagonal do retângulo, conforme mostra a figura 2.6.



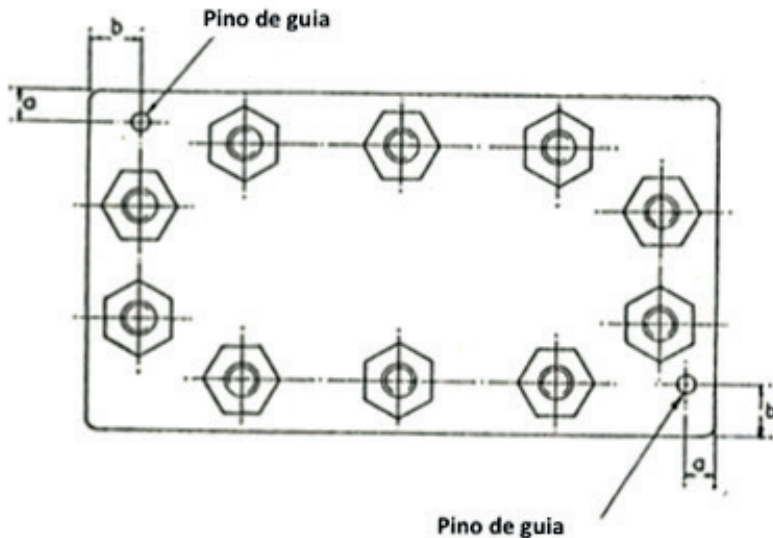


Figura 2.6 – Localização dos pinos de guia.

Após as duas peças componentes terem sido corretamente posicionadas e ajustadas, os pinos de guia são furados e alargados em ambas as partes. Deve-se deixar claramente definido no desenho das peças que a furação e alargamento dos pinos de guia devem ser deixados para a última operação.

Para produções em altas séries, esta furação deve ser feita através de máscaras de furação, que garantam o posicionamento relativo entre as peças.

## 2.5 Projeto dirigido à montagem

Um projeto que seja satisfatório para montagem efetivada por um montador de razoável habilidade, não é necessariamente conveniente para montagem em grandes séries. Exemplificando, um montador pode manipular os componentes de um conjunto até colocar todas as peças juntas, enquanto que, na montagem em série, na melhor das hipóteses, este conjunto pode ser rejeitado. Cabe ao projetista considerar um grande número de pontos específicos. Estes pontos compreendem material, formas, dimensões e limites de fabricação, além de problemas de

movimentação, acesso à máquina em montagem, orientação e conexão com outros componentes. Como guia geral, estabelecem-se as seguintes regras:

#### a) Projeto do componente

O componente deve:

- 1) ser simétrico tanto quanto possível – Figura 2.7(a);
- 2) ter propriedades polares determinadas por geometria e/ou peso, se não forem simétricos – Figura 3.7(b);
- 3) ter o menor número possível de direções importantes – Figura 2.8;
- 4) ser consistente nas dimensões usadas para orientá-las e localizá-las;
- 5) ser projetada para fácil manipulação manual; a partir disto, não será tão difícil mecanizar o processo de montagem – Figura 2.9.

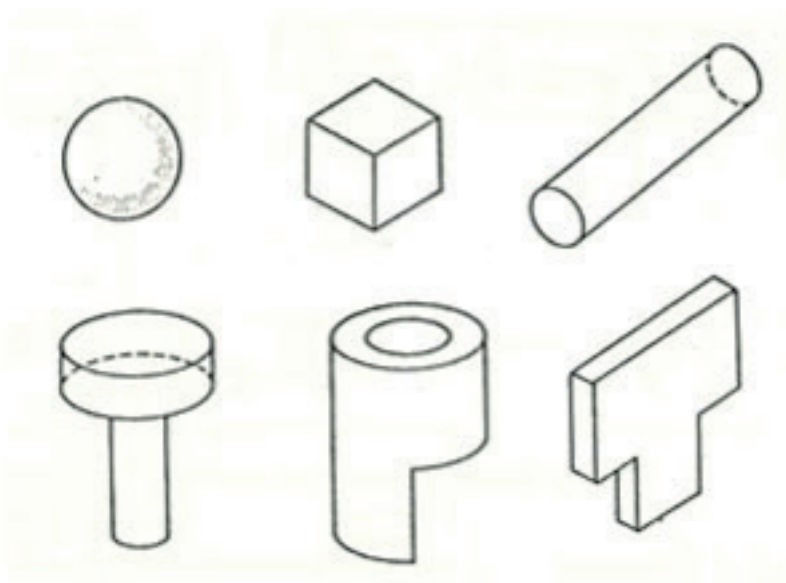


Figura 2.7 – Peças simétricas e assimétricas

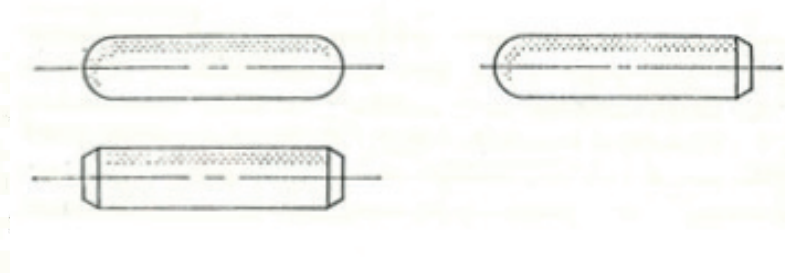


Figura 2.8 – Poucas direções importantes nas peças.

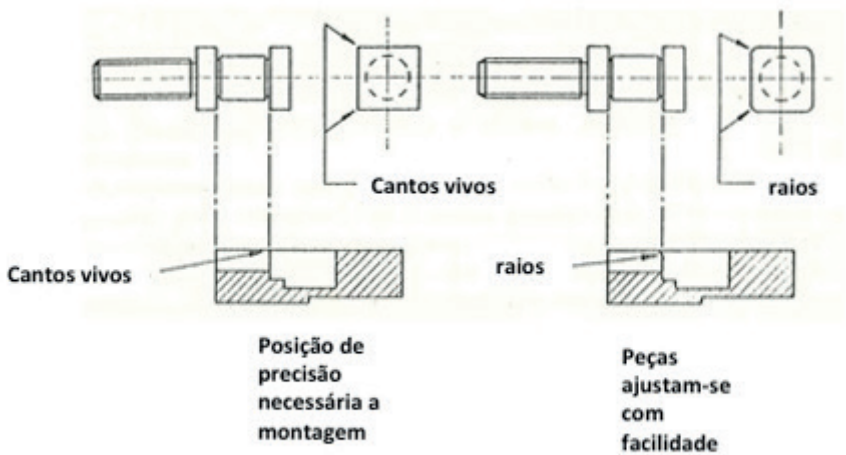


Figura 2.9 – Facilidade de montagem das peças.

## b) Projeto de produto

O projeto das peças componentes de um produto e/ou produto deve prever:

- 1) ter uma superfície ou ponto de referência no qual se baseia a montagem;
- 2) ter pontos de localização;
- 3) ser projetado tal que um componente seja colocado sobre o outro;
- 4) ser projetado de modo a evitar giros sobre o conjunto durante a montagem, se isto for evitável;
- 5) ser projetado tal que, todas as peças montadas sejam facilmente visíveis ou acessíveis a dispositivos de verificação;
- 6) ser padrão ou construído a partir de componentes padrão tanto quanto possível;
- 7) conter um número mínimo de componentes isolados;

- 8) ter um número mínimo de fixadores separados.

### 2.5.1 DETALHAMENTO DAS PEÇAS

Além do desempenho, facilidade de fabricação e manuseio, a redução de custos na produção, utilização e mão de obra e equipamento disponível, redução na diversificação e padronização são somente alguns itens a serem considerados. Além disso, enquanto as especificações funcionais de uma peça determinam seu aspecto e dimensões gerais, seu projeto detalhado afeta e é afetado pelo seu processo de fabricação. Dentro deste contexto não é suficiente ao projetista determinar se o seu projeto pode ser manufaturada; assim como ele desenvolve suas idéias de projeto, deve também optar por métodos e procedimentos de manufatura mais convenientes. Assim, efetivamente ajustar seus projetos a fim de permitir a utilização dos processos idealizados para a sua fabricação. Considerações teóricas podem frequentemente dar lugar a fatores práticos, tais como eficácia da fábrica, entrega de matérias primas, etc. Este tipo de metodologia é conhecido para Engenharia Simultânea, onde o projetista do produto mantém contato constante com os engenheiros de manufatura, a fim de se determinar o melhor projeto que facilite a manufatura posterior daquela peça.

Os principais fatores que influem no detalhamento dos componentes são a seleção do material e o projeto das formas e dimensões para a seleção das necessidades técnicas e econômicas dos métodos e processos de fabricação. Estes fatores devem ser interligados, porque não somente a escolha do material pode afetar a forma e as dimensões da peça e conseqüentemente o processo de fabricação mais conveniente. A forma e as dimensões da peça em questão podem também influenciar a escolha do material e do procedimento de fabricação. Assim, no final há que se encontrar um compromisso entre esses dois objetivos algumas vezes conflitantes.

A seguir serão detalhadas as diversas possibilidades de escolha de materiais e processos de fabricação.

## 2.5.2 FABRICAÇÃO DE PEÇAS ANTES DA USINAGEM; PEÇAS SEM USINAGEM

### 2.5.2.1 Peças soldadas

A escolha entre ferro fundido ou placas de material laminado, conduz imediatamente a uma consideração cuidadosa dos problemas de fabricação. *Um dos pontos principais a serem considerados no projeto de peças soldadas é a necessidade de simplicidade.* Quanto mais complexas forem as formas das peças componentes para soldagem maior será perda de peças por rejeição. Quanto maior for o número de peças complexas para serem soldadas, maior será a necessidade de operações de preparação, Os cordões de solda serão maiores e o custo crescerá. *Em outras palavras, quanto menor for o número de componentes, menos complicadas forem as suas formas e menor a quantidade de soldas necessárias, menor será o custo agregado na operação.* Dobramento de vigas ou flanges, formas similares, ao invés de corte por chama, ou ainda usinagens onerosas são fatores importantes que o projetista não deve deixar de considerar.

Nas peças fundidas furos pequenos são fabricados quase sempre automaticamente pelo processo de fundição, por que estes são previstos pelos machos de fundição ou areia moldada. Se a peça fosse soldada, estes furos teriam que ser fabricados através de corte, em operações adicionais, o que provocaria gastos adicionais.

Quando se corta formas especiais de material em chapa, as peças rejeitadas não pode e, usualmente não são utilizadas novamente, sendo portanto consideradas perdas de material. Estas perdas dependem da habilidade dos operadores e da organização da fábrica como um todo, sendo menos proeminente quando as estruturas são fabricadas de seções redondas. As formas da figura 2.10(a) e 10(b) reduzem a perda ao mínimo quando as peças são cortadas através de um layout das chapas bem projetado.

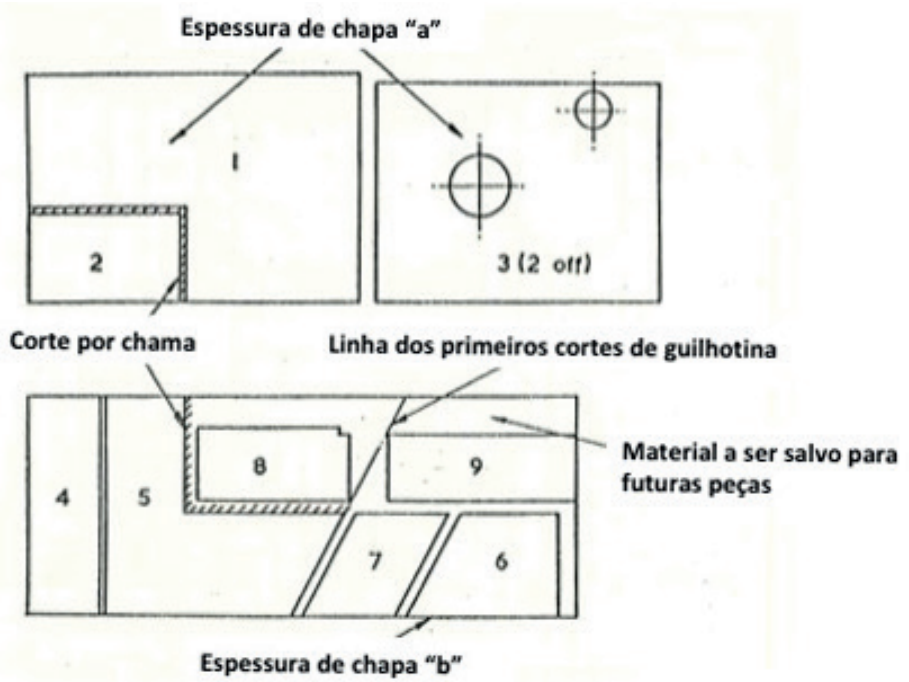


Figura 2.10 (a) – Layout para placas padrão para caixas de engrenagens soldadas.

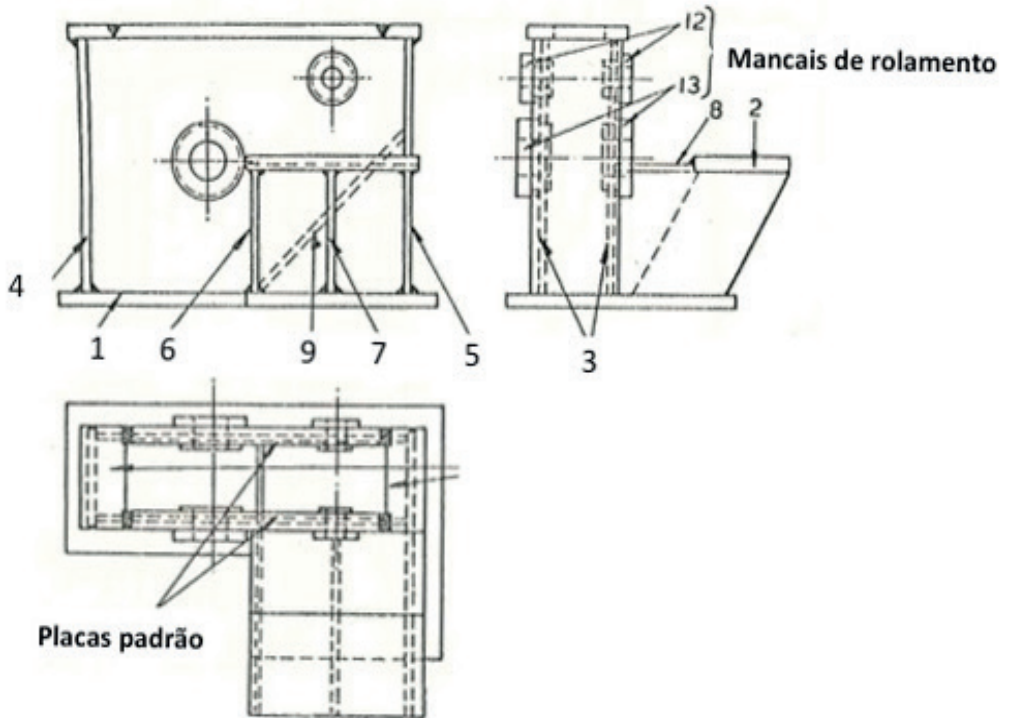


Figura 2.10 (b) – Layout para placas padrão para caixas de engrenagens soldadas.

O tamanho das soldas deve ser determinado não só pelas tensões admissíveis como também por considerações de produção. Cordões de solda pequenos aplicados a chapas grossas podem produzir trincas, enquanto que o acúmulo de soldas grossas pode causar um grande acúmulo de tensões residuais. Devem-se prever grandes folgas entre as soldas para se diminuir as tolerâncias na operação de soldas, conforme figura 2.11.

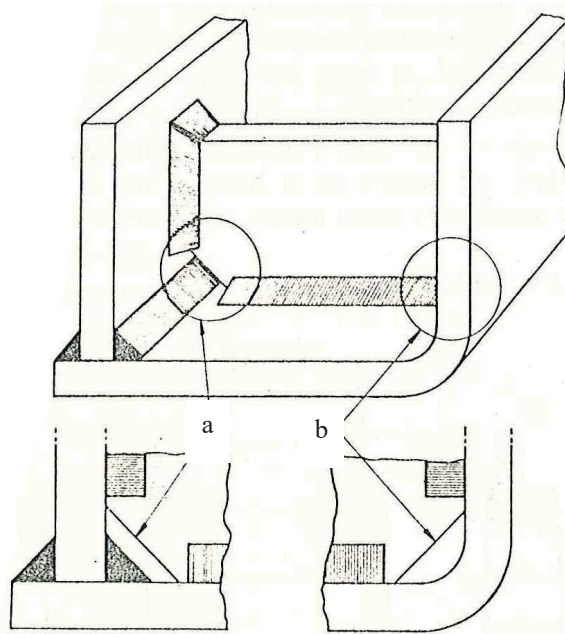


Figura 2.11 - Folgas entre superfícies soldadas  
Fonte: [45]

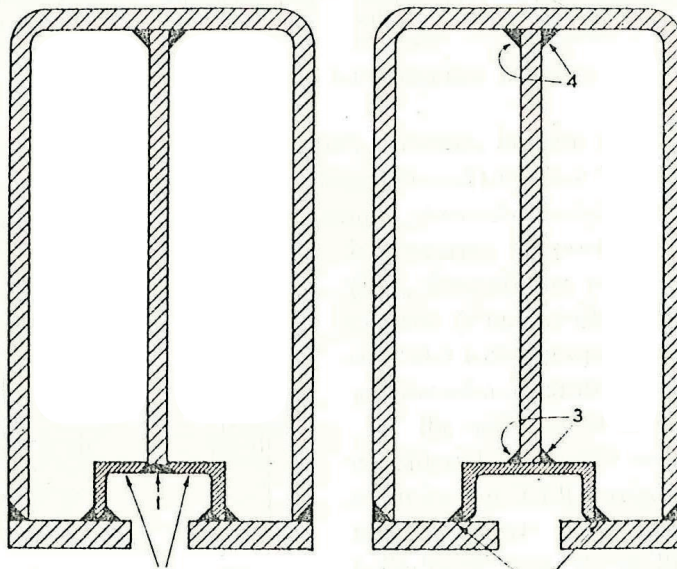


Figura 12 - Acesso das soldas  
Fonte: [49]



É importante também que a solda tenha bom acesso. Bom acesso resulta em soldas de boa qualidade, enquanto, que um projeto que tenha acesso restrito resultará em soldas de má qualidade ou improvisação na operação de solda conforme mostra a figura 2.12. Supondo-se a base em T em duas cantoneiras, a solda (1) pode ser facilmente executada numa operação final de soldagem. Se fizer esta base em T de um perfil aparentemente mais conveniente, as soldas 2, 3 ou 4 tornam-se difíceis ou até impossível de serem executadas. O cálculo mais cuidadoso de solda será inútil se a solda não for de qualidade.

Mancais podem ser projetados com solução soldada de diferentes maneiras. A figura 2.13 mostra algumas alternativas de projeto:

Alternativa a - solução mais econômica, porém frágil, sujeita a deformações.

Alternativa b - solução econômica e robusta.

Alternativa c - solução mais dispendiosa que b.

Alternativa d - solução mais dispendiosa que c, com localização facilitada.

Alternativa e - solução mais dispendiosa que d, com faceamento de um ldo da chapa.

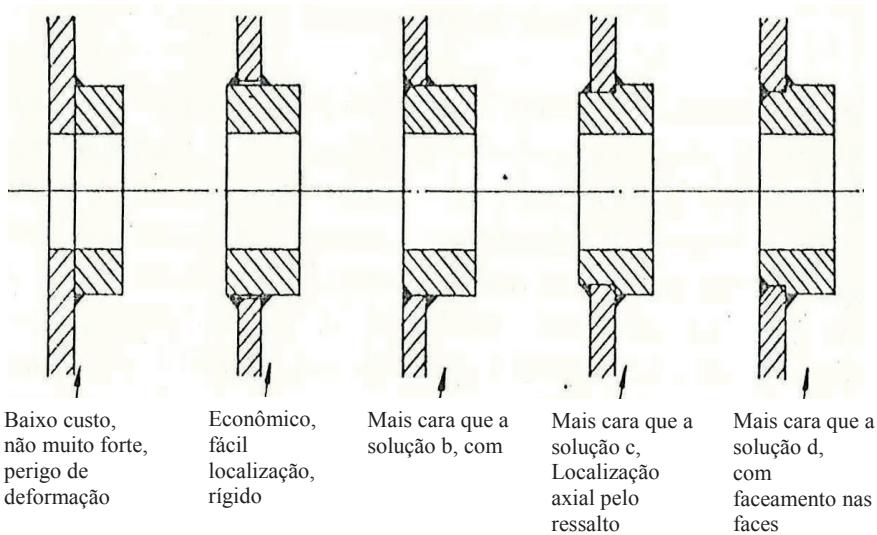


Figura 2.13 – Solda de mancais

Fonte: [45]

A deformação (empenamento), que ocasiona o aparecimento de folgas entre duas faces em contato, torna-se importante na usinagem de bases ou suportes. Se barras são soldadas em bases maiores, estas sofrem empenhamentos e distorções, que irão provocar a diminuição de suas secção durante as operações de usinagem posterior, conduzindo à redução da carga admissível e a vibrações indesejáveis conforme ilustra a figura 2.14.

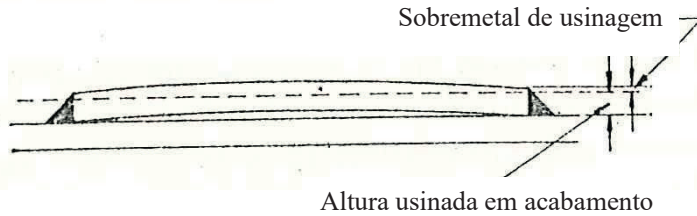
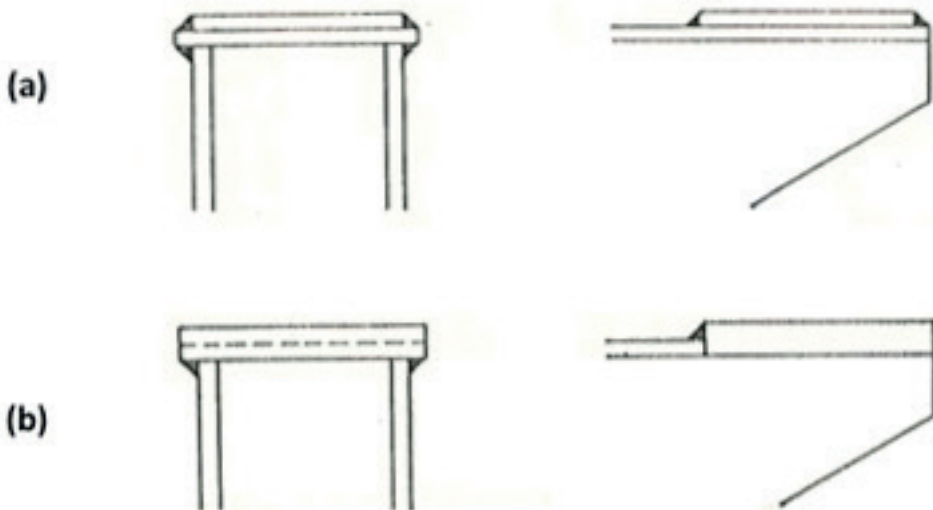


Figura 2.14 - Empenamento de barras soldadas

Fonte: [51]

A deformação das chapas pode ser eliminada, conforme figura 2.16. Apesar da solução da figura 2.15(a) ser a mais utilizada, a solução da figura 2.15(b) é preferível, além de eliminar operações de soldagem.



**Figura 2.15 – Solução para bases soldadas a serem usinadas.**

O controle da distorção durante a montagem da solda não depende somente do soldador, procedimentos e supervisão. Este pode ser obtida a partir de considerações apropriadas no projeto da peça. Quando se opera com chapas grandes e pesadas, entretanto, a distorção devida as operações de solda é menor que a imprecisão das chapas fornecidas a partir da operação de laminação. Exemplificando, um sobremetal de usinagem de pelo menos 20 mm deve ser previsto a fim de se assegurar que uma chapa a ser utilizada como mesa de prensa, com dimensões finais de 3.350 mm de comprimento x 1.100 mm de largura e 100 mm de espessura seja usinada.

Finalmente, o projetista não deve adotar formas e configurações produzidas por outros meios de fabricação. Exemplificando: em fundidos é comum observar-se reforços (geralmente triangulares) que  $90^0$ . entre si numa estrutura soldada tais reforços, por exemplo, entre o painel vertical e a base não são geralmente necessárias, além de ser prejudiciais, figuras 2.16(a). E 16(b).

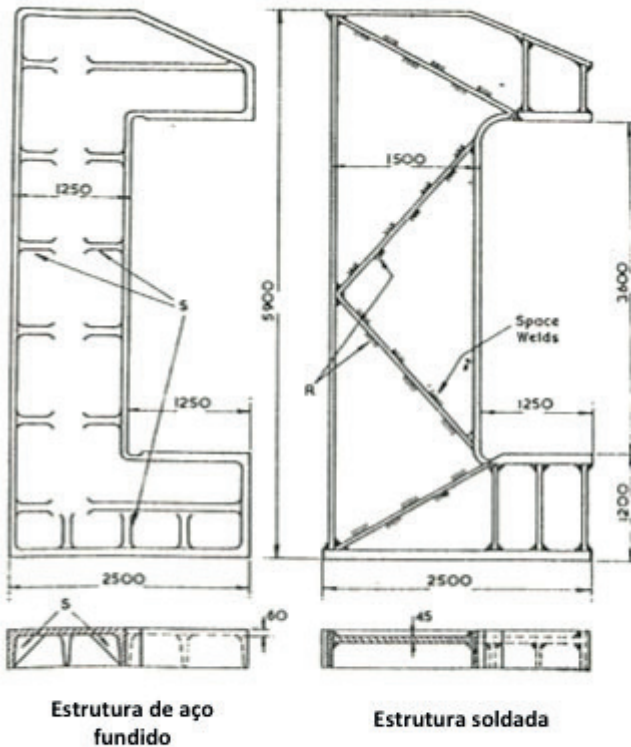


Figura 2.16 – Reforços em estruturas fundidas e soldadas

### 2.5.2.2 Peças fundidas

A uniformidade de resfriamento é uma das condições que afetam a estrutura cristalina e, por consequência, a boa qualidade das peças fundidas. A continuidade da formação cristalina é também perturbada por variações abruptas na espessura das paredes e pela presença de cantos vivos. A variação de esfriamento da superfície e do interior de peças com grande volume pode causar porosidade e vazios internos. Tensões devido à solidificação podem causar trincas se a estrutura não for suficientemente flexível a fim de permitir o aparecimento de pequenas distorções.

O projetista da peça, atento a esses parâmetros deve eliminar cantos vivos, variações bruscas de forma ou de espessura de paredes ou ainda grandes acúmulos de material, figura 2-17.

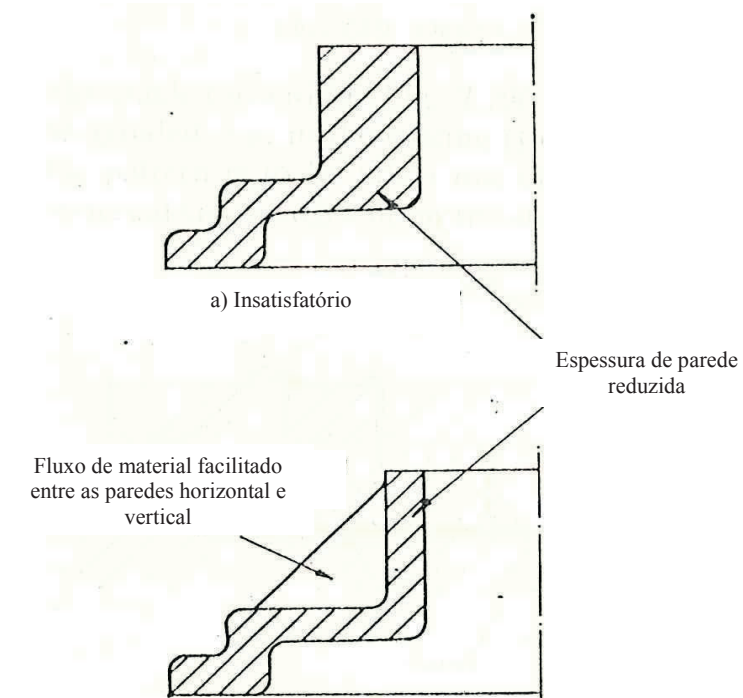
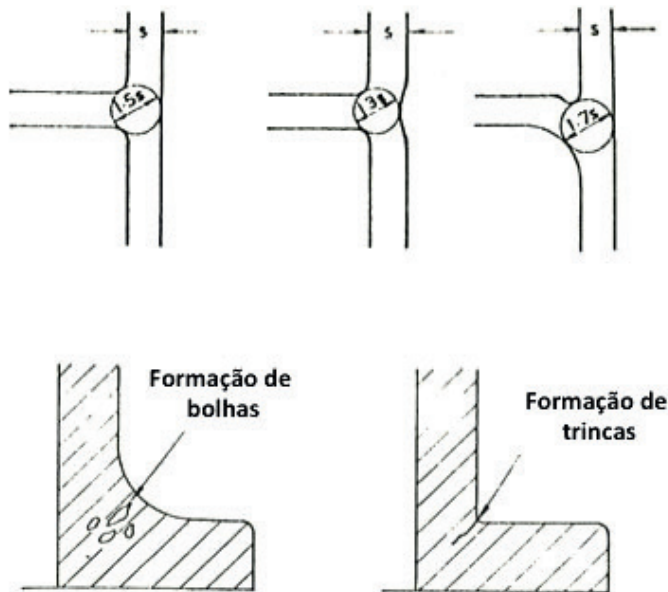


Figura 2.17 - Cuidados no projeto de peças fundidas

Fonte: [45]

Estes fatores podem ser controlados por meio de projetos que levam em consideração círculos inscritos, conforme mostra a figura 2.18. Formas lisas e suaves não só resultam em boa aparência como também contribuem para a boa qualidade da peça fundida.



**Figura 2.18 – Detalhes de projeto para peças fundidas**

Os grandes raios de arredondamento que criam grandes acúmulos de material e permitem a formação de bolhas são tão indesejáveis como cantos vivos, que facilitam a formação de trincas, conforme mostra a figura 2.18(c). Entretanto, nem sempre se pode evitar cantos vivos, como por exemplo, no fundido da figura 2.20, onde cantos vivos podem ocorrer na fundição do metal líquido sem dificultar a extração do molde. O efeito de cantos vivos externos nas condições de tensões solicitantes é menos pronunciado que em cantos vivos internos, pois as concentrações de tensão residuais são menos intensas, porém o perigo de lascar ou machucar os operadores não deve ser esquecido. O projetista de peças fundidas deve cumprir especificações do modelo e seu manuseio no molde especificações do modelo e seu manuseio, conforme mostra a figura 2.19.

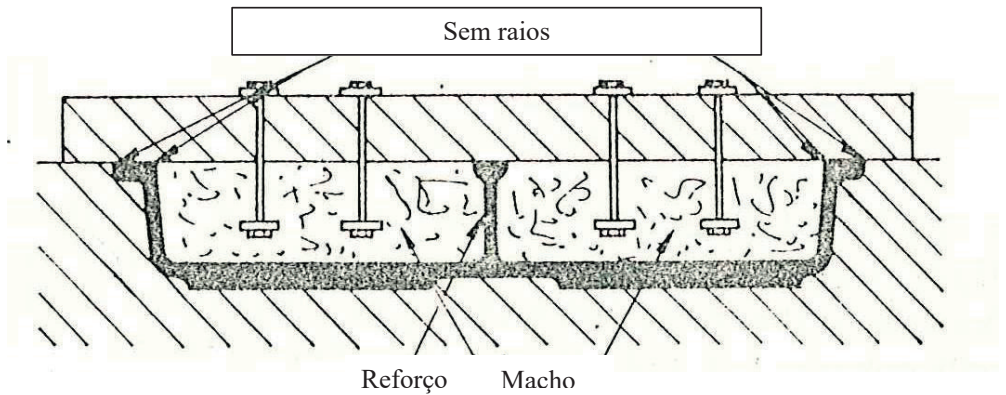


Figura 2.19 – Localização de uma peça fundida na caixa de moldar  
Fonte: [45]

Deve-se prover superfícies cônicas que penetram profundamente no molde de areia. A retirada do molde pode ser bastante facilitada. Pontos importantes a serem considerados são: a) Remoção conveniente e completa de alimentadores, b) Simplificação nas formas a fim de se reduzir os custos do modelo e de moldagem, c) Pequenas bossas que são mal localizadas pode provocar perda de peça na moldagem, devendo sempre ser evitadas; além de poder se deslocar durante a moldagem, ainda são difíceis de serem retiradas do molde. A figura 2.20 mostra como uma modificação simples pode eliminar este tipo de problema.

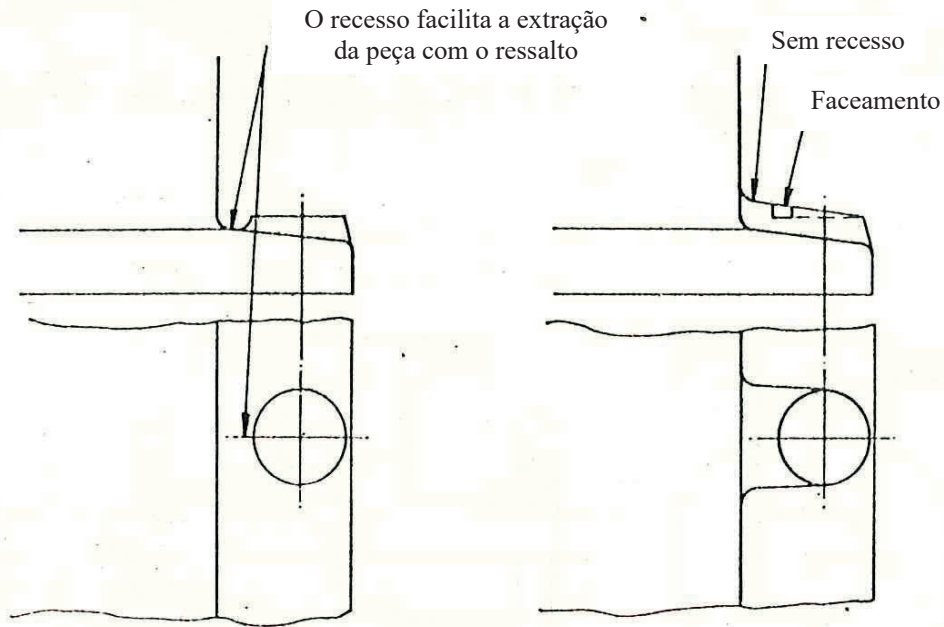


Figura 2.20 – Bossas em fundidos  
Fonte: [45]

A figura 3.22 mostra o exemplo de uma peça em formato em T, a figura 2.21(a) mostra o projeto da peça apresenta configuração mais pesada, necessitando maior trabalho de moldagem (2 canais de alimentação e 4 bossas) quando comparado ao projeto mais leve, figura 2.21(b) que necessita somente um canal de alimentação e um modelo sem bossas.

Quando o projeto necessitar, por questões de rigidez, que o arranjo de paredes grossas e finas seja inevitável, permitindo assim a trinca durante o resfriamento, as peças devem ser fundidas em partes separadas e parafusadas posteriormente.

Muitos dos princípios de projeto mencionados são aplicados, de alguma maneira, a fundição de tipos diferentes de materiais existe ainda a possibilidade de se inserir peças de alta resistência, fundindo-a em pelas fundidas de ligas leves, especialmente fundição sob coquilha. Neste caso, deve-se tomar o cuidado para que o fundido e o inserto, por exemplo, um parafuso uma porca, etc. sejam bem dimensionados de maneira que o inserto possa ser localizado firmemente no molde e, durante o resfriamento o material fundido fique preso ao redor do inserto sem trincar.

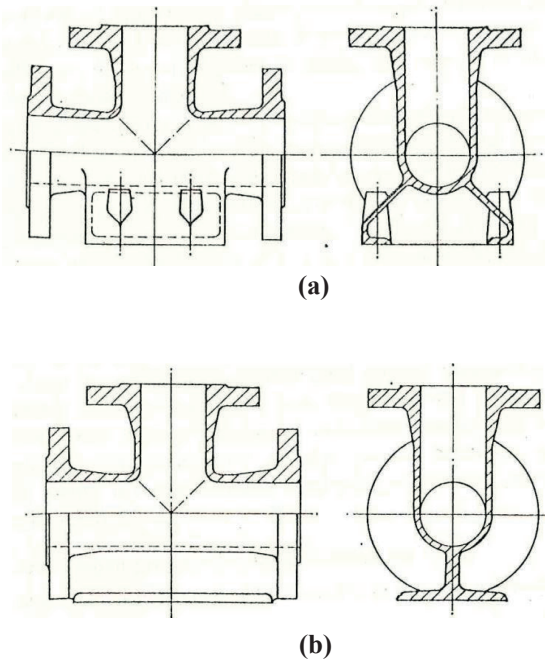


Figura 2.21 – Peças em T fundidas  
Fonte: [45]

### 2.5.2.3 Peças forjadas

Peças fabricadas em pequenos lotes ou mesmo individualmente podem ser forjadas em forjamento livre enquanto que peças fabricadas em grandes séries devem ser forjadas em equipamentos e ferramental especiais. Este só deve ser utilizado se o custo da matriz puder ser amortizado por um número grande de peças. O projeto de peças forjadas à mão deve buscar simplicidade das formas, evitar degraus cônicos (degraus retangulares são preferidos) e cantos vivos. Peças com protuberâncias tais como pequenas bossas, reforços, flanges no fim de eixos, etc. devem ser evitados ou reduzidos ao mínimo em suas dimensões.

Quando as quantidades requeridas justificam a preparação de ferramental especial, o projetista deve assegurar que as formas das peças assegurem um fluxo ótimo de material nas matrizes.

Deve ser considerado também que pode-se dispor de prensas de ação lenta ou martelos de altas velocidades, desde que se considere forjados com grandes seções transversais. Deve-se considerar cuidadosamente a localização do plano de divisão da matriz, o plano de contato entre as duas matrizes, com referências especiais às dimensões menores na direção da profundidade da



matriz. As laterais da gravação devem ter conicidades convenientes, que permitam a extração das peças da matriz.

Quando se necessita forjamento de profundidade, pode ser necessário matrizes de profundidade progressiva, com aumento considerável de custo de ferramental. Quando se melhora a qualidade das matrizes no caso de produção em massa, entretanto, pode resultar em economia de material devido à grande precisão obtida no forjamento. Os sobremetais médios necessários com relação as dimensões nominais da peça acabada para forjamento em martelos são

65 – 50 por cento quando produzidos com matriz de desbaste;

25 – 15 por cento quando produzidos com matrizes de desbaste e acabamento;

12 – 8 por cento quando produzidos com matrizes de desbaste, semiacabamento fino.

## 2.6 Peças usinadas

A grande maioria das peças que são manufaturadas contém em seu processo de manufatura, operações de usinagem; devido a isso, é importante o conhecimento das possibilidades e limitações dos vários processos de usinagem.

Os vários pontos a serem considerados, além da usinagem propriamente dita, são:

- 1) Movimentação e fixação da peça na máquina ferramenta;
- 2) Montagem e utilização de ferramentas e dispositivos de fixação;
- 3) Redução dos tempos de usinagem ao mínimo;
- 4) Facilidade de inspeção.

As peculiaridades das operações de usinagem, assim como das máquinas ferramentas devem ser consideradas pelo projetista no projeto das peças. É boa política para o projetista manter-se constantemente atualizado com as evoluções destas técnicas.

Plainas, frezadoras, plainas de mesa e algumas vezes mandriladoras verticais geram superfícies planas, quer para referências de usinagens posteriores, quer para alinhamento de componentes na montagem do conjunto. A precisão necessária para estas superfícies é, na maioria das vezes, bastante elevada, e o desenho da peça deve prevê-la através da fixação de tolerâncias, sejam dimensionais ou geométricas.

É necessário provêr no projeto, condições que possam minimizar, ou mesmo eliminar deformações das peças, quando de sua movimentação, fixação e corte durante a operação correspondente. As peças podem ainda se deformar quando de sua fixação na mesa da máquina ferramenta; desta maneira o acúmulo das tensões provêníentes da fixação e das forças de corte podem frequentemente causar deformações, e outros danos, é importante prever-se, para se apoiar um componente sem danos na mesa da máquina ferramenta, um aumento de rigidez nos pontos onde a fixação é feita se a remoção de material for grande. Normalmente este problema ocorre nas operações iniciais de usinagem, quando se cria todas as referências para as operações posteriores estas faces usinadas deverão ser dimensionadas a dar um bom apoio na usinagem na máquina ferramenta.

É necessário assegurar-se que os tempos de montagem, de corte e de inspeção sejam mantidos no mínimo possíveis, durante a operação de usinagem, que pode ser efetivadas por máquinas ferramenta convencionais ou de controle numérico. Nas faces de localização, todas as superfícies devem estar localizadas no mesmo plano, ao invés estarem em diferentes alturas e em vários ângulos.

Exemplificando, a construção prevista na figura 2.22, as duas superfícies de referência em planos diferentes, geram a necessidade de se controlar as dimensões na montagem da peça em frezadoras ou plainas.

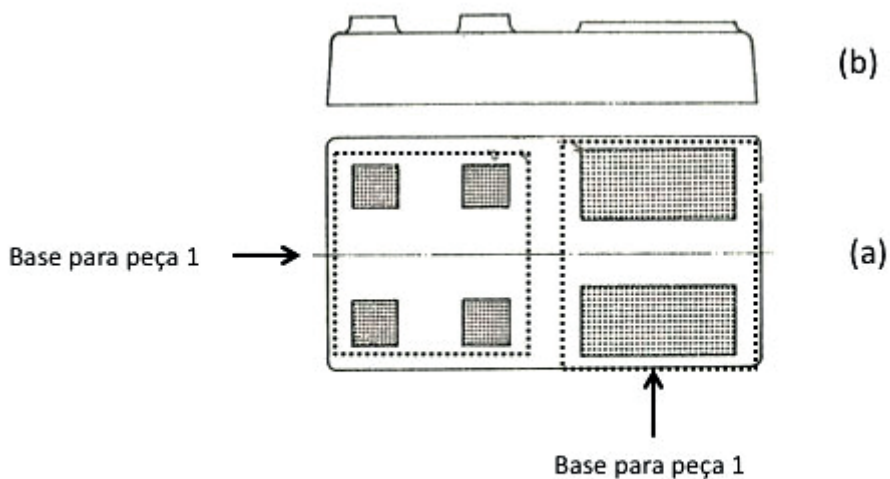


Figura 2.22 – Usinagem de base de assento de peças.

Esta condição pode ser evitada se se adotar a solução da figura 2.23. O volume de material a ser removido, e por consequência o tempo de usinagem, pode ser reduzido adotando-se duas superfícies de guia estreitas (linhas pontilhadas da figura 2.23) ao invés de uma única. Esta consideração é particularmente importante em operações de plainamento, onde o tempo de corte é quase diretamente proporcional ao comprimento a ser usinado. Poderá afetar operações de frezamento se a potência da frezadora for limitada para a usinagem da base inteira.

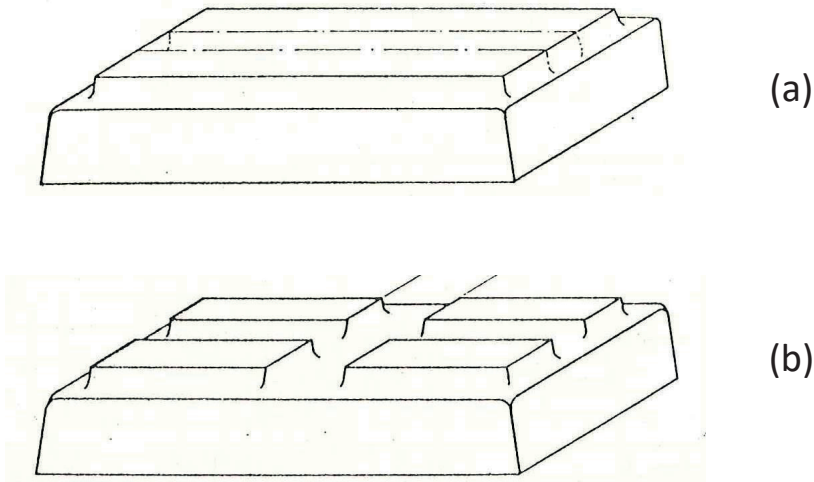


Figura 2.23 - Layout de faces usinadas em base de assento de peças

Fonte: [20]

Além disso, a relação entre a largura a ser usinada e diâmetro da freza, pode influenciar as flutuações da força de corte durante a usinagem, reduzindo-se os comprimentos a serem usinados como mostrados na figura 2.24 (b), não há redução de tempo, porém o intervalo “g” pouparia tempo de frezamento.

Há também necessidade de prever espaços para a saída da ferramenta, tanto em plainamento como em frezamento, conforme mostram as figuras 2.24.e 2.25.

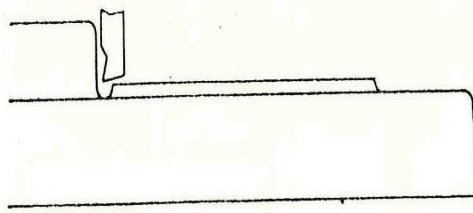
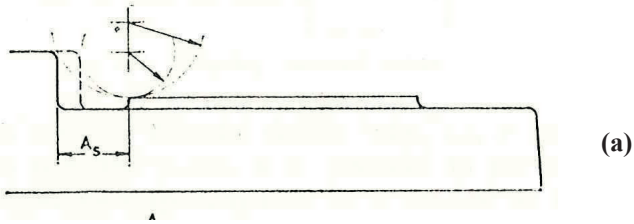
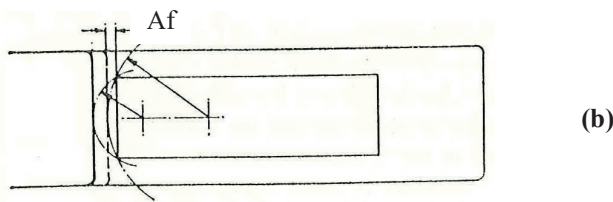


Figura 2.24 - Saída para ferramenta em plainamento  
Fonte: [20]



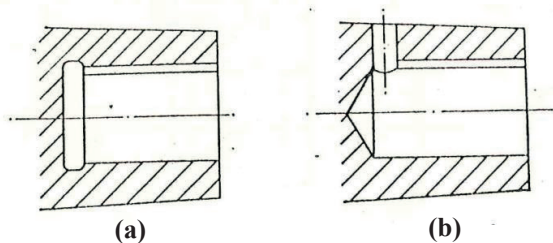
(a)



(b)

Figura 2.25 - Saída para ferramenta em fresamento  
Fonte: [20]

Analogamente, deve-se prever saídas para canais de chaveta, através de um canal feito. Em torno, ou através de duas furações a  $90^\circ$ , conforme mostra as figuras 2.26(a) e (b).



(a)

(b)

Figura 2.26 - Saídas de ferramenta para canais de chaveta  
Fonte: [20]

Ressaltos sem concordância entre as superfícies horizontal e vertical em eixos provavelmente diminuem a resistência à fadiga, além de dificultar a fabricação. Nesses casos deve ser substituído por um raio de concordância cujo valor deve ser especificado. Se não for crítico, o seu valor pode ser adotado como igual ao raio da ferramenta de corte, conforme mostra a figura 2.27.

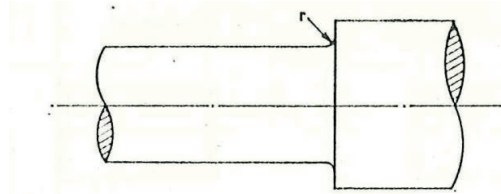


Figura 2.27 - Raios de concordância em operações de retificação

Fonte: [51]

A fim de se localizar outros componentes (exemplo rolamento), é preferível prever canais de saída (Figura 2.28), cujo formato deve ser verificado com relação a tensões resultantes da fadiga do material.

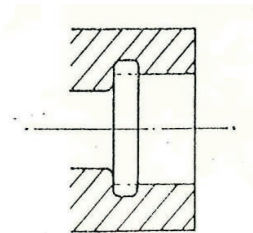


Figura 2.28 - Saída para se prever localização de rolamento

Fonte: [28]

Este mesmo raciocínio é aplicado à retificação, principalmente se o raio de concordância especificado exigir uma dressagem especial do rebolo, conforme mostra figura 2.29.

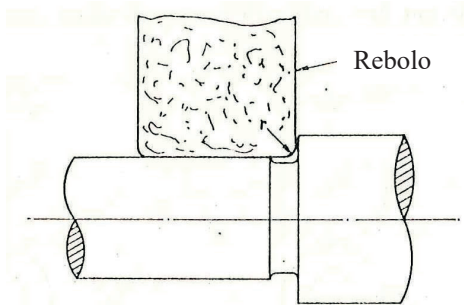
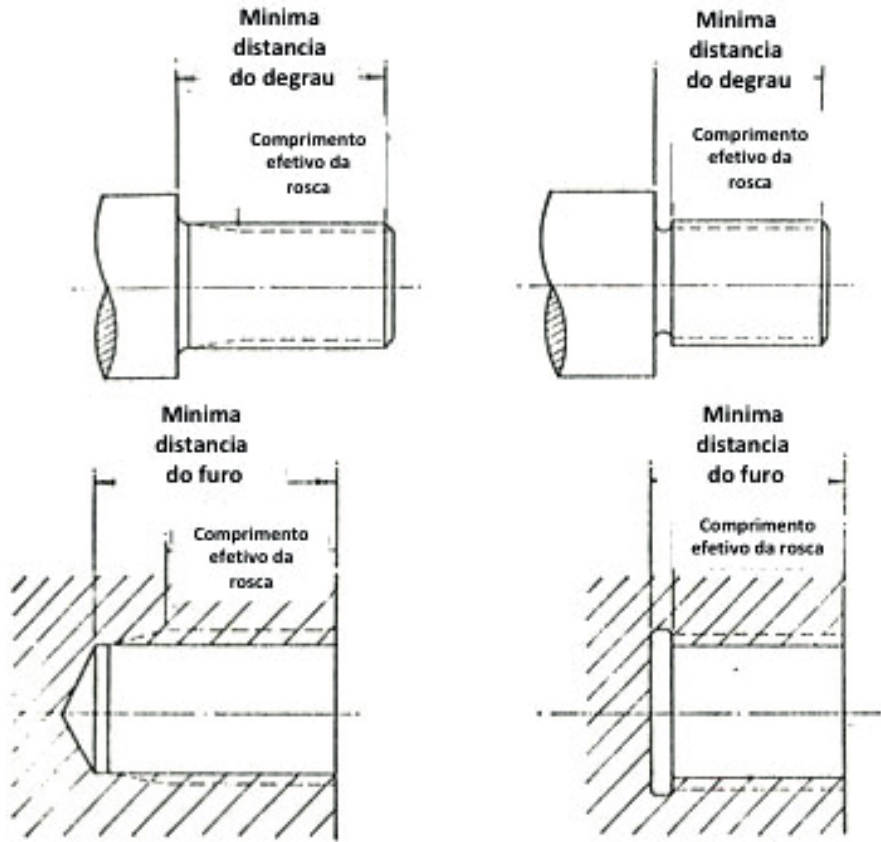


Figura 2.29 - Canais de saída em operações de retifica  
Fonte: [49]

As figuras 2.30 e 2.31 mostram o problema similar em furos cegos sem previsão ou com previsão de raio máximo e roscas.



Figura 2.30 - Furo cego com ou sem especificações de raio  
Fonte: [20]



**Figura 2.31 – Roscas externas e internas**

Apesar de que canais podem ser frezados mais rapidamente por frezamento em mergulho, (figura 2.33-a), requerendo menor curso que o frezamento horizontal (figura 2.33-b), é necessário assegurar-se que a curvatura do diâmetro da freza não interferirá com a aplicação pretendida. Além disso, o diâmetro da freza tem que ser escolhido tal que os espaçadores não atinjam a peça quando a dimensão final é obtida.

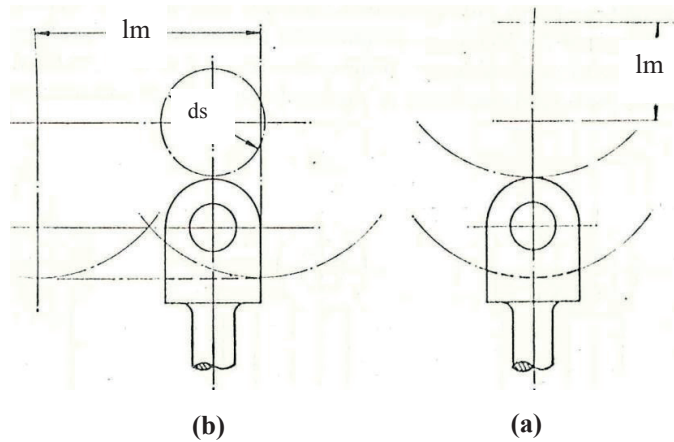


Figura 2.32 - Usinagem de rasgos  
Fonte: [45]

A necessidade de se terminar operações à mão pode ser eliminada sempre que possível por um projeto conveniente. Se a alavanca da figura 2.33 deve ser fabricada da peça em bruto sólida, o projeto da cabeça da alavanca requer frezamento de perfil, furação e acabamento manual não será necessário na figura 2.33 (b). O projeto mais simples será o da figura 2.33 (c), onde o perfil será obtido por torneamento e a cabeça acabada por furação e faceamento.

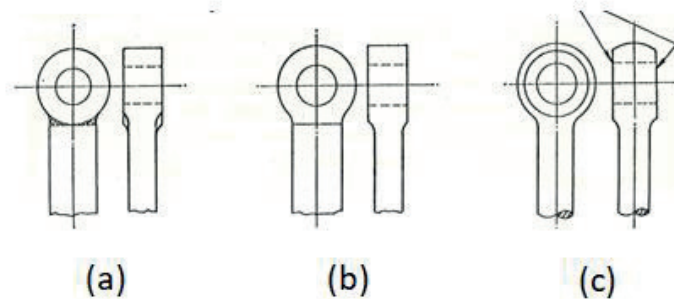


Figura 2.33 - Cabeça de alavanca  
Fonte: [31]



Operações em madriladoras e frezadoras horizontais são utilizadas para obter-se superfícies de referência para operações posteriores, ou localização precisa na posição de rolamentos de caixa de engrenagens, etc.

Algumas recomendações devem ser aplicadas, seja a máquina-ferramenta utilizada convencional ou de comando numérico.

1. A menos que se tenham equipamentos especiais para transferência da peça, tais como “pallets”, etc, todas as operações devem ser feitas quanto possível com uma única fixação da peça;
2. A posição das faces e linhas de centro deve ser definida de acordo com as necessidades funcionais;
3. O projeto deve permitir o uso de suportes porta ferramentas rígidos (diâmetros de barras de mandrilar os maiores possíveis, com o menor braço em balanço possível);
4. Fácil acesso para manipulação de ferramentas e equipamentos;
5. Furos cegos devem ser os mais possíveis evitados.

Quando se dimensiona o assento de rolamentos em uma caixa de engrenagens, a tolerância entre centros é importante: Os dispositivos de montagem nas mandriladoras, operadas manualmente ou por comando numérico, movimentam a mesa da máquina horizontalmente e o cabeçote verticalmente de um valor que resulta o posicionamento relativo sendo procurado.

A tolerância de posicionamento depende não só das especificações do projeto, mas também do procedimento operacional da máquina; para se projetar a peça de modo a se obter o melhor posicionamento, deve-se haver cooperação e trabalho conjunto entre o projetista e o engenheiro de fabricação.

O mesmo raciocínio aplica-se ao aumento ou redução de tolerâncias. O projetista primeiro decide qual tolerância é essencial, enquanto que o engenheiro de manufatura deverá opinar sobre a abertura de certas tolerâncias ou ainda se o total acumulado das tolerâncias deve ser limitado.

O critério de especificações das tolerâncias entre centros, também não é fixo. Se o trem de engrenagem for simples, cada tolerância pode ser especificada individualmente, conforme figura 2.34, para as distâncias a, b, c.

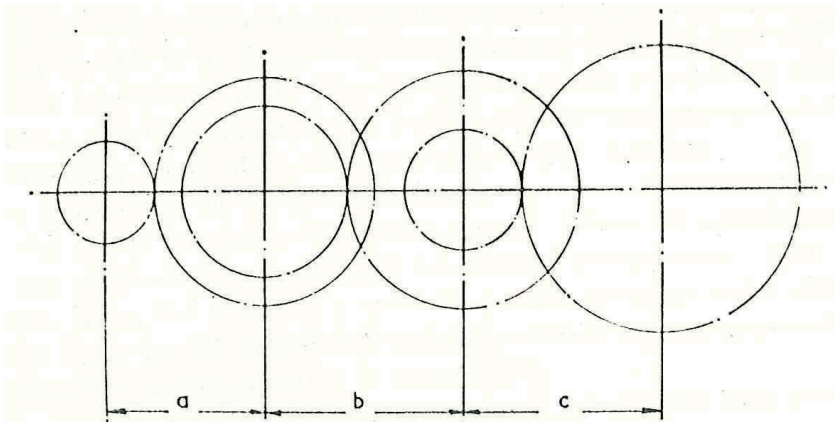


Figura 2.34 - Tolerâncias para distâncias entre centros para um trem de engrenagens simples  
Fonte: [31]

Outro aspecto importante no projeto voltado para a manufatura em uma mandriladora é concernente ao uso de controle manual ou numérico. Quando a mesa e o cabeçote são posicionados manualmente pelo operador, através de uma escala ou micrométrica de precisão, deve-se prever variações devido a dispersões inevitáveis na montagem e leitura dos instrumentos; resultando em desvios de repetibilidade. A fim de se manter estes desvios pequenos deve-se permitir ao operador o ajuste das escalas. O tempo necessário será mais longo que o necessário para se perfazer todas as operações de mandrilamento, alargamento, faceamento, roscamento, etc., sem troca de posição, a fim de se assegurar que os desvios de coaxialidade mantenham-se dentro dos limites estabelecidos pela tolerância especificada no desenho da peça.

## 2.7 Padronização

A importância da redução da variedade de peças como ajuda a se melhorar a economia em produção foi reconhecida de longo tempo. A aplicação extrema deste princípio tomava, por exemplo, Henry Ford, quando determinava que *“qualquer cor de carro, desde que fosse preta”*. Daí observou-se a introdução de grandes padronizações em escala industrial, tanto nacional como internacional, para elementos componentes ou unidades que podem ser aplicadas a uma grande quantidade de produtos projetistas e engenheiros e produção têm desenvolvido esforços no sentido de reduzir os tempos e os esforços necessários para especificações de montagens especiais em máquinas ferramentas e equipamentos, além de aumentar as quantidades de

produtos que podem ser fabricados em lotes, preferencialmente em fábricas com layout especiais. Porém, apesar de todas as vantagens que podem ser conseguidas, existe certa reação por parte dos projetistas à padronização, que sentem com isso uma diminuição de sua liberdade de criação. Eles não se conscientizam de que com a utilização de componentes padronizados, podem concentrar-se na solução de problemas tecnológicos do projeto, sem perder tempo com soluções já estabelecidas, ou que podem ser estabelecidas com maior eficiência por especialistas. A padronização de peças usadas em pequenas quantidades em indústrias diferentes permite aos fabricantes que se especializem neste tipo de fabricação, produzam grandes lotes, o que não seria possível de outra maneira.

Embora a padronização de tempo, dinheiro, pesos e medidas existam desde muito tempo em vários países, o começo da padronização em engenharia data da metade do século XIX. O elemento de máquina mais comum foi padronizado em 1841 por Joseph Whitworth e foi seguido pela padronização das especificações de material, arames, chapas e laminados, chavetas – parafusos, porcas, etc.

O termo padronização é comumente empregado para materiais, peças e mecanismos. Uma aplicação importante prende-se ao uso de dimensões e outros valores numéricos cuja padronização pode reduzir consideravelmente trabalho de projeto, ferramental e custo de fabricação.

A padronização de. Especificações de material, cobrindo composições, propriedades mecânicas, tamanho resulta uma simplificação nas compras, teste, inspeção. E armazenamento de produtos.

Juntamente com a padronização dos ajustes e desvios, a padronização de diâmetros inclinação de cones conduz a redução de estoques de brocas, alargadores, calibradores. A padronização de raros itens usinados e fundidos reduz o número necessário de ferramentas de perfil. A padronização de relação de reduções para avanços e relações das máquinas ferramentas ajusta não só a simplificação do trabalho do projetista, como também o planejamento de produção das fábricas.

O objetivo da padronização é, portanto, de um lado a eficiência e economia no uso do esforço humano, e por outro a economia na variedade e estoque de materiais e, portanto a

redução do capital empregado e o aumento do seu giro. As padronizações podem ser divididas em:

#### a) Padronização básica

As padronizações de itens que são aplicados em todos os campos de vida industrial números preferenciais, dimensões preferenciais, escalas e pesos, pressão de ar em linhas de pressão, perfis de roscas, tolerâncias e ajustes, rugosidade superficial, procedimentos de testes, etc. Esta parte é bastante conhecida na literatura e não será apresentada aqui.

#### b) Padronização dimensional de componentes de engenharia

Deve-se utilizar nos projetos de produtos e seu respectivo detalhamento em peças componentes, parafusos, porcas, travas, chavetas, módulo de engrenagens. O uso de componentes padronizados evita perda de tempo no dimensionamento desses componentes. A utilização de componentes dessa natureza não padronizados só deve ocorrer em casos especiais, principalmente direcionados pela necessidade dos projetos sendo desenvolvidos.

A metodologia utilizada para reduzir a variedade de peças é a aplicação de *Tecnologia de Grupo*. Classificando-se as peças de acordo com suas formas ou suas peculiaridades tecnológicas é possível reuni-las em grupos ou famílias, de tal maneira que possam ser usinadas em famílias. Uma das práticas utilizadas consiste na classificação de peças podem ser classificados cada um por codificação numérica, de maneira a poder agrupá-los para se formar lotes econômicos. A codificação dada na tabela 2.1 permite ao projetista localizar facilmente componentes de formas definidas e adaptar seus projetos a se utilizar de peças existentes. As principais vantagens de aplicação de Tecnologia de Grupo estão exemplificadas na tabela 2.1.

Quadro 2.1 – Aplicação da codificação e classificação

(continua)

Nº	Depto. Envolvido	Vantagens obtidas
1	Projeto – Produto Normas Técnicas	Redução de variação das peças Reconhecimento de peças similares ou repetidas Padronização de componentes facilmente identificáveis

(continuação)

2	Planejamento de Produção Controle de Produção	Uso de peças repetitivas Utilização de tempos padrão Viabilização para controles por computador
3	Produção. Equipamentos	Adaptação da máquina ferramenta às peças necessárias

Fonte: Elaborado pelo autor.

Apesar dos exemplos mencionados cobrirem principalmente peças, a padronização pode cobrir também montagens completa tais como motores elétricos, unidades hidráulicas, etc. O problema muda de caráter quando um método de redução de variação é aplicado ao projeto de fabricação de unidades mais especializadas e selecionadas a um tipo particular de máquina produzida por uma companhia.

## 2.8 Fatores que afetam os custos de produção

A fim de se assegurar que seus produtos são competitivos no mercado não só tecnicamente, mas também economicamente, o projetista deve sempre ter em mente o custo de fabricação. Entende-se por custo de fabricação os custos de matéria prima, dos processos de fabricação, custo de ajustagem e montagem, além de custos de depreciação, indiretos, etc.

É também importante lembrar que os custos não devem ser considerados como o fator exclusivo e decisivo. Exemplificando, quando especificações funcionais tais como segurança do homem, qualidade, custos de operação e facilidades, manutenções podem ser significantes. Entretanto, em qualquer referência que se faça a análise de valores, o custo de fabricação ocupa um lugar importante dentro das condições citadas acima.

Os fatores que influem no custo de fabricação são:

- a) custo do material;
- b) custo da mão de obra;
- c) overheads (custos de investimento, salários indiretos, manutenção, etc.)

A escolha do material e a determinação de um processo de fabricação adequado dependem de fatores que são em parte tecnológicos e em parte circunstanciais. Exemplificando, enquanto que o tamanho do lote influencia a escolha de equipamento e ferramental, os custos

podem ser rateados por números grande de peças (por exemplo, tempo de montagem), as condições de entrega da matéria prima, capacidade instalada da fábrica, equipamentos ou habilidades especiais na fábrica são também influentes. Já foram discutidos anteriormente os fatores que podem influenciar o custo do material (estrutura soldadas ou fundidas), assim como a interrelação dos custos de material, mão de obra e ferramental especial. O custo de mão de obra direta para uma operação de manufatura é determinada pelo tempo “chão a chão”. Este tempo é afetado não só pela distribuição do material a ser removido durante a operação, mas também pelos tempos não produtivos, que podem ser dependentes do processo utilizado. Exemplificando; curso de retorno das plainas, ou dependentes do operador, tais como fixação, calibragem, medição e operação dos controles da máquina ferramenta. O projetista pode reduzir este tempos não produtivo, por exemplo, minimizando a necessidade de se variar montagens de máquinas, ou adaptando seus projetos para atender certas especificações de processo.

O problema torna-se um pouco mais complexo quando os custos de “overhead” também variam consideravelmente com o tipo de fábrica. Um exemplo típico é o custo de uma peça torneada, usinada em lotes diferentes em três tipos de tornos diferentes. Neste caso, o custo de usinagem, que envolve o custo de matéria prima e mão de obra o custo de investimento, provindo do preço da máquina ferramenta empregada. O tempo “chão a chão” por peça é menor nos tornos de controle numérico, que tem o maior custo de investimento. O tempo de montagem mantém-se entre os correspondentes para o torno convencional e o torno mecânico. Com o torno operando normalmente, o tempo “chão a chão” é ligeiramente superior, mas o custo de investimento é menos da metade; ainda que o tempo de montagem seja grande, seu efeito começa a se tornar desprezível acima de certa quantidade de peças. O custo de investimento e o tempo de montagem são os mais baixos para os tornos mecânicos, porém o seu tempo chão a chão é muito maior, conclui-se que este tipo de máquina somente será econômico para baixas séries.

## **2.9 Metodologia para geração de roteiros de fabricação e operações utilizando-se regras de precedência**

O planejamento de processos de fabricação, apesar de ser largamente utilizado por empresas que manufaturam produtos, ainda necessita de mais ordenação e regras que assegurem que eles sejam capazes de serem desdobrados para outras pessoas através de um processo

estruturado de aprendizado. Atualmente, este aprendizado ocorre primariamente através da prática diária de engenheiros e técnicos dos departamentos de Engenharia de Fabricação. Entretanto a organização tecnológica dos roteiros e operações de fabricação exerce uma função importante na obtenção das condições de intercambiabilidade dos produtos, devido a que esta ser obtida quando a peça produzida atinge as suas especificações dentro das tolerâncias do desenho e projeto do produto. Além disso, a Estabilidade do processamento das peças determina também a estabilidade dos custos dos produtos, facilitando conseqüentemente o cálculo dos parâmetros financeiros, tais como lucro, custo de inventários, além do planejamento do chão de fábrica. Devido a todas essas necessidades, o desenvolvimento do planejamento de processos necessita utilizar-se de um conjunto de regras que irá ordenar, num enfoque estruturado, a seqüência e encadeamento das operações, definindo a seqüência do roteiro e o respectivo detalhamento das operações, especificando dimensões, tolerâncias dimensionais, geométricas e metalúrgicas para cada operação e o sobremetal entre operações.

### 2.9.1 METODOLOGIA

Será apresentada metodologia para gerar roteiros de fabricação e o detalhamento das operações através da aplicação de regras de precedência para ordená-las e conectá-las logicamente. A maioria da literatura em tecnologia de manufatura foca-se no desenvolvimento de processos de fabricação propriamente ditos, num enfoque fenomenológico, sem interação entre as várias características com o encadeamento lógico das operações dos roteiros de fabricação. A ordenação e encadeamento das operações do roteiro de manufatura usando regras de precedência tem como objetivo criar uma estrutura (framework) para a ordenação lógica das operações, repondo o conhecimento tácito que provém da experiência dos engenheiros e técnicos de manufatura para conhecimento estruturado.

A metodologia de geração de roteiros e operações é composta dos seguintes passos:

#### ***Passo 1- Determinação da última operação, de tal modo que a peça tenha conformidade com as especificações do desenho da peça***

Este passo define as especificações a serem atendidas na última operação, tal que as especificações da peça obtidas nesta operação são as mesmas do projeto da peça. As

especificações do projeto da peça devem ser bi-univocamente determinada nas operações finais do roteiro de fabricação.

### ***Passo 2 – Determinação da primeira operação do roteiro de fabricação***

A primeira operação do roteiro de fabricação deve ser escolhida para operar com tolerâncias maiores que as especificações dimensionais, geométricas e metalúrgicas correspondentes as das operações finais que determinam as especificações do projeto da peças. A geometria que melhor se ajusta para a geometria da peça deve ser selecionada, para facilitar a sequência das operações e obtenção da operação final.

### ***Passo 3 – Determinação das operações intermediárias***

O roteiro é completado com a determinação das operações intermediárias, colocadas entre a primeira e últimas operações. As operações intermediárias complementam e permitem a obtenção das especificações, iniciando-se com as especificações contidas nas operações iniciais, estabelece a evolução de precisão dos processos de manufatura, a limitação da sequência das operações, as tolerâncias operacionais e o respectivo sobremetal entre as operações encadeadas.

A figura 2.36 mostra as principais correlações e encadeamentos entre as especificações da peças, as operações iniciais, operações intermediárias e operações finais, levando-se em conta a necessidade se se dimensionar o sobremetal entre operações.

Deve-se levar em conta que esse caminho lógico ordena os passos a serem seguidos, que iniciam-se com as especificações do desenho e terminam com a execução das operações finais, obtendo-se assim a garantia que a peça física será imagem e semelhança do respectivo desenho do produto, garantindo- se a qualidade projetada no produto, além de sua intercambiabilidade.

A geração do roteiro de fabricação, conforme explanado acima, necessitará um enfoque lógico para ordenar e encadear as operações de fabricação. Atendendo este objetivo, será detalhado a seguir as regras de lógica que irão permitir a ordenação e o encadeamento das operações do roteiro de fabricação.



### 2.9.2 REGRAS DE PRECEDÊNCIA

O roteiro de fabricação fixa a sequência lógica das operações para manufaturar uma determinada peça. Para definir este sequenciamento e encadeamento, deve-se fixar regras a serem seguidas para estruturar esta lógica, afim de assegurar a sequência das operações, iniciando-se com as operações iniciais, sequenciando-se com as operações intermediárias e terminando-se com as operações finais, que irão produzir a peça com as mesmas especificações do seu respectivo desenho. Essas regras são definidas com **Regras de Precedência**, que irão ordenar a aplicação das tecnologias de manufatura, tais como tolerâncias das operações, dispersões do sistema máquina ferramenta- ferramenta de corte – dispositivos de fixação- peça obra, capacidade dos processos, determinação da remoção de material (sobremetal de usinagem) removido entre as operações.

As regras de precedência, sendo estruturadas como regras de lógica, ordenam e priorizam o conhecimento de vários processos de fabricação, tomando em consideração o conhecimento disponível de usinagem, forjamento, montagem, pintura, e tratamentos térmicos; além disso, utilize as teorias de acúmulos de tolerância capacidade dos processos, etc.

Na atividade de planejamento de processos, conforme já foi definido, estabelece-se o caminho lógico para encadeamento das operações do roteiro de fabricação.

Para que se possa estabelecer este encadeamento e ordenação, são fixadas regras, que devem ser atendidas para definir a lógica estruturada do roteiro. São definidas as **regras de precedência**, a partir do conhecimento dos principais parâmetros que constituem a tecnologia de manufatura, tais como:

- Tolerâncias especificadas
- Dispersões do sistema máquina - ferramenta - dispositivo - peça
- Capacidade dos processos, obtidos através das técnicas de controle estatístico dos processos
- Determinação de sobremetal entre operações do roteiro.

As regras de precedência, por serem regras de lógica estruturada, seguem e hierarquizam o conhecimento adquirido nos diversos processos de manufatura, levando-se em conta as teorias de usinagem, conformação, montagens, pintura, disposição de metais e tratamentos térmicos; levam ainda em conta as teorias de acúmulo de tolerância, capacidade de processos, etc.

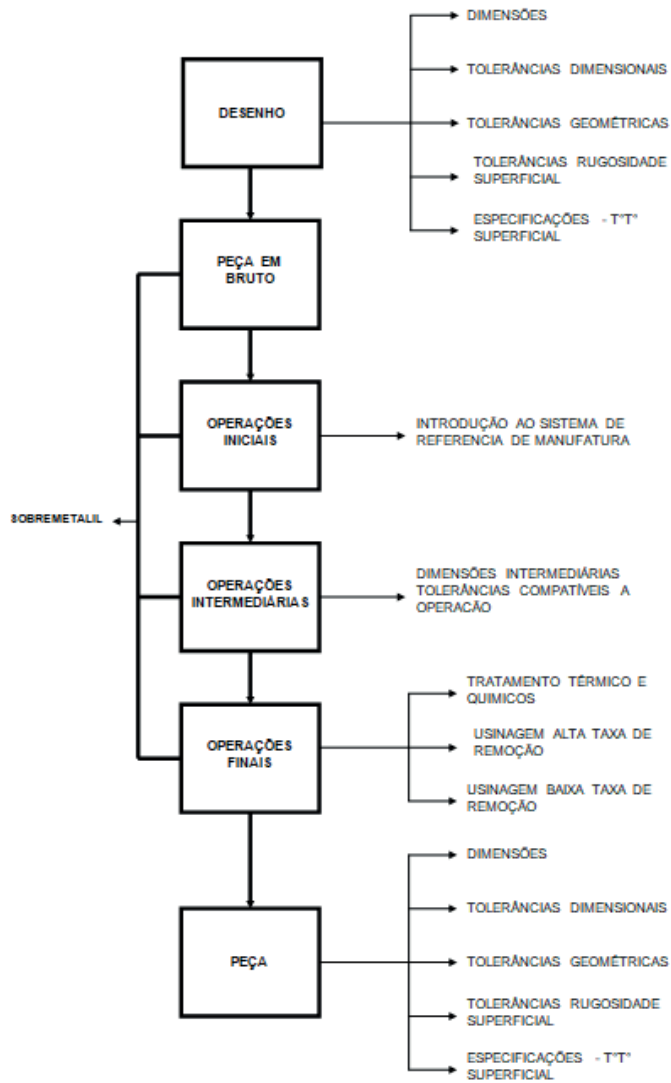


Figura 2.35 - Roteiro básico para fabricação de peças  
Fonte: Elaborado pelo autor.

As regras de precedência aplicadas aos processos de manufatura são um caso particular das regras de precedência aplicadas às atividades dos processos de negócio.

As regras de precedência são enumeradas na tabela 3.1:

Quadro 2.2 – Regras de Precedência

1.	<b>A última operação do roteiro deve gerar a peça, a qual deve ser equivalente ao respectivo desenho.</b>
2.	<b>As especificações finais são obtidas de acordo com a capacidade dos processos.</b>
3.	<b>A evolução da precisão do roteiro vai dos processos menos precisos para os mais precisos.</b>
4.	<b>A colocação lógica e ordenada das operações do roteiro depende da limitação dos processos.</b>
5.	<b>As tolerâncias e especificações devem manter compatibilidade com as dispersões do sistema máquina - ferramenta - dispositivo – peça.</b>
6.	<b>A condição necessária para que uma determinada operação do roteiro seja efetivada consiste que ela permita a execução das operações posteriores, encadeadas a ela.</b>
7.	<b>A condição suficiente para que uma determinada operação do roteiro seja efetivada é que ela própria seja executada a partir das operações anteriores do roteiro de fabricação.</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

As regras de precedência são detalhadas abaixo:

**Regra de precedência 1: A última operação do roteiro deve gerar a peça, a qual deve ser equivalente ao respectivo desenho.**

Esta regra estabelece que a última operação do roteiro de fabricação deve estabelecer as especificações finais contidas nos desenhos, ou seja, a peça na última operação do roteiro de fabricação deve estabelecer as especificações de materiais, tratamento térmico, e desvios dimensionais e geométricos. Desta maneira, ela atenderá o princípio da intercambiabilidade. Deve-se notar que, neste caso, as operações finais podem ser mais do que uma, ou seja, operações de usinagem atendem tolerâncias dimensionais e geométricas, operações de tratamento térmico atendem especificações metalúrgicas, operações de deposição química atendem especificações químicas e operações de montagem final atendem as suas especificações de montagem do produto correspondente.

**Regra de Precedência 2: As especificações finais são obtidas de acordo com a capacidade dos processos.**

Esta regra estabelece que, após a determinação da operação final, conforme explicado na regra 1, é necessário selecionar das máquinas ferramentas, dispositivos de fixação, ferramentas de corte, tal que, na verificação da capacidade do processo sendo executado, a dispersão das características do sistema MFDP – máquina ferramenta-ferramenta de corte- dispositivo de fixação – peça, está dentro de especificações aceitas. Entendem-se como características as tolerâncias dimensionais, geométricas, metalúrgicas, etc. Para a determinação da capacidade do processo de cada processo de fabricação deve-se aplicar a metodologia de controle estatístico de processos. A aplicação desta regra é facilitada se a base de dados das capacidades dos processos é disponível na base de dados de manufatura da empresa.

**Regra de Precedência 3: A evolução da precisão do roteiro vai dos processos menos precisos para os mais precisos**

Esta regra leva em consideração a capacidade do sistema MFDP – máquina ferramente-ferramenta de corte- dispositivo de fixação – peça – e sua respectiva dispersão natural. Apesar de parecer bastante intuitiva, a aplicação desta regra previne que operações menos precisas sejam colocadas após as mais precisas, causando rejeições desnecessárias. Esta regra terá aplicação facilitada se estiver disponível uma base de dados com as capacidades dos processos, o que irá facilitar a ordenação das operações. As dimensões de duas peças quaisquer de um mesmo lote de peças fabricadas, são diferentes esta variação de dimensões é determinada por uma série bastante grande de fatores. Os principais fatores de influência são a máquina--ferramenta, o dispositivo para fixação e localização da peça, o sistema de fixação da ferramenta de corte, a ferramenta de corte, as peças em bruto e o ambiente de trabalho. Por várias razões, todos esses fatores variam continuamente, conduzindo às variações no processo de fabricação e, por consequência, nas dimensões finais das peças sendo fabricadas.

Supondo-se que um lote de uma peça seja fabricado pelo mesmo processo de fabricação, as peças deste lote diferirão entre si e da peça considerada *ideal*. Em todas as suas características, de qualidade, como dimensões, desvios de forma e posição, rugosidade superficial, etc. este

fenômeno é conhecido por *dispersão* das características de qualidade do produto sendo fabricado. Tal fenômeno determina a confiabilidade do processo de fabricação escolhido.

Para a determinação e resolução dos problemas referentes à precisão das peças usinadas, são utilizadas as formulações matemáticas da estatística e da teoria das probabilidades. O método mais simples para a determinação da dispersão, dentro de um processo de fabricação, de uma das características de qualidade, é a construção de Diagramas de Controle Dimensional e seus respectivos gráficos de frequência. O Diagrama de Controle Dimensional é construído do seguinte modo: no eixo das abcissas são locados os números correspondentes às peças em fabricação; no eixo das ordenadas são locados os valores da característica de qualidade escolhida para a peça correspondente. Como esses diagramas são levantados para lotes com grande quantidade de peças, o procedimento deverá ser: a) para lotes relativamente pequenos, as peças a serem medidas deverão ser escolhidas em intervalos regulares; b) para lotes repetitivos de fabricação, deverá ser escolhida uma amostra correspondente a cada lote. A fim de que os valores sejam compatíveis, as amostras deverão ter sempre o mesmo número de peças.

O diagrama da Fig.2.37 representa os resultados de medição em amostras constituídas de cinco peças.

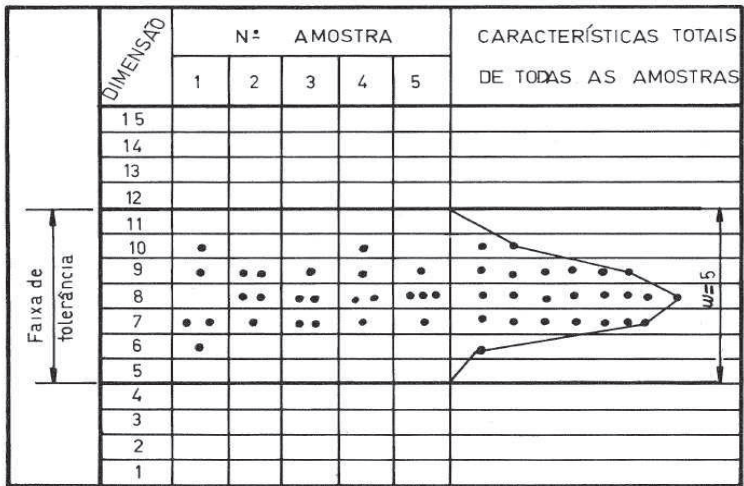


Figura 2.36 - Diagrama de controle dimensional

Fonte: [1]

Os Diagramas de Controle Dimensional podem ser construídos com o mesmo procedimento para qualquer característica de qualidade. Assim, por exemplo, podem ser determinados desvios de perpendicularismo de uma superfície de uma peça a outra, desvios de dureza de uma superfície, a resistência elétrica de uma peça, variação do tempo de retificação em um lote, conicidade de peças, etc.

Se forem definidas, para uma dada característica:

$A_{max}$  — máximo valor verificado,  $A_{min}$  — mínimo valor verificado

Após a medição das peças e a construção do Diagrama de Controle Dimensional, poder-se-á construir uma curva da seguinte maneira: no eixo das abcissas agrupam-se dimensões por ordem crescente, desde  $A_{min}$  até  $A_{max}$ , sendo  $A$  a medida nominal. No eixo das ordenadas é lançada a frequência de repetição  $m$  dos intervalos de medida observados dentro do lote total de  $n$  peças. A curva assim obtida é a expressão gráfica das dimensões verificadas para  $n$  peças de um mesmo lote, ou de lotes diferentes, quando é adotado o critério de amostras representativas de cada lote; são conhecidas como Gráficos de Frequência, onde a relação  $m/n$  representa a probabilidade de ocorrência de uma determinada dimensão em um lote qualquer de peças. Quando o número de peças tende a um número muito grande, teoricamente infinito, e seus respectivos intervalos de medida tornam-se infinitamente pequenos, a linha quebrada provêniente do Gráfico de Frequência transformar-se-á em uma linha contínua que será, então, a curva teórica de variação da dispersão. Pode ainda ser conhecida como curva de distribuição normal de frequência ou curva de distribuição de Gauss (figura 2.37).

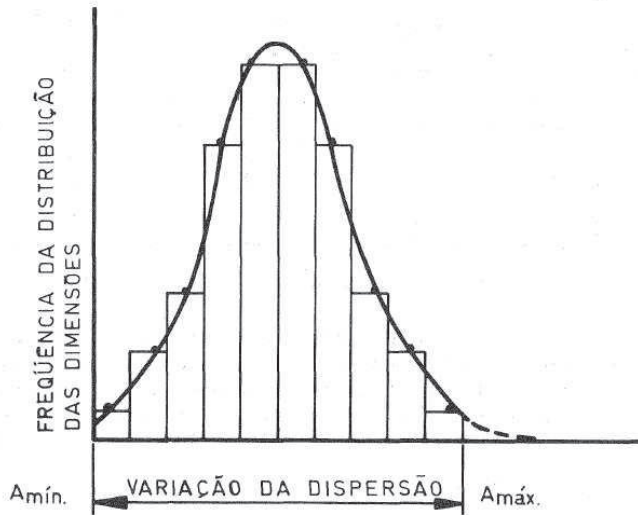


Figura 2.37 - Gráfico de frequência para uma característica de qualidade  
Fonte: [1]

Conclui-se, portanto, que a dispersão resultante da ação de um grande número de fatores da mesma ordem de grandeza, independentes um do outro ou com pouca dependência entre si, aproxima-se da lei teórica de distribuição normal de frequência, ou lei de Gauss. O valor do desvio-padrão é representado graficamente através de duas abscissas de mesmo valor  $\sigma$  de cada lado do valor da média  $x$ .

De acordo com a teoria das probabilidades, *a distribuição da dispersão para qualquer sistema de variáveis (neste caso dimensões, rugosidade superficial, desvios de forma ou posição, etc.) que é obtida a partir da alteração conjunta e combinada de diversos fatores independentes entre si e de mesma ordem de grandeza é denominada distribuição normal ou lei de variação de Gauss.*

A curva teórica de distribuição normal de frequência, é assintótica ao eixo das abscissas. Normalmente, para utilização da lei de distribuição normal, o máximo desvio, expresso em termos de desvio médio quadrático  $\sigma(x)$ , é limitado em

$$x \pm 3\sigma.$$

Dentro desses limites, 99,73% dos desvios da variável  $x$  estão controlados, enquanto que 0,27% ficará fora de controle. Os conceitos estatísticos emitidos serão utilizados na determinação

das tolerâncias de fabricação para cada peça, assimilando-se os desvios permissíveis da dimensão nominal com tolerâncias de fabricação. Para exemplificar, suponha-se um eixo com diâmetro  $D$  usinado em um tomo. A medição é feita em um lote de peças, determinando-se assim as diversas medidas em que estas se encontram.

Se em um sistema cartesiano, são lançados em abcissas o diâmetro real de cada eixo e em ordenadas o número de peças que tenham este diâmetro, pode-se construir a curva de distribuição normal esta curva irá representar as variações reais de medida e sua frequência de ocorrência, sob as condições de fabricação existentes.

Os extremos desta curva representam os *limites de trabalho*, enquanto que a área sobre cada segmento da curva representa a *porcentagem de peças que normalmente podem ser produzidas entre os limites deste segmento*.

Se a tolerância especificada é maior que a permitida pela curva de distribuição, não haverá nenhum inconveniente, pois que todas as peças produzidas estarão dentro da tolerância desejada.

Porém, se a tolerância desejada é menor do que a permitida pela curva, haverá, então, necessidade de se adotar uma das duas opções: 1) modificar a forma da curva, trazendo-a para os limites  $a$  e  $b$ , mudando-se o equipamento ou sofisticando-se o processo de fabricação com melhoria de dispositivos, ferramentas de corte, etc, 2) manter o processo de fabricação e o equipamento, aceitando como normal uma porcentagem de refugos (Fig.2.39). A adoção de uma das duas soluções dependerá exclusivamente de considerações de ordem econômica.



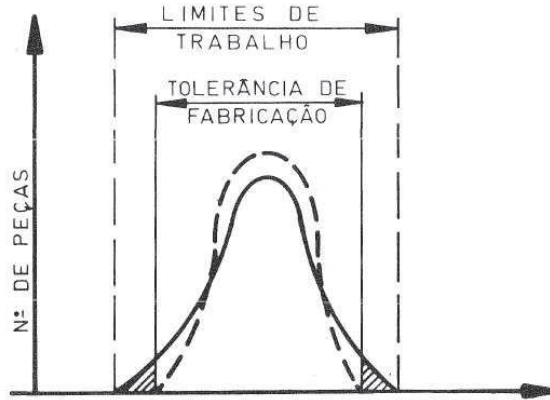


Figura 2.38 - Distribuição de Gauss comparada à tolerância especificada  
Fonte: [1]

A adoção de uma das duas soluções dependerá exclusivamente de considerações de ordem econômica.

**Regra de precedência 4:** A colocação lógica e ordenada das operações do roteiro depende da limitação dos processos.

Esta regra estabelece outro critério de ordenação, tendo em conta que os processos de fabricação tem as suas limitações naturais. Assim, fresamento, furação, mandrilamento, alargamento são executados sem movimento da peça com a ferramenta em movimento, torneamento somente pode ser executado somente em certas faixas de dureza superficial, e a retificação deve ser executada com baixa remoção de material e ferramentas multicortantes, e assim por diante.

**Regra de precedência 5:** As tolerâncias e especificações devem manter compatibilidade com as dispersões do sistema máquina - ferramenta - dispositivo - peça.

**Regra de precedência 5:** As tolerâncias e especificações devem manter compatibilidade com as dispersões do sistema máquina - ferramenta - dispositivo - peça.

Esta regra estabelece o critério para seleção do sistema MFDP que irá gerar desvios das características dos produtos, que necessita ser menor que a tolerância especificada na operação do roteiro. Os “ gaps “ gerados durante a operação são o resultado da ação conjunta dos dispositivos de localização e fixação da peça, do suporte porta-ferramentas, da ferramenta de corte e da peça sendo fabricada. Fatores que ocorrem durante a operação, quando a ação conjunta dos componentes do sistema MFDP causam dispersão da medida nominal da característica de qualidade. Esta dispersão resulta da ação combinada de desvios sistemáticos e aleatórios.

a) *Desvios sistemáticos* - são aqueles que se repetem regularmente, sendo detetadas dentro de um critério conhecido e pré-estabelecido. Os desvios sistemáticos podem ser classificados em:

a.1) *Desvios sistemáticos constantes*, aqueles que mantêm o mesmo valor para as todas as peças sendo fabricadas. Os desvios sistemáticos constantes irão provocar o deslocamento da curva de dispersão de um valor igual ao seu, conforme mostra a Fig.2.39.

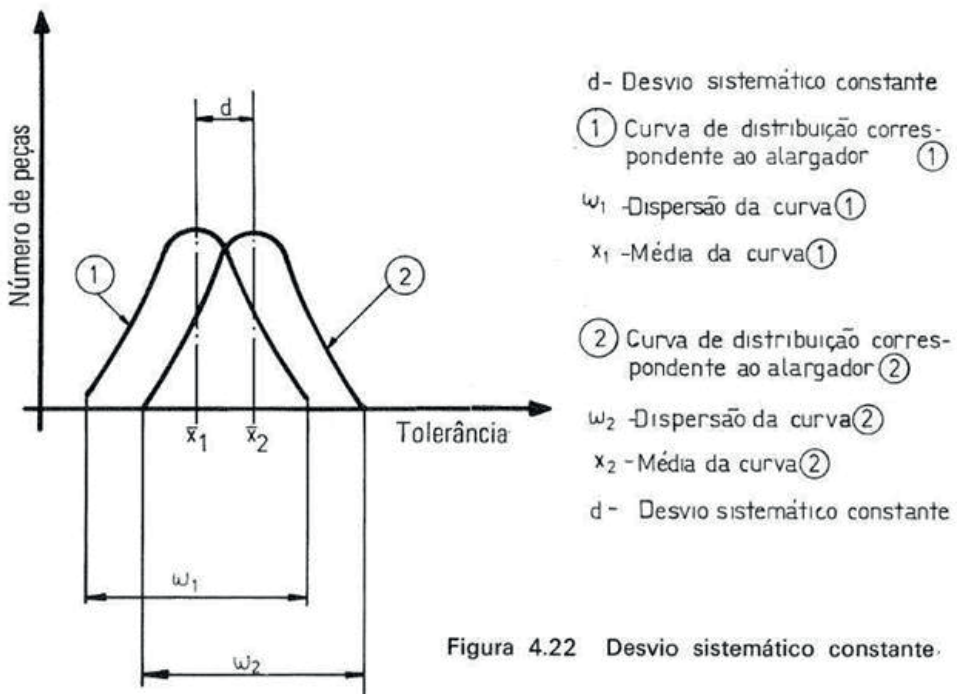


Figura 4.22 Desvio sistemático constante.

Figura 2.39 - Desvio sistemático constante

Fonte: [1]

a.2) *Desvios sistemáticos variáveis, que crescem o valor da dimensão nominal como função do tempo, de acordo com uma determinada tendência, que pode ou não ser linear, tal como o desgaste de ferramentas de corte.* São aqueles que variam sistematicamente durante a produção de um lote de peças de acordo com um determinado processo de fabricação. Estes desvios são caracterizados, por exemplo, pelo resultante desgaste das ferramentas de corte durante a fabricação. Retomando-se o exemplo do alargador já citado, se este tiver um desgaste proporcional ao número de peças produzidas, ter-se-á um desvio sistemático variável na dimensão dos furos. Outro exemplo bastante característico é a retificação de anéis através de retificadoras planas de superfície. Se um dos fatores que influem na calibragem da altura do anel — o desgaste do rebolo — for constante, e proporcional ao número de anéis retificados, ter-se-á um desvio sistemático variável na altura do anel.

b) *Desvios aleatórios* – são definidos como os que ocorrem durante o processo de produção, como consequência da ação de um grande número de fatores de mesma ordem de grandeza, e mutuamente independentes, sem qualquer relação. Entre. Eles os fatores aleatórios, enquanto influenciam a dispersão da medida nominal, tendem a ser caracterizados por uma curva de frequência acumulada que segue a distribuição normal. Fatores que influenciam a formação dos desvios aleatórios são o aumento de temperatura do sistema MFDP durante a sua operação, vibrações, entre outros. A caracterização de um fator particular como aleatório ou sistemático é difícil, sendo muito dependente das condições internas da operação sendo executada. A influência dos fatores aleatórios pode mudar durante a execução de uma operação, quando um ou mais desses fatores tornam-se sistemáticos.

c) *Desvio resultante:*

Diante disso, todos estes fatores, variando continuamente ao longo da fabricação das peças ou em sua montagem, irão influir na qualidade final do produto sendo fabricado. Esta variação provocará distorções no diagrama de frequências, que será sensível à amplitude da dispersão  $\omega_a$  resultante da ação combinada dos desvios aleatórios e de sua mudança de posição desta dispersão com relação aos limites da zona de tolerância ou do valor nominal da característica de qualidade que está sendo medida.

A ação combinada de todos os desvios anteriores, sejam sistemáticos ou aleatórios, determinam o desvio total ou desvio resultante de uma determinada característica de

qualidade. Este deverá ser previsto *a priori* nos projetos e controlado na fabricação, para se evitar perda de qualidade do produto final.

Suponha-se o gráfico de medições individuais de uma determinada dimensão, onde

$A_o$  = dimensão nominal.

A determinação da coordenada  $w_s$  do meio da dispersão é feita através da equação, conforme mostra a Fig. 2.39:

$$\omega_s = \omega_c + \omega_v / 2.$$

Onde:

$\omega_c$  = desvio sistemático constante,

$\omega_v$  = desvio sistemático variável sujeito a uma determinada lei de variação.

A. Eq. (4.13) deverá ser considerada uma expressão algébrica, para se permitir a determinação das piores condições.

O máximo desvio total  $\Omega_M$  a partir da dimensão nominal será determinado pela expressão:

$$\Omega_M = \omega_c + \omega_v + \omega_a / 2, \quad (2.14)$$

enquanto que o mínimo desvio total  $\Omega_m$  será determinado pela expressão:

$$\Omega_m = \omega_c - \omega_a / 2, \quad (2.15)$$

onde

$\omega_a$  = amplitude da dispersão devida aos desvios aleatórios, sujeitos a uma determinada lei de variação.

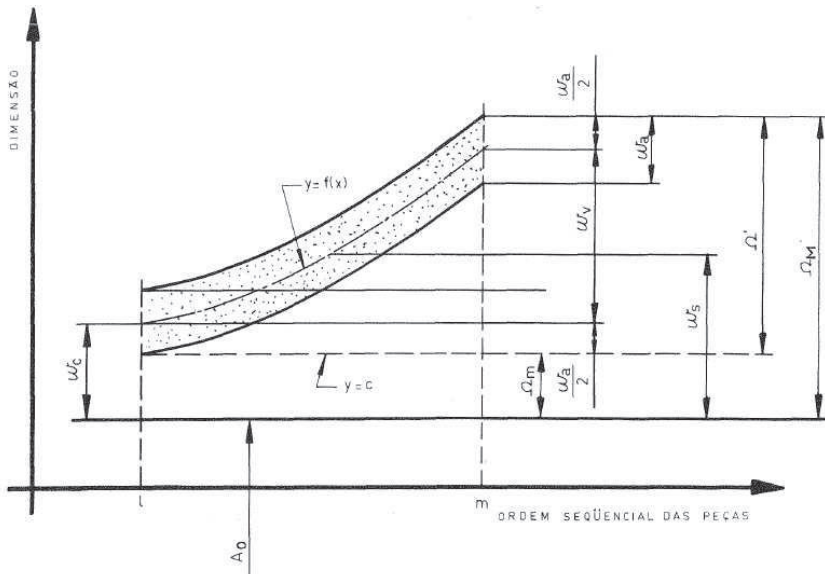


Figura 2.40 - Desvio resultante da ação combinada de desvios sistemáticos e desvios aleatórios

Fonte: [3]

Além disso, a dispersão total  $\Omega'$  será calculada por:

$$\Omega' = w_v + w_a \quad (2.16)$$

Portanto, através das Eqs. (2.14), (2.15) e (2.16), pode-se concluir que, para a fabricação de várias peças de um conjunto mecânico:

a) *Desvios sistemáticos constantes* são somados algebricamente, enquanto que os *desvios sistemáticos variáveis* são somados aritmeticamente, de modo a se obter sempre a pior condição de análise. Ambos são somados entre si algebricamente, para se obter também as piores condições.

b) *Os desvios aleatórios* são somados de acordo com a raiz quadrada da soma de seus quadrados, ou seja,

$$\omega_a = k_1 \omega_{1a}^2 + k_2 \omega_{2a}^2 + \dots + k_n \omega_{na}^2$$

onde:

$k_1, k_2, k_n$ , são fatores que dependem do tipo de curva de frequência de distribuição dos desvios aleatórios componentes.

$\omega_{la}, \omega_{na}$  ( $O_{na}$ , desvios correspondentes a cada curva de frequência de distribuição  $n$  — número de desvios).

O erro mínimo resultante é obtido quando os desvios componentes seguem a lei de distribuição normal ( $k = 1$ ), variando para desgastes maiores da ferramenta de acordo com a distribuição triangular ( $k = 1,2$  a  $1,5$ ), sendo máxima para  $k = 1,7$  (distribuição retangular).

Normalmente, para operações em que há pré-montagem das ferramentas de corte, ou seja, as ferramentas são sempre localizadas *a priori* através de montagens individuais, eliminando-se assim desgastes prematuros, além de controle de dimensões através de *stops* positivos ou curvas sem a interferência do operador, a distribuição de frequência de muitos tipos de desvios aleatórios aproxima-se da lei de distribuição normal de frequência.

As dispersões na fabricação e suas respectivas leis de variação tornam-se particularmente importantes quando, após fabricadas, as peças deverão ser montadas de acordo com um conjunto predeterminado. O conhecimento das leis de dispersão é muito importante na determinação do sistema de colocação de tolerâncias. Sob o aspecto econômico, esta escolha torna-se vital para uma economia de operações e o barateamento total do produto, dando-lhe condições de competições, em termos de qualidade e preço.

Para se obedecer esta regra de precedência, recomenda-se que, antes da seleção do sistema MFDP para executar determinada operação, executem-se procedimentos estatísticos para determinar o desvio total correspondente em empresas com organizações tecnológicas estáveis, os conjuntos de desvios do sistema MFDP estejam disponíveis nos bancos de dados tecnológicos dos sistemas de qualidade da organização.

**Regra de precedência 6 – A condição necessária para que uma determinada operação do roteiro seja efetivada consiste que ela permita a execução das operações posteriores, encadeadas a ela.**

Esta regra é aplicada para permitir a efetivação da sequência das operações após a operação sendo analisada. Cada operação, seja final ou intermediária, deve atender as especificações dimensionais, geométricas e metalúrgicas.

A condição necessária é obtida quando os parâmetros de projeto da operação permitem executar-se as operações subsequentes, através do atendimento de suas especificações em operações de usinagem, a viabilização da operação é feita através do dimensionamento adequado da tolerância de sobremetal a ser removido na operação subsequente, para atingir as especificações dimensionais, desvios geométricos e rugosidade superficial, além da camada de material afetada metalurgicamente. É uma necessidade adotar-se *sobremetal necessário*  $S_n$  que atenda os requerimentos mencionados acima. É necessário definir-se um coeficiente de segurança  $k$ , a ser aplicado no sobremetal necessário  $S_n$  para se determinar a mínima remoção de matéria. Entre as operações daí, resulta que, para compensar variações, tal como a idade do equipamento, seleção aleatória das máquinas operatrizes disponíveis, entre outros fatores, deve-se adotar:

$$S_{min} = k \cdot S_n$$

Adotando a sequência de duas operações encadeadas  $i$  and  $i+1$  conforme mostrado na figura 3.7 onde:

$T_i$  - tolerância da operação  $i$

$T_{i+1}$  - tolerância da operação  $i+1$

$S_m$  - Mínimo sobremetal entre as operações  $i$  and  $i+1$

$S_M$  - Máximo sobremetal entre as operações  $i$  and  $i+1$

$D_{iM}$  - Máxima dimensão da peça na operação  $i$

$D_{im}$  - Mínima dimensão da peça na operação  $i$

$D_{i+1M}$  - Máxima dimensão da peça na operação  $i+1$

$D_{i+1m}$  - Mínima dimensão da peça na operação  $i+1$

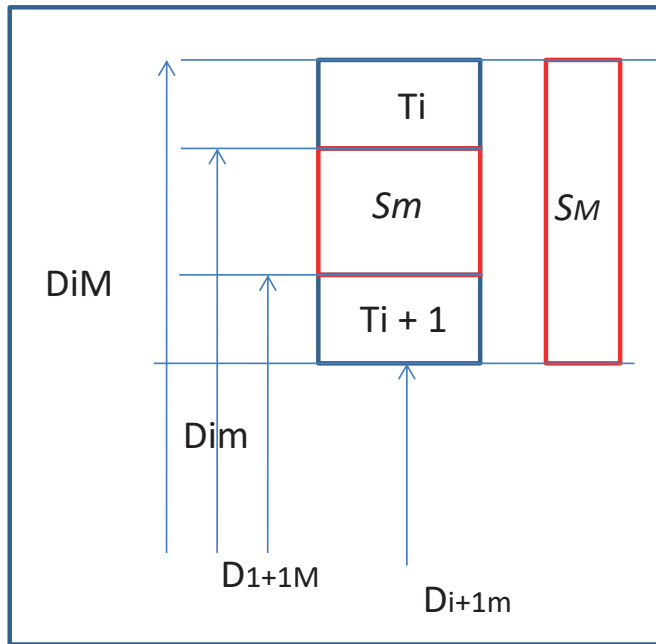


Figura 2.41 - Correlação entre camadas de sobremetal e as tolerâncias operacionais

Fonte: Elaborado pelo autor.

Pode-se afirmar que:

1. A máxima dimensão  $D_{i+1M}$  da operação a ser executada é igual a mínima dimensão  $D_{im}$  da operação  $i$  sendo executada mais o sobremetal mínimo  $S_m$ .
2. A mínima dimensão  $D_{i+1m}$  da operação sendo executada é igual a máxima dimensão da operação sendo executada  $D_{iM}$  menos a máxima remoção de sobremetal  $S_M$ .
3. A máxima remoção de material  $S_M$  é igual ao mínimo sobremetal  $S_m$  mais as tolerâncias operacionais  $T_i$  and  $T_{i+1}$ .

Este raciocínio aplica-se a fabricação ou manufatura de roteiros consistidos de  $n$  operações. Os parâmetros de dimensionamento das operações encadeadas segue o procedimento descrito acima. Para se ter uma aplicação eficiente da regra de precedência 6, será necessário disponibilizar base de dados tecnológicos com informações de tolerâncias operacionais e sobremetal entre operações.



**Regra de precedência 7 - A condição suficiente para que uma determinada operação do roteiro seja efetivada é que ela própria seja executada a partir das operações anteriores do roteiro de fabricação.**

Esta regra de precedência 7 é aplicada para viabilizar a própria operação **i** e ela prevê especificações na operação prévia **i-1** da operação que está sendo executada dentro de uma qualidade especificada. As mesmas considerações referentes a regra de precedência 6 são agora empregadas na regra de precedência 7, com relação a operação prévia **i-1**, e a operação **i** do roteiro de fabricação.

**Observação:** As regras de precedência, quando utilizadas para ordenar os roteiros de fabricação (ou manufatura), provê a oportunidade de encadeá-las, determinando a precedência entre operações que determina a sequência do roteiro. A aplicação das regras mostradas acima segue a sequência pela qual foram expostas portanto:

As regras 1,2,3,4 definem a sequências das operações

As regras 5,6,7 detalham as especificações de cada operação do roteiro

É importante ressaltar a necessidade de bases de dados tecnológicas de tolerâncias para cada tipo de operação, sobre metal entre operações, dispersão de características do sistema **MFDP - Máquina Ferramenta – Ferramenta de Corte – Dispositivo de Fixação – Peça** Conhecimento estruturado sobre operações de manufatura, suas limitações e características devem também estar disponíveis na base de dados tecnológica.

### 2.9.3 APLICAÇÃO DAS REGRAS DE PRECEDÊNCIA NOS PASSOS DA METODOLOGIA

Na introdução deste assunto, desenvolveu-se uma metodologia de desenvolvimento dos processos de fabricação. Verifica-se que, nas empresas, o desenvolvimento dos processos e roteiros de fabricação não está disponível de forma estruturada, porque necessita conhecimento e especialidade em todas as áreas do campo de processos de fabricação, roteiros, etc. A maior parte da literatura focaliza-se no desenvolvimento dos processos de manufatura em si mesmos, num enfoque fenomenológico, sem interagir as várias características de processos com a necessidade de encadear as operações, a fim de que as peças possam ser fabricadas consistentemente. A metodologia de ordenar e encadear as operações do roteiro de manufatura estabelece esta ordenação e encadeamento, criando um framework para essa ordenação, repondo,

assim, o conhecimento tácito que provêm da experiência dos engenheiros e técnicos de manufatura, transformando-o em conhecimento estruturado.

No quadro 2.1, abaixo, exemplifica-se a escolha das diversas regras de precedência aplicáveis nos passos metodológicos:

Quadro 2.3 - Sequência de aplicação da metodologia de geração de roteiros de manufatura

(continua)

<b>Passos metodológicos</b>	<b>Regras de precedência aplicadas</b>
<p style="text-align: center;"><b>Passo 1</b></p> <p>Define as especificações que atendem a última operação do roteiro, de tal modo que as especificações obtidas na peça são idênticas ao seu respectivo desenho.</p>	<p>1 – As especificações do desenho devem ser atendidas na operação final correspondente.</p> <p>2 – A operação final que obtém as especificações metalúrgicas deve preceder as operações que determinam as especificações dimensionais e geométricas finais.</p> <p>5 – As dispersões de características do sistema MFDP estabelece as tolerâncias das especificações a serem obtidas, para determinar a necessidade de uma ou mais operações de desbaste e acabamento.</p>

(continua)

<p style="text-align: center;"><b>Passo 2</b></p> <p>A determinação da primeira operação depende da extensão e do escopo do roteiro. Geralmente, a primeira operação é feita assumindo-se a peça em seu estado bruto (sem usinagem). Num enfoque mais geral, pode-se adotar como primeira operação aquela que gera a peça em bruto.</p>	<p>3- O processo de manufatura deve ser escolhido para operar com tolerâncias maiores que as aplicadas nas especificações dimensionais, geométricas e metalúrgicas daquelas especificadas nas operações finais.</p> <p>4 - Deve se selecionar a geometria da peça em bruto que melhor se ajuste a geometria da peça em suas operações finais.</p> <p>6 - Atentando-se para as tolerâncias operacionais e tratamentos térmicos da peça em bruto, é necessário dimensionar as camadas de sobremetal a serem removidas nas operações subsequentes para se obter as especificações da operação metalúrgica final.</p>
---	---

(conclusão)

<p style="text-align: center;"><b>Passo 3</b></p> <p>O roteiro é completado com a determinação das operações intermediárias, colocadas entre a primeira e última operações. As operações intermediárias complementam e possibilitam a obtenção das especificações finais das peças, a partir das especificações colocadas na operação inicial.</p>	<p>2 - Estabelece o processo de capacidade da operação.</p> <p>3 - Seleciona processos que operam com tolerâncias e dispersões da operação maiores que as tolerâncias do correspondente sistema MFDP.</p> <p>4 - Operações de usinagem com alta taxa de remoção de material. Precede as operações finais de tratamentos térmicos e retífica.</p> <p>5 - Estabelece a compatibilidade entre as tolerâncias da operação e as dispersões do sistema MFDP, determinando assim a sequência de operações de desbaste e acabamento.</p> <p>6 - Estabelece as especificações para as tolerâncias operacionais das operações <math>i</math> and <math>i + 1</math>, determinando o máximo e o mínimo sobremetal a ser removido na operação.</p> <p>7 - Estabelece as condições das operações <math>i</math> and <math>i - 1</math>, dimensionando o sobremetal a ser removido na operação <math>i</math>.</p>
--	--

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 2.10 Exemplo de aplicação

Para exemplificar a aplicação das regras de precedência na ordenação das operações, será utilizada uma única dimensão de uma determinada peça, conforme figura 2.42. As peças são compostas de uma quantidade muito maior de dimensões e especificações. A aplicação das regras de precedência. Em uma única dimensão, com as respectivas especificações e tolerâncias simplificará seu entendimento. Ainda para simplificar o entendimento, serão determinadas as operações do roteiro, a partir de passos encadeados, a saber:

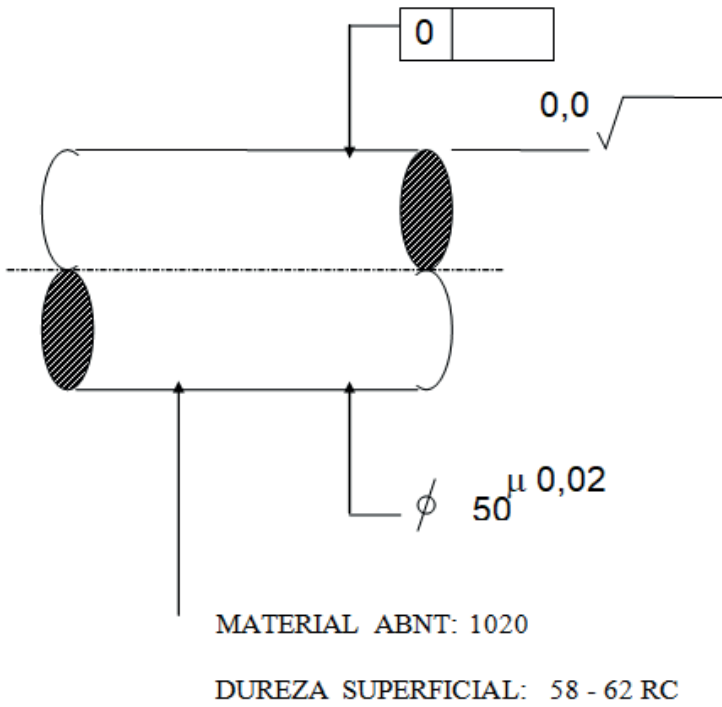


Figura 2.42 - Uma dimensão em peça genérica  
 Fonte: Elaborado pelo autor.

**Passo 1 - Determinação da última operação, de tal modo que a peça tenha conformidade com as especificações do desenho da peça**

**Regra de Precedência 1: A última operação do roteiro deve gerar a peça, a qual deve ser equivalente ao respectivo desenho.**

As especificações são:

\* Dimensão:  $\phi$  150 mm

\* Tolerância dimensional: 0,04 mm

\* Tolerância geométrica: 

0	0,05
---	------

\* Tolerância Rugosidade:  $R_A = 0,02 \sqrt{\quad}$

\* Dureza Superficial: 58 - 62 RC

**Regra de precedência 4 - A colocação lógica e ordenada das operações do roteiro depende da limitação dos processos.**

A especificação de dureza superficial de 58-62 RC conduz à escolha de processos de usinagem com baixa taxa de remoção de material. De acordo com esta regra, não será possível prever-se um processo de usinagem com alta taxa de remoção de material (torneamento, por exemplo), pois este processo é incompatível com a dureza superficial de 58RC a 62RC.

Os processos de fabricação com baixa taxa de remoção de material são:

- \* Retificação
- \* Brunimento
- \* Lapidação

Ainda de acordo com as **regras de precedência 1 e 4**, a especificação metalúrgica deve preceder à especificação dimensional; as operações de tratamento térmico possíveis são:

- \* Têmpera
- \* Cementação e têmpera
- \* Nitretação e têmpera
- \* Cianetação e têmpera

**Regra de Precedência 2 – As especificações finais são obtidas de acordo com a capacidade dos processos.**

Através do conhecimento dos processos citados, sabe-se que o que mais se ajusta às especificações das tolerâncias dimensionais, geométricas e de rugosidade superficial é o processo de **retificação**.

É também determinado o processo de cementação e têmpera, levando-se em conta a especificação do material (ABNT 1020). Assim, após o 1º passo, o roteiro fica esquematizado na figura 2.43.

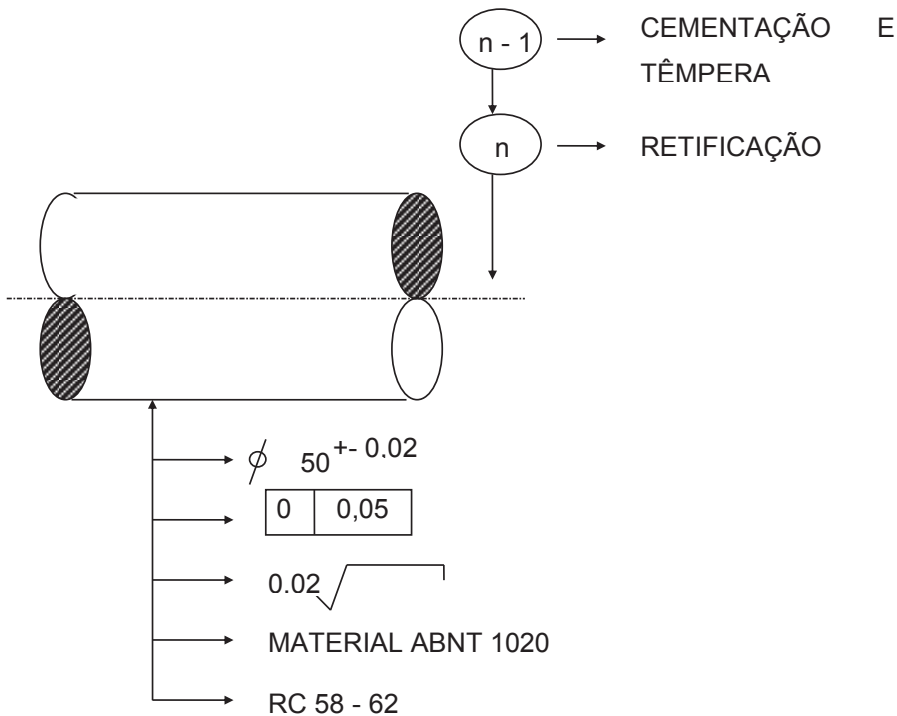


Figura 2.43 - Determinação das operações finais do roteiro de manufatura  
Fonte: Elaborado pelo autor.

**Passo 2 – Determinação da primeira operação do roteiro de fabricação.**

A determinação da 1ª operação depende da extensão e abrangência do roteiro. Normalmente, em roteiros de usinagem, determina-se a peça no seu estado bruto (sem usinagem), da qual se iniciará o roteiro com a primeira operação. No caso do exemplo sendo desenvolvido, adotar-se-á como primeira operação, aquela que gera a peça em bruto.

**Regra de Precedência 3 – A evolução da precisão do roteiro vai dos processos menos precisos para os mais precisos**

A peça na condição inicial deve permitir a obtenção das especificações iniciais.

Assim, os processos de fabricação possíveis são:

- \* Laminação
- \* Trefilação
- \* Forjamento

**Regra de precedência 4 - A colocação lógica e ordenada das operações do roteiro depende da limitação dos processos**

A condição inicial deve-se compatível com os processos de fabricação que permitem a sua obtenção. Como a peça inicial é cilíndrica, assim como a peça final, a escolha poderia ser entre os processos de laminação e trefilação.

Para o exemplo será escolhido o **processo de laminação**. Após o segundo passo, o roteiro ficará esquematizado conforme figura 2.44.



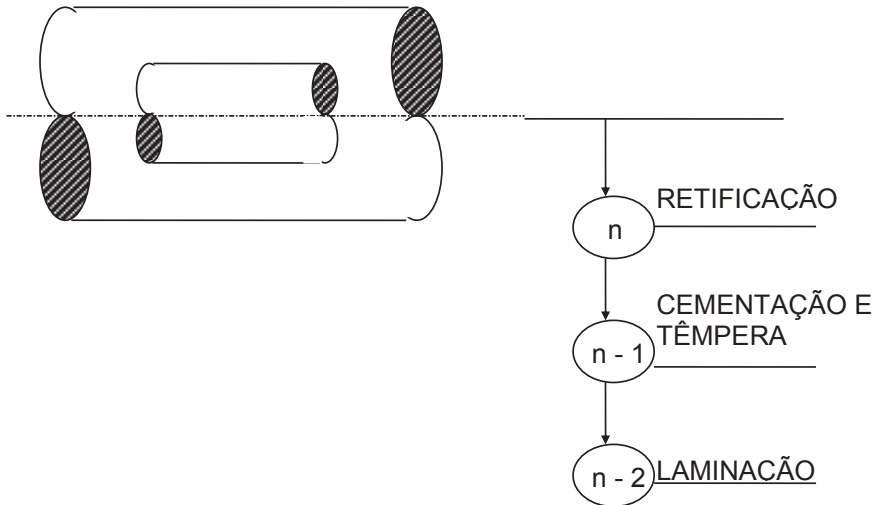


Figura 2.44 - Determinação da operação inicial do roteiro de manufatura  
Fonte: Elaborado pelo autor.

### *Passo 3 – Determinação das operações intermediárias*

A determinação das operações intermediárias, colocadas entre a primeira e última operação do roteiro, devem ser suportadas pelas seguintes, **3** (evolução de precisão), **6**, e **7**.

### **Regra de Precedência 2 – As especificações finais são obtidas de acordo com a capacidade dos processos.**

1. Deve-se remover material (sobremetal) antes da operação de cementação e têmpera, após a operação de tratamento térmico, não será possível utilizar-se processo de alta taxa de remoção de material.

### **Regra de Precedência 3 – A evolução da precisão do roteiro vai dos processos menos precisos para os mais precisos.**

O processo escolhido deve conseguir dispersões maiores que a operação final de retificação.

A operação será feita numa superfície cilíndrica externa.

Diante disso, a operação selecionada será de **torneamento**.

As **regras de precedência 6 e 7** determinam que a dimensão e tolerâncias escolhidas para a operação de torneamento seja intermediária à dimensão final e à dimensão inicial.

**Regra de precedência 6** – A condição necessária para que uma determinada operação do roteiro seja efetivada consiste que ela permita a execução das operações posteriores, encadeadas a ela.

**Regra de precedência 7** - A condição suficiente para que uma determinada operação do roteiro seja efetivada é que ela própria seja executada a partir das operações anteriores do roteiro de fabricação.

Portanto, após o 3º passo, o roteiro ficará esquematizado conforme figura 2.45.

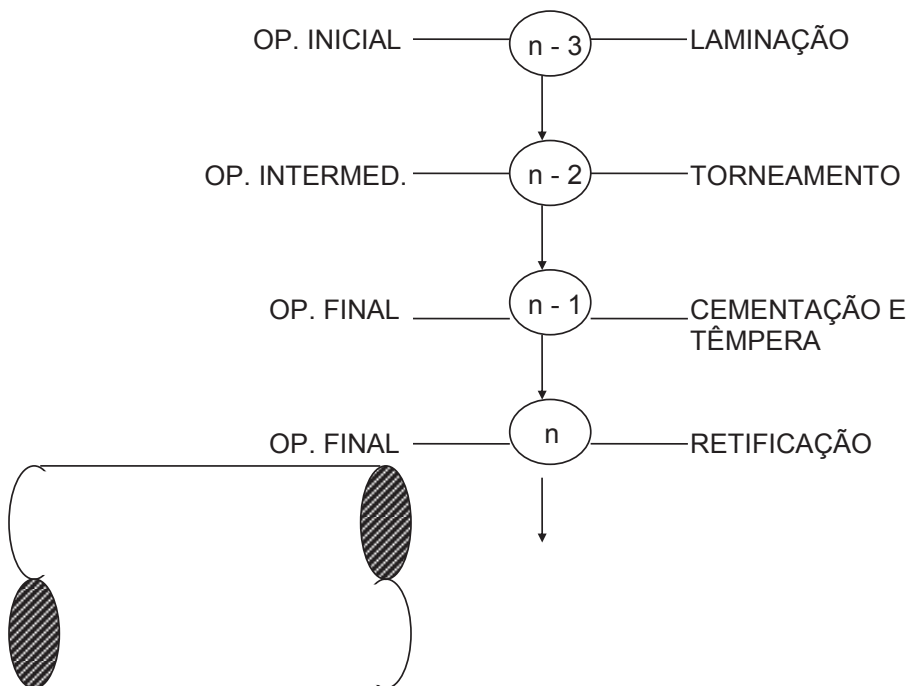


Figura 2.45 - Determinação da operação intermediária do roteiro de manufatura

Fonte: Elaborado pelo autor.



### 3 DIMENSIONAMENTO DE ROTEIROS DE MANUFATURA

#### 3.1 Introdução

Neste capítulo serão desenvolvidos os conceitos que permitem o dimensionamento dos roteiros e processos de fabricação ou manufatura, tanto sob o aspecto tecnológico como também sob o aspecto metodológico e organizacional e sua influência na organização dos sistemas de manufatura.

Conforme foi desenvolvido no capítulo 2 a geração dos processos de fabricação a partir dos desenhos de produto fazem parte do fluxo de informações na organização, denominado Arcabouço Organizacional, conforme mostrado na figura 3.1.

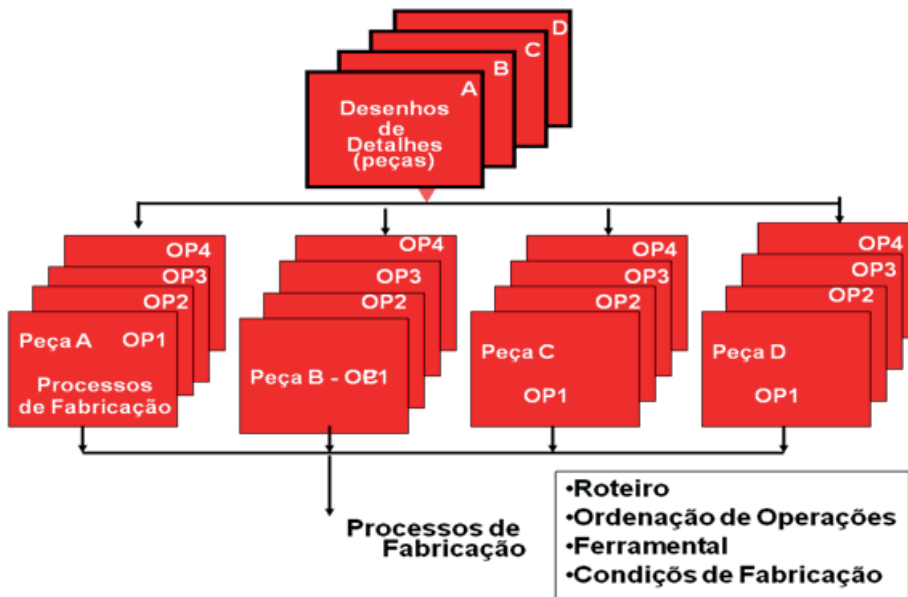


Figura 3.1 - Desenvolvimento dos meios de manufatura – roteiros, processos  
Fonte: Elaborado pelo autor.

Dentro do fluxo geral de informações do Sistema de Manufatura, **os processos de manufatura** desempenham papel importante como meio de fixação da tecnologia de manufatura. Com a sua utilização, elimina-se principalmente a aleatoriedade de alternativas disponíveis,

agregando-as em uma sequência ordenada de operações, baseada em critérios tecnológicos. Assim, é possível assegurar-se que a manufatura das peças seja feita, mantendo-se a qualidade exigida pelas especificações tecnológicas constantes no desenho de produto correspondente.

A fixação dos roteiros e processos de fabricação fixam o conhecimento de fabricação, ou **como fazer**, sendo considerado o pilar de **fixação do conhecimento da manufatura**.

Existe a necessidade de organização das atividades de produção, de modo a permitir análise e tomada de decisões nos planos superiores de gestão, econômico e estratégico. Decisões tais como política estratégica da empresa, metas de redução de custos através da redução de tempos produtivos, determinação do nível ótimo de inventário, qualificação do nível de rejeição, programas de reequipamento e modernização de equipamentos, somente podem ser tomadas se houver a disposição dados provenientes de uma organização de fabricação bem estruturada. A maioria dos dados gerados para essas análises provém dos conceitos e práticas constantes do Plano de Infraestrutura Tecnológica.

Os Processos de Manufatura, em sua forma documental, tem por objetivo fixar as práticas e tecnologias de manufatura através de metodologia estruturada, de modo a eliminar a aleatoriedade que caracterizava os procedimentos de manufatura de bens antes do advento da Revolução Industrial, no século XIX. As principais informações que são disponibilizadas pelos Processos de Manufatura são:

- sequência de fabricação das peças;
- máquinas utilizadas na fabricação destas peças;
- caminho das peças pela fábrica, determinado pela sequência de fabricação;
- ferramental adequado para cada operação, seja de produção ou controle
- especificações dimensionais, geométricas, metalúrgicas, revestimentos químicos, a serem adotadas nas diversas operações, com previsão de desvios de forma, posição, tolerâncias dimensionais nas dimensões, previsão de sobremetal, etc.

Estas informações são transmitidas aos processos produtivos constantes no Chão de Fábrica através dos Processos de Manufatura gerados em um dos setores da Engenharia de Fabricação, cujo nome varia de organização para organização, sendo mais comuns os de Setor de Processos, Planejamento Técnico, etc.

### 3.2 Implicações organizacionais dos processos e roteiros de manufatura

Os processos de manufatura, além de fixar o conhecimento da manufatura de bens, também têm implicações em outros processos de negócio que compõem o Sistema de Manufatura. Assim, suas principais implicações são:

- a) **Na produção de bens**, realizadas por procedimentos ou processos de produção e efetivados no Chão de Fábrica, através da fixação dos procedimentos de produção, realizado nos equipamentos e máquinas do chão de fábrica. Os processos de manufatura fornecem os elementos e informações tecnológicas necessárias para a execução correta da produção e manutenção da qualidade dos produtos fabricados, atendendo as especificações dos desenhos das peças correspondentes. Fornece também os ferramentais de fixação e controle dimensional para cada operação do roteiro. A figura 3.1 mostra esquematicamente esta relação.

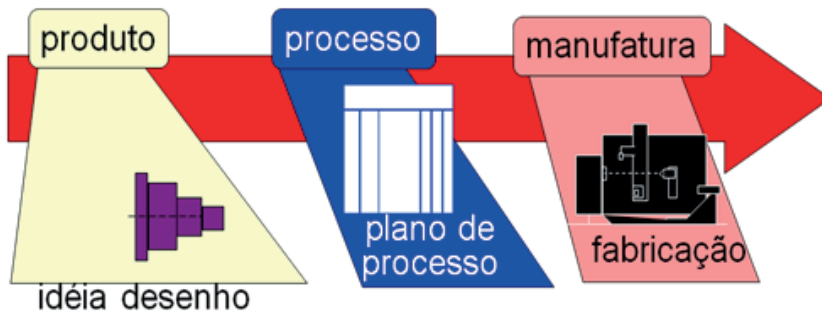


Figura 3.2 - Interrelação entre o projeto do produto e a sua manufatura, através dos processos de manufatura

Fonte: Elaborado pelo autor.

- b) **No projeto do produto**, através de feedbacks para os projetistas de produto, com recomendações sobre a manufaturabilidade do projeto e suas peças componentes, tais como tolerâncias possíveis de acordo com as máquinas ferramenta disponíveis, alteração de formas para facilitar a manufatura, escolha econômica de materiais, etc.
- c) **No planejamento e controle da produção**, através dos roteiros de manufatura, que juntamente com os tempos padrões para cada peça/ operação, que são dados de entrada nos sistemas de planejamento e controle de produção. Através dos roteiros de manufatura e dos tempos padrões, além das quantidades e prazos para cada peça, dimensiona-se o

planejamento de produção com quantidades, prazos e encaminhamento das peças para as máquinas do chão de fábrica. Além disso, facilita o controle de produção das peças sendo manufaturadas, que confronta as quantidades planejadas e manufatuadas, resultando nos processos de controle de inventários.

- d) **Nos procedimentos de qualidade na manufatura**, através dos padrões e folhas de inspeção, atendimento aos padrões de qualidade, tipo ISO 9000/ QS 9000.
- e) **Nos projetos de dimensionamento da fábrica**, os processos e roteiros de manufatura permitem os projetos de otimização dos fluxo de produção, determinação de máquinas gargalo, dimensionamento do arranjo físico, além do dimensionamento de células de manufatura, conjunto de células, etc.
- f) **No dimensionamento e controle dos custos de produção**, onde os roteiros e os tempos padrões de cada peça são elementos indispensáveis nos cálculos dos custos correspondentes, juntamente com os materiais, depreciação, processos indiretos, etc.
- g) **No planejamento estratégico**, na determinação de novas necessidades a partir de novos produtos, aumento de participação de mercado, projeto de novas instalações, novas máquinas e equipamentos, previsão de novos investimentos para os próximos anos – 2 a 5 anos e informações necessárias para a política econômica da organização.

A figura 3.3 mostra esquematicamente essas relações.

- Conseqüências do emprego dos planos de processo

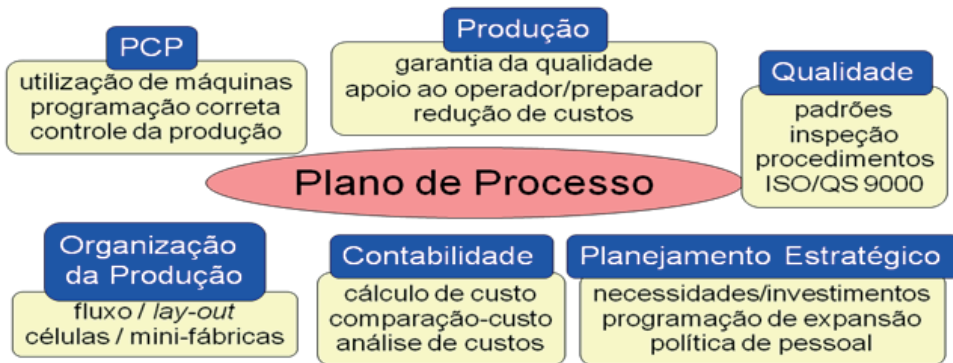


Figura 3.3 - Interrelações entre o planejamento de processos e outras funções do sistema de manufatura

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.3 Processos de Manufatura

#### 3.3.1 OBJETIVOS E IMPLICAÇÕES

Dentro do fluxo geral de informações do sistema de manufatura, os processos de manufatura desempenham papel importante como meio de fixação da tecnologia de manufatura. Com a sua utilização, elimina-se principalmente a aleatoriedade de alternativas disponíveis, agregando-as em uma sequência lógica de operações, para fixar a maneira pela qual as peças são fabricadas, baseada em critérios tecnológicos. Assim, será possível assegurar-se que a manufatura das peças seja feita, de maneira repetitiva, mantendo-se a qualidade exigida pelas especificações tecnológicas constantes no desenho de produto correspondente.

O objetivo principal de um processo de manufatura de uma peça, é assegurar que a produção desta seja feita mantendo-se a qualidade exigida no desenho do produto. Os objetivos a serem atendidos são a redução de custo através de redução de tempos de manufatura e de remoção de material sob forma de cavacos em operações de usinagem. Em outras palavras, um processo de manufatura deve garantir a um mínimo custo, a produção de peças cuja qualidade seja atendida pelas especificações de condições operacionais e funcionais do produto.

Quando se deve prever um processo de fabricação para um aumento de produção, este não deve ser conseguido pelo aumento da capacidade instalada de equipamentos, máquinas, ou ainda, de duplicação de ferramental de fixação, corte ou inspeção. Nestes casos, será necessário desenvolver novas medidas de caráter organizacional e técnico a fim de se fazer crescer a produtividade dos equipamentos, através de novas alternativas de aplicação de novos processos e métodos de manufatura, melhorias de caráter administrativo, redução de peças refugadas etc. Um investimento em novos equipamentos só devesa ser feito após a sua comprovação econômica, visando reduções de custo que possam amortizar o investimento feito.

O processo de fabricação, é o documento oficial de fabricação da peça em questão dentro da Produção, resultando as seguintes consequências imediatas.

- estabelecimento do caminhamento da peça pelos diversos setores
- definição das máquinas a serem utilizadas
- definição de utilização e produtividade de cada máquina, determinação de sua capacidade instalada, e, conseqüentemente, definindo carga de máquinas para a fábrica;
- possibilidade de determinação de tempos padrões para cada operação;



- definição de arranjo físico da fábrica;
- possibilidade de programação correta das peças, através da determinação dos tempos de fabricação.

### 3.3.2 CONDIÇÕES PARA DIMENSIONAMENTO DO PROCESSO DE MANUFATURA

Devido a que o processo de manufatura tem influência na fabricação de peças e no atendimento de suas especificações finais, a sua escolha tem influência direta em todos os processos do chão de fábrica, qualidade dos produtos e volume de produção.

O processo de manufatura irá determinar a possibilidade de manufatura de um produto a custos competitivos. A principal razão é que eles, ao fixar o conhecimento de se manufaturar produtos na forma documental, padroniza a produção de bens, permitindo repetibilidade da manufatura de bens em lotes sucessivos. Através dessa forma documental de explicitar o conhecimento tácito e explícito dos conceitos de manufatura e estabelecimento de regra de lógica para ordenar as diversas fases da manufatura (ou operações), pode-se reduzir a dependência do conhecimento anterior calcado no artesanato. Para atingir este objetivo, há necessidade de se coletar os conhecimentos tecnológicos adquiridos através de experiência acumulada, caracterizando o conhecimento tácito muito presente nas organizações e atualização mediante treinamento, educação, literatura especializada, que caracteriza o conhecimento estruturado assim adquirido.

Os dados e informações necessários para a determinação do roteiro e processo de manufatura são:

- descrição sucinta de produto ser produzido que defina a sua função. O conhecimento do funcionamento e limitações do produto, possibilita a análise dos desenhos das peças componentes.
- especificações e dados técnicos que determinam a função do produto.
- desenhos de todas as peças.
- quantidade de produtos a serem fabricados na unidade de tempo (ano, mês, semestre), se se tratar de fabricação em lotes, ou quantidade mensal se se tratar de fabricação seriada.
- quantidade de produtos a serem fabricados sem alteração do desenho. Esta informação é importante para o projeto de ferramental. Os critérios que irão orientar os projetos de

ferramental serão diferentes, se não houver previsão de alteração com datas pré-estabelecidas.

- condições nas quais a produção das peças será efetivada, tais como: instalações existentes, equipamentos disponíveis, possibilidades de obtenção de novos equipamentos, etc.
- avaliação de mão de obra direta (operadores de máquinas operatrizes, ajustadores, etc.) e indireta (montadores de máquinas, inspetores de qualidade, encarregados de seção).

Esses dados são necessários para definir os parâmetros básicos para o detalhamento do processo, e condições para sua aplicabilidade. Quanto maior a precisão das informações fornecidas quanto às condições de efetivação do processo, tanto mais rapidamente, a um custo menor, estas poderão ser atendidas e efetivadas.

A experiência mostra que na fase de pré produção das peças e montagem dos conjuntos, torna-se necessário efetuar-se correções durante a fase de preparação para produção (lotes pilotos, amostras), ou mesmo, durante a produção normal. Estas alterações nas especificações de fabricação podem levar a revisão das folhas de processo, mudança de projetos e retrabalho de ferramentas, rearranjo de equipamentos, etc. Estas ocorrem durante teste do ferramental e busca das tolerâncias, afim de que a produção normal seja feita sem grandes sobresaltos. A

quantidade de conjuntos a serem fabricados na unidade de tempo, é um dos itens que permite a escolha do processo de manufatura mais econômico, que leve em conta o equipamento, ferramental, grau de mecanização e automação. É também importante conhecer-se as condições na qual o processo de fabricação deve ser efetivado. Quando os processos são planejados para serem efetivados em uma fábrica nova, haverá mais liberdade de escolha do processamento, equipamento e ferramental do que se estes forem utilizados em uma fábrica existente. No último caso, a seleção dos processos a serem utilizados serão influenciados pelo equipamento disponível, por carga horária de utilização deste equipamento, pela possibilidade de escolha de equipamentos novos, pela capacidade técnica e de escolha adequada de dispositivos e ferramentas, além da possibilidade de intercâmbio de informações com fábricas similares.

A localização da fábrica é um dado importante para se determinar até onde é possível a cooperação e interligação com fábricas do mesmo local. Deve-se selecionar empresas fornecedoras de peças em bruto, tais como estampados, fundidos, além de se poder avaliar o

fornecimento de peças acabadas e usinadas (retentores, rolamentos de esferas e rolos, O-Rings, equipamentos elétricos, hidráulicos pneumáticos, sistemas de lubrificação, motores elétricos, etc.). Sempre que possível, as empresas fornecedoras de peças deste tipo devem localizar-se próximas da organização, a fim de evitar custos de transporte e logística de distribuição.

A avaliação de mão de obra e as possibilidades de seleção e treinamento de funcionários também podem influenciar o planejamento dos processos de fabricação. Quanto menor for o nível tecnológico do pessoal envolvido diretamente ou indiretamente na Produção e maior o volume de produção, tanto mais detalhado deverão ser as operações do processo de manufatura. Estas deverão conter detalhes dimensionais, tolerâncias de operação, especificações metalúrgicas para as operações de tratamento térmico, etc. As informações que compõem o processo de fabricação devem ser tais que habilitem o operador, montador e encarregado de seção a executarem a operação prevista sozinhos, sem necessidade de informações suplementares, manufaturando as peças de tal modo que, na montagem final, reproduzam o conjunto montado em todas as suas especificações e exigências.

A implantação dos processos de manufatura de um produto segue a seguinte sequência de análise:

- 1- Quantidade de conjunto mecânico a serem fabricados na unidade de tempo (ano, mês).
- 2- Quantidade total de produtos a serem fabricadas sem alteração de desenho, ou o intervalo de tempo durante o qual será fabricado aquele produto.

Estes dados são necessários para se selecionar as versões mais econômicas do processamento, tipos de equipamentos e ferramentas de corte a serem utilizados, quantidade de ferramental, estrutura organizacional dos processos, além do grau de mecanização e automação.

Frequentemente estes dados iniciais de produção são alterados devido a fatores que ocorrem após a colocação das peças em fabricação, tais como aumento ou diminuição de demanda, devido à oscilação de mercado, melhoria de pesquisa de marketing anteriormente feita, etc. O processamento de fabricação deveria ser planejado com flexibilidade suficiente para absorver estas variações.

### 3.4 Planejamento de processos de manufatura

**Define-se o planejamento dos processos de manufatura como um conjunto de atividades que determinam sistematicamente os estágios pelos quais o produto será fabricado.**

O processo de manufatura deverá prover o caminho lógico pelo qual, partindo-se das especificações do desenho de produto, obtem-se a peça final, mantendo essas mesmas especificações.

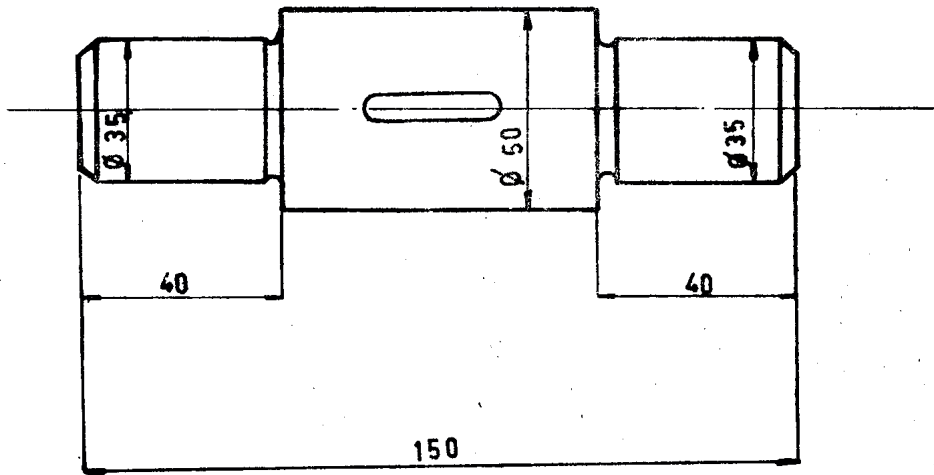
Dentro desse enfoque, pode-se classificar o planejamento de processos em:

#### 1 - Roteiro de manufatura

O roteiro de manufatura pode ser entendido como o *caminho que leva do desenho da peça até a peça física*. Deve garantir que a peça física tenha todas as características e especificações do respectivo desenho. O “caminho“ é composto por operações. Estas são ordenadas logicamente para garantir a qualidade dimensional, geométrica e metalúrgica especificada no respectivo desenho de produto. O roteiro de manufatura estabelece o caminho lógico geral das operações do processo de fabricação. Define os seguintes parâmetros:

- Encadeamento das operações.
- Seleção das máquinas-ferramenta por operação.
- Determinação das condições de montagem (set-ups).

A figura 3.4, abaixo, mostra um eixo simples, somente com dimensões nominais. Este eixo será utilizado como exemplo para a conceituação de roteiros de manufatura.



Número de Operação	Descrição da Operação	Máquina
10	Facear e centrar	Faceadora centradora
20	Tornear	Torno mecânico
30	Fresar rasgo de chaveta	Fresadora universal
40	Retificar assentos de rolamento	Retificadora cilíndrica
50	Rebarbar	Bancada

Figura 3.4 – Sequência de operações para um eixo

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 2 - Operações do processo de manufatura

Define-se **operação de processo**, a uma atividade da sequência ordenada que compõe o roteiro de manufatura, onde se determinam as especificações necessárias, tanto tecnológicas como operacionais. Pode ainda ser definida como fase do processo de manufatura de uma peça

(ou grupo de peças) compostas de uma sequência de instruções que permite repetibilidade ao longo das peças fabricadas.

As operações de processo são estruturadas em função dos respectivos processos:

- Conformação – forjamento, estampagem, etc.
- Usinagem – torneamento, frezamento, mandrilamento, furação, retificação, etc.
- Tratamentos – cementação, têmpera, etc.
- Tratamentos superficiais – depósito de cromo, níquel, etc.
- Montagem – submontagem, montagem de subconjuntos, etc.

As operações que compõem o processo de manufatura de uma peça deverão conter as seguintes informações:

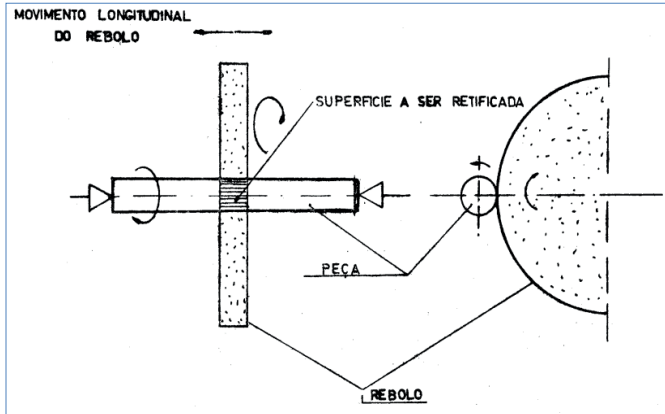
- croqui com as medidas a serem obtidas para aquela operação;
- máquina a ser utilizada na operação;
- tolerâncias dimensionais e geométricas;
- ferramental de corte e fixação;
- ferramental de inspeção;
- condições de manufatura (usinagem, conformação, etc.);
- Geração de programas CN, quando for necessário.

As operações podem ser classificadas em :

- **Operações simples:** são as que são caracterizadas pela usinagem de *uma única superfície* de uma ou várias peças, por uma ou várias ferramentas iguais; como exemplo pode-se citar:
  - torneamento com uma (1) ferramenta;
  - furação simples de um (1) só furo;
  - retificação de um (1) diâmetro isoladamente ou diâmetro e uma (1) face com o mesmo rebolo.

A figura 3.4 mostra algumas operações simples:

### Operação simples - retificação



### Operação simples - retificação

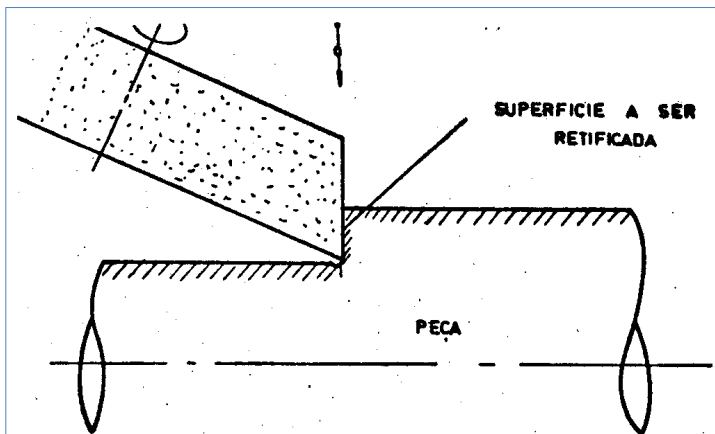
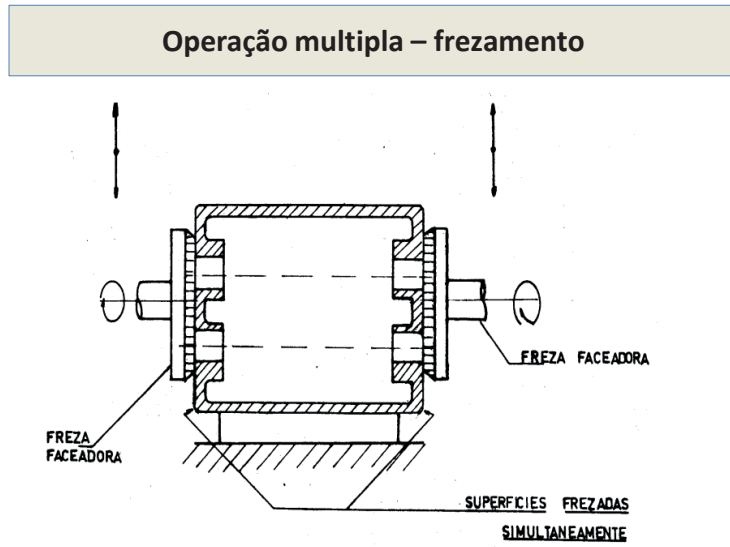


Figura 3.5 - Operações simples  
Fonte: [15]

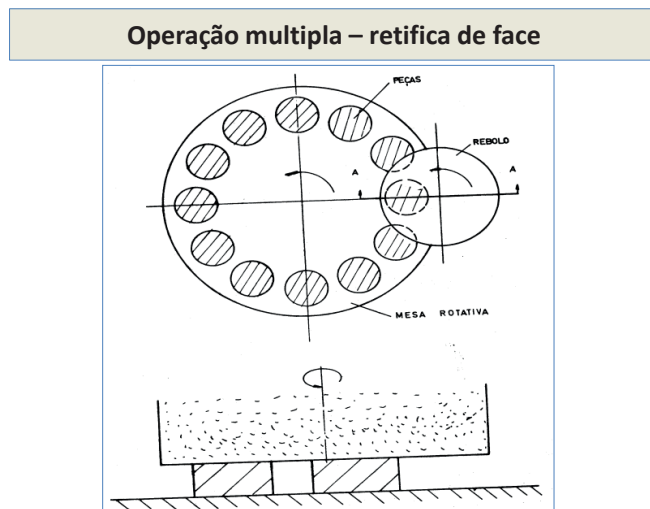
- **Operações múltiplas:** são caracterizadas pela usinagem de *várias superfícies* em uma ou várias peças por uma ou várias ferramentas de corte, ou ainda, pela usinagem de uma

superfície única em uma ou várias peças com várias ferramentas diferentes. A figura 3.5 mostra alguns exemplos de operações múltiplas.

- frezamento de faceamento em várias peças fixadas no mesmo dispositivo:

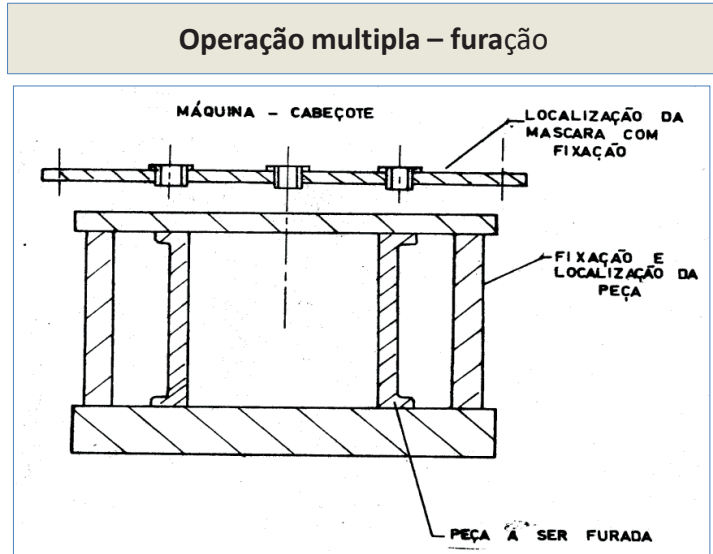


- retificação plana de várias peças presas em placa magnética:

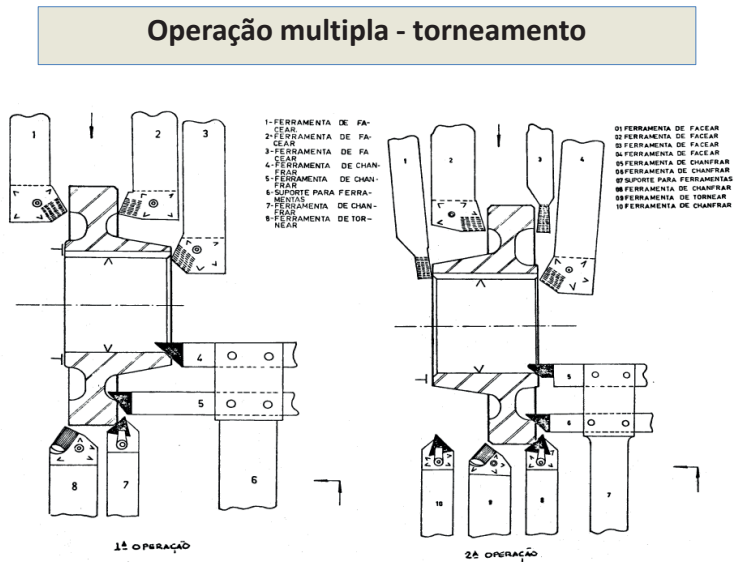




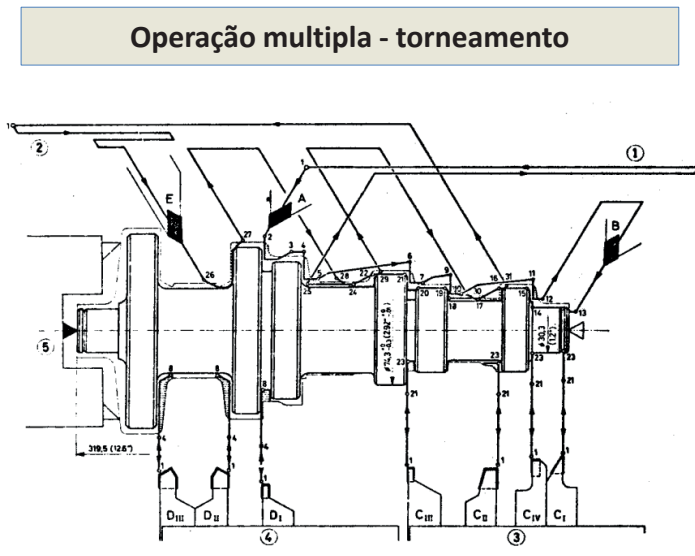
- furação de vários furos simultâneamente em furadeiras múltiplas:



- torneamento em tornos automáticos monofusos multi-ferramentas:



- usinagem de diâmetros externos e canais em tornos a comando numérico;



- usinagem de torneamento em tornos multi-fusos, etc.

Figura 3.6 - Exemplos de operações múltiplas

Fonte: [15]

### 3.5 Roteiros de manufatura

Os roteiros de manufatura são classificados em:

#### 1) **Roteiro fundamental:**

Define-se como roteiro fundamental como o conjunto de operações necessárias para obter-se na peça física as especificações explicitadas no desenho da peça. O roteiro fundamental é composto de operações fundamentais.

*Operações fundamentais*

Na determinação do roteiro e do processo de fabricação, é necessário definir-se quais as operações que são consideradas essenciais, sem as quais a peça não será fabricada mantendo-se a necessária correlação bi-unívoca com o seu desenho de produto respectivo. Assim, define-se:

*Operações fundamentais como operações indispensáveis ao processamento da peça., e que atendem as especificações contidas no seu projeto de produto.*

A omissão de qualquer uma das operações fundamentais provocará a interrupção da sequência de operações sem possibilidades de continuidade. É importante ainda, que estas sejam colocadas em ordem lógica de modo a atender as Regras de Precedência.

São fundamentais todas as operações que definem as medidas finais das peças, assim como suas características metalúrgicas, rugosidade superficial e desvios geométricos, de acordo com as especificações do desenho de produto. Exemplificando:

- retíficas finais tanto internas como externas, que definem medidas finais de diâmetro e face;
- lapidação e brunimento para especificação de rugosidades superficiais;
- tratamento térmico para especificação de dureza e profundidade de casca de cementação, nitretação ou cianetação em aços de baixo carbono;
- fresamento de rasgos e canais que não sofrerão retífica posterior;
- operação de acabamento de dentes de engrenagem, quando houver (shaving, roll-shaving, retificação, etc.);
- mandrilamentos de furos de precisão para garantir dimensões e posições relativas entre furos;
- furação e rosqueamento.

Também são consideradas como fundamentais operações intermediárias que permitam a execução das operações finais, assim como operações iniciais para criação do sistema de referência.

Assim, tem-se:

- torneamento de eixos (e engrenagens  $\frac{1}{D} \cong 1$ ), a partir da peça em bruto, seja forjado ou barra.

Normalmente, dependendo das tolerâncias e precisão das máquinas, é possível obter-se algumas dimensões finais;

- corte de dentes para posterior acabamento. Para o caso de estrias, o corte é considerado como operação final;
- operação de facear e centrar, que definam sistema de referência;
- operações de facear em peças não assimiláveis a sólidos de revolução, que também definem o sistema de referência.

Ressalta-se mais uma vez que as operações fundamentais terão sempre que ser colocadas em ordem lógica de execução. Assim, por exemplo, não é possível acabar-se os dentes de engrenagem por “shaving” após tratamento térmico, retificar-se os diâmetros sem prévio tratamento térmico, tornear-se sem facear e centrar, mandrilar furos de precisão sem referência usinadas, etc. A ordenação lógica das operações fundamentais será feita mediante a aplicação das Regras de Precedência, que serão apresentadas no desenvolvimento deste capítulo.

Após a execução de todas as operações fundamentais de processo, a peça deverá estar pronta para ser conferida com o desenho do produto. A figura 3.6 mostra as operações fundamentais na peça anteriormente mostrada na figura 3.3 com as respectivas operações fundamentais:

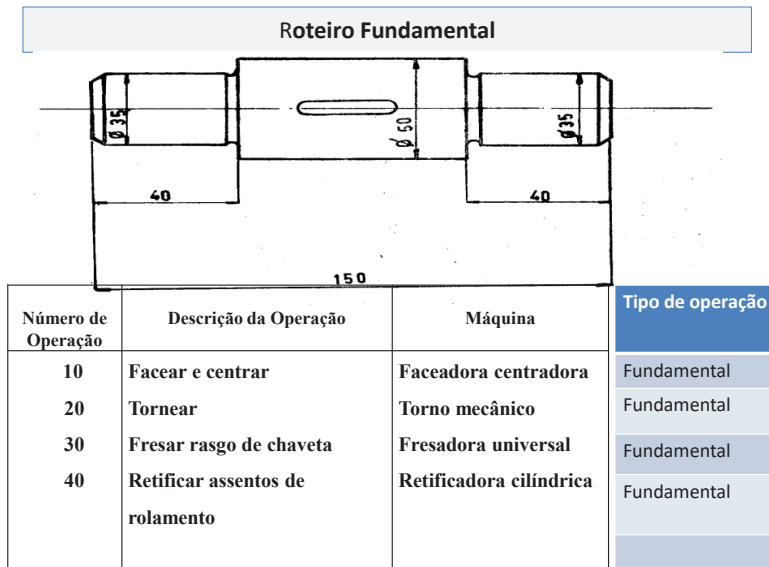


Figura 3.7 - Operações fundamentais  
Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a execução de todas as operações fundamentais, a peça deverá estar pronta para ser conferida contra o desenho do produto. Deve-se aqui reafirmar:

**A peça final deve ser imagem e semelhança do seu respectivo desenho.**

## 2) Roteiro completo

As operações fundamentais, apesar da sua importância, não são suficientes para a manufatura adequada das peças. Elas, na sua execução, criam a necessidade de se acrescentar outras operações, que são operações complementares, operações auxiliares, opcionais e operações de inspeção. Cada uma dessas operações são detalhadas a seguir:

**a) Operações complementares:** são aquelas que são criadas por consequência da execução fundamentais, ou ainda por serem necessárias para que seja possível a execução da operação fundamental. Podem ser consideradas operações complementares, as seguintes operações:

- **Rebarbação:** após a usinagem de fresamento de rasgos, furação, corte de dentes, chanframento de dentes, torneamento de faces após brochamento de furos, há a formação de

rebarbas que deverão ser eliminadas. Esta eliminação deve ser feita através de operações de rebarbar, seja em bancada com a peça parada ou em torno mecânico adaptado para este serviço.

A rebarbação é feita utilizando-se limas manuais ou rotativas, montadas em rebarbadoras pneumáticas. Pode-se ainda utilizar máquinas especiais para rebarbação, projetadas especialmente para este fim, utilizando-se bedames especiais, escovas de aço rotativas. Para produções em alta escala, pode tornar-se compensadora a rebarbação por processos eletroquímicos. Sua produção e qualidade são bastante satisfatórias, porém o investimento inicial em equipamento e ferramental é bastante alto, sendo possível sua amortização para produções de processo, de difícil solução, visto ser quase sempre manual e de baixa produtividade, o que ocasiona, em médias e altas séries, a contratação de excesso de mão de obra, onerando o custo final.

- **Lavagem** : São operações geralmente empregadas nos seguintes casos:

- 1) antes do acabamento final dos dentes de uma engrenagem pelo processo de rasquetamento rotativo “(shaving)”, afim de eliminar cavacos e corpos estranhos que possam ficar entre os dentes a serem acabados. Devido a alta pressão de contato neste tipo de usinagem, a interferência desses corpos estranhos poderia danificar o cortadores “shaver”.

- 2) antes da entrada da peça para tratamento térmico, quando houver necessidade devido a alteração provocada pelo óleo de corte na atmosfera carburante do forno, com diminuição ou, em casos extremos, eliminação da camada cementada, em aços de baixo carbono (ABNT 1020, 1620, etc.).

- 3) após a peça pronta, para armazenagem ou montagem. Neste caso, em peças de aço ou ferro fundido, é também acrescentado um banho de óleo anti-oxidante, para evitar ferrugens.

- **Marcação de número, símbolo e data**: em fabricação de peças ou conjuntos onde haja possibilidade de reposição ou falhas em operação, são incluídas operações de marcação de números, datas, identificação, sempre antes de tratamento térmico. Cria-se, assim, a possibilidade de rastreamento posterior a manufatura das peças, para se determinar as condições pelas quais estas foram manufaturadas.

**b) Operações auxiliares:** são executadas para correção de erros introduzidos por operações fundamentais, ou ainda, para permitir a execução de operações fundamentais posteriores. Assim, dependendo do tipo de peça, pode-se ter:

- **Retíficas antes de tratamentos térmicos:** Operações feitas com a peça antes do tratamento térmico, introduzidas para permitir operações fundamentais posteriores. Tem a função de eliminar erros geométricos (paralelismo, concentricidade, perpendicularismo), ou diminuir campo de tolerâncias que foram obtidos através de uma operação anterior, mas que são, porém, insuficientes para a qualidade requerida na operação a ser executada. São bastante empregadas nos seguintes casos: a) Corte de dentes ou estrias em eixos ou engrenagens que sofreram operação de torneamento, nestes casos, a retífica introduzida em diâmetro e faces irá reduzir ao mínimo indispensável As tolerâncias de concentricidade entre o diâmetro de fixação e a face de encosto com o respectivo diâmetro primitivo da engrenagem.

b) conformação a frio de estrias, onde o diâmetro a ser rolado a frio deve ter tolerância estreita com qualidade IT-6. b) referências de encosto ou localização para dispositivos em operações de peças não assimiláveis a sólidos de revolução, (garfos de engate, setores, alavancas, etc.).

- **Lapidação de centros** - A referência de processamento de um eixo, são os centros criados na operação de facear e centrar. Os desvios introduzidos nos centros irá determinar variações de remoção de material, provocando inclusive manchas na peça retificada final. Quando são feitos tratamentos térmicos, os centros sofrem deformações que podem introduzir desvios de montagem na retificação final. Introduz-se então a lapidação desses centros, para diminuição das irregularidades da superfície cônica do centro, permitindo contato uniforme deste com o ponto de retificadora. A figura 3.7 mostra esquematicamente a operação de lapidação de centros.

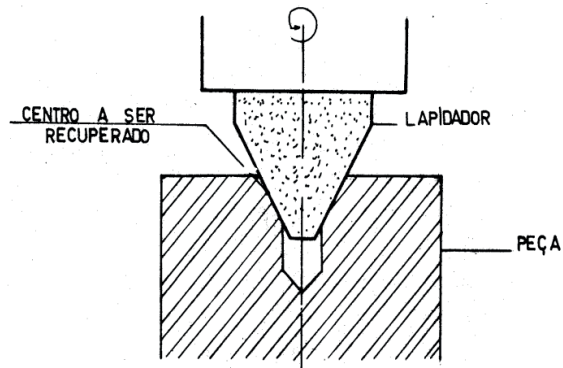


Figura 3.8 - Lapidação de centros

Fonte: [12]

- **Desempenamento de eixos após tratamento térmico:** Operação destinada a corrigir os empenamentos excessivos devidos à deformações consequentes a operação de tratamento térmico, para evitar falhas devidas a falta de sobremetal nas operações finais. Deve ser feita sempre após a lapidação de centros. A figura 3.8 mostra esquematicamente a operação desempenamento.



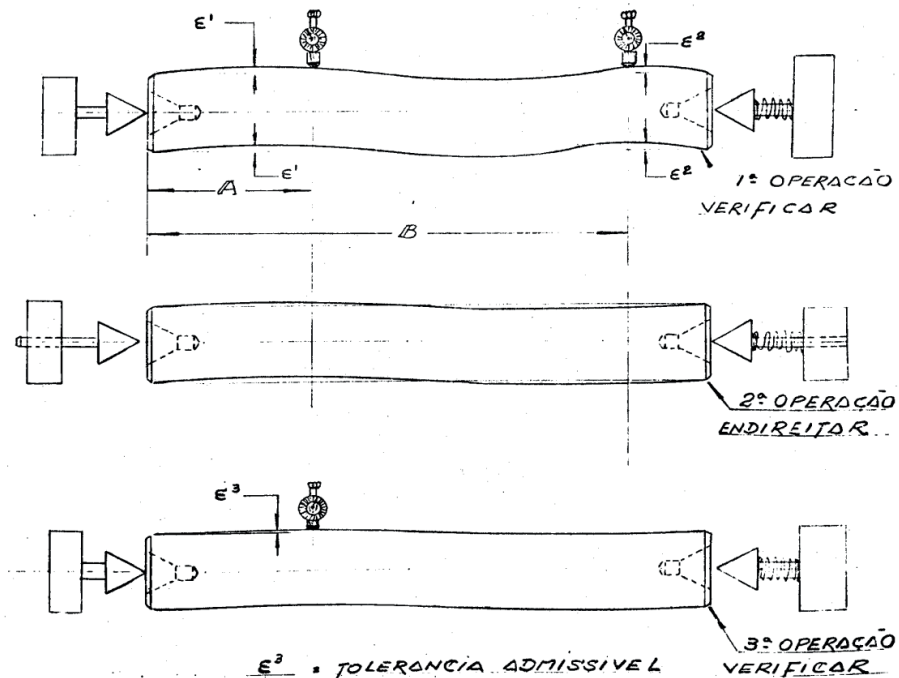


Figura 3.9 - Desempenamento de eixos

Fonte: [12]

As operações auxiliares são introduzidas devidas principalmente à impossibilidade do equipamento existente em atender às especificações do desenho de produto da peça. A sua introdução sempre provoca a oneração do processamento, devendo, portanto, serem evitadas.

e) **Operações opcionais** são, como o próprio nome indica, necessárias somente em alguns lotes de peças, sendo desnecessárias em outros. A sua participação no processo produtivo é ocasional, sendo utilizada somente em condições especiais, tais como:

- **Desempenamento de eixos em bruto**, sejam forjados ou em barras, antes da operação de facear e centar, devido a um empenamento excessivo que poderia causar falta de sobremetal nas operações subsquentes da usinagem;
- **Retratamento de peças por deformação excessiva de tratamento térmico**, ou ainda por este não ter atingido as qualidades metalúrgicas especificadas no seu desenho de produto.

- **Alívio de carga de máquinas** Determinadas operações podem ser executadas em duas máquinas diferentes, dependendo da carga de cada uma das máquinas, o que pode dar maior versatilidade à produção naquela operação específica.

As operações opcionais também devem ser evitadas, pois irão aumentar o ferramental em consumo, com um conseqüente aumento de inventário de ferramentas. Outro inconveniente que elas apresentam, é viciar a Produção em processos de manufatura de mais simples controle, apesar de menos produtivos, freinando-se a evolução de processos mais modernos. É o caso típico de introdução de equipamentos e máquinas mais sofisticadas que exigem, para sua perfeita utilização, de aprendizado em suas técnicas de operação. As vezes torna-se mais cômodo recorrer a uma operação opcional pelo processamento anterior, prática que deve ser evitada.

**d) Operações de inspeção:** são operações necessárias para a verificação da qualidade das peças em fases críticas do roteiro de manufatura tais como:

- antes da entrada da peça para tratamento térmico, quando houver.
- verificação de dureza e características metalúrgicas após a peça tratada termicamente.
- inspeção final após a peça pronta.
- para engrenagens de precisão, acabadas em “shaving” ou retificadas, verificação dimensional antes desta operação.

O ferramental de inspeção nas operações supracitadas, deverá ser especificado pela respectiva operação de inspeção.

A figura 3.9 exemplifica o roteiro completo de manufatura, com suas operações fundamentais, complementares, auxiliares de inspeção e opcionais

<b>Roteiro Completo</b>			
<b>No de Operação</b>	<b>Descrição da Operação</b>	<b>Máquina</b>	<b>Tipo de Operação</b>
10	Facear e centrar	Faceadora entradora	Fundamental
20	Tornear	Torno CNC	Fundamental
30	Fresar rasgo de chaveta	Fresadora universal	Fundamental
40	Inspecionar antes do toto	Bancada	Inspecção
50	Tratar termicamente	Forno intermitente	Fundamental
60	Desempenar	Bancada	Auxiliar
70	Lapidar centros	Furadeira vertical	Auxiliar
80	Marcar numero , simbolo e data	Bancada	Auxiliar
90	Retificar assentos de rolamento	Retifica cilindrica	Fundamental
100	Lavar	Maquina de lavar	complementar
110	Inspecionar totalmente	Bancada	Inspecção
120	Armazenar	Estante designada	Complementar

Figura 3.10 - Roteiro completo de manufatura  
Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.6 Estruturação do processo de manufatura

Após a definição dos principais tipos de operações que compõem o processo de manufatura, estrutura-se o roteiro, encadeando-se as operações de modo a compor o caminho lógico que inicia-se com o desenho da peça com suas respectivas especificações dimensionais, materiais e tolerâncias dimensionais, geométricas (desvios macrogeométricos – forma e posição – e micro geométricos – rugosidade superficial) metalúrgicas (dureza superficial, camadas endurecidas, etc ), e deposição química.

Este encadeamento preve a seleção das peças em bruto a partir das quais o roteiro se inicia, as operações iniciais que introduzem o sistema de referência para a sequência das operações, operações intermediárias e operações finais. A peça física obtida a partir desta sequência deverá manter relação bi-unívoca com o respectivo desenho da peça correspondente, mantendo as suas especificações. Através do atendimento das operações do processo de manufatura, sequenciadas de acordo com Regras de Precedência, garante-se sistemicamente peças físicas que mantem as especificações do seu respectivo desenho. A partir desse enfoque

metodológico, obtêm-se produtos que atendem ao Princípio da Intercambiabilidade, fundamental para a manufatura de bens.

Tomando-se como referência a figura 4.4, as operações do processo de manufatura são classificadas:

### 3.6.1 OPERAÇÕES INICIAIS

As operações iniciais do roteiro de manufatura introduzem o sistema inicial de referência a ser seguido nas operações seguintes do roteiro de fabricação. Ressalte-se que o sistema de referência do roteiro de manufatura deve ser o mesmo que foi adotado no projeto da peça correspondente. Exemplificando, em um eixo, o sistema de referência adotado no seu projeto serão os assentos de rolamento, gerando a correspondente linha de centro. A operação inicial deverá manter esta referência.

### 3.6.2 OPERAÇÕES INTERMEDIÁRIAS

São as operações do roteiro de fabricação, cujas dimensões, e especificações não são as finais, constantes do desenho da peça. Exemplificando, na usinagem do eixo citado anteriormente, as operações de torneamento irão determinar dimensões, desvios geométricos, rugosidade, etc., com variações maiores que as finais constantes no desenho da peça. As tolerâncias e especificações deverão ser compatíveis com a capacidade do processo sendo executado.

### 3.6.3 OPERAÇÕES FINAIS

São as operações do roteiro que determinam as dimensões, tolerâncias e especificações constantes no desenho da peça. As operações finais determinam as especificações pelas se estabelece **relação bi-unívoca entre as especificações do desenho da peça e a respectivas especificações da peça física.**

Entre cada dimensão intermediária relacionada a dimensão final, dimensiona-se sobremetal e tolerâncias intermediárias, que permitem a eliminação dos desvios correspondentes à operação anterior do roteiro, e a fixação das especificações da operação sendo executada.

### 3.7 Conclusão

As operações fundamentais, ordenadas segundo regras de precedência, constituem o **roteiro fundamental de manufatura** da peça em questão.

Há que se ressaltar, no entanto, que um processo de manufatura é sempre um trabalho criativo de engenheiros e técnicos em manufatura, sendo, portanto, impossível prever normas rígidas para todos os casos de seu planejamento. Em muitos casos, novas soluções de produção ou novos tipos de equipamento são desenvolvidos como resultado da iniciativa deste grupo de trabalho. O processo será tanto mais preciso e econômico quanto for o conhecimento tecnológico e organizacional da equipe designada para esta função.

A figura 3.10 mostra o caminho lógico que se inicia com o desenho da peça e suas especificações, finalizando-se com a peça física manufaturada de acordo com a sequência acima descrita. Ressalte-se que a lógica de estruturação do processo de manufatura deve levar em conta os sobremetals removidos entre operações.

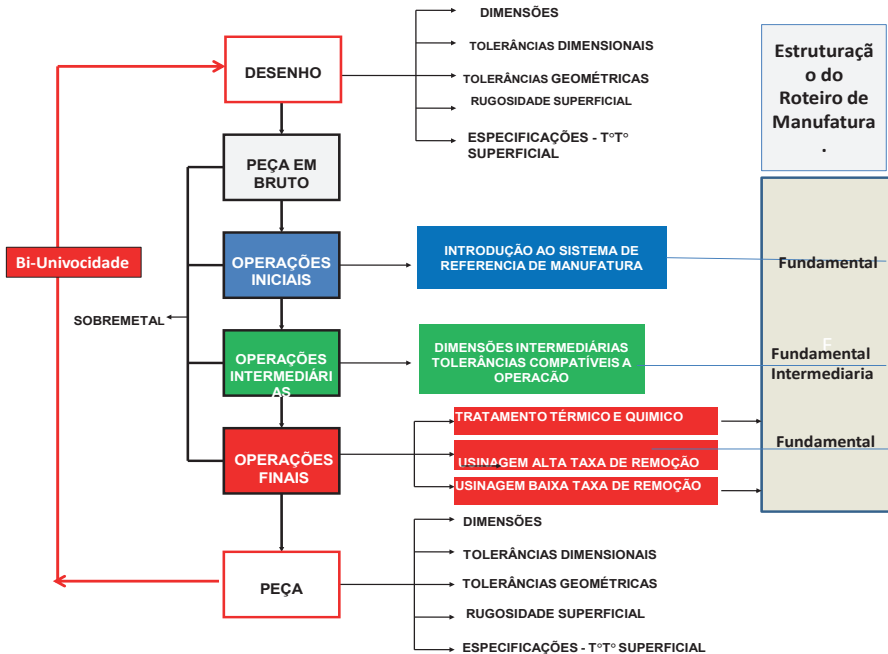


Figura 3.11 - Roteiro completo de manufatura de peças

Fonte: Elaborado pelo autor.

Apresenta-se a seguir, na figura 3.11 o roteiro de manufatura completo com a respectiva classificação das operações.

<b>Roteiro Completo</b>				
No de Operação	Descrição da Operação	Máquina	Tipo de Operação	Operação no roteiro
10	Facear e centrar	Faceadora entradora	Fundamental	Inicial
20	Tornear	Torno CNC	Fundamental	Intermediária
30	Fresar rasgo de chaveta	Fresadora universal	Fundamental	Final
40	Inspecionar antes do toto	Bancada	Inspeção	
50	Tratar termicamente	Forno intermitente	Fundamental	Final
60	Desempenar	Bancada	Auxiliar	
70	Lapidar centros	Furadeira vertical	Auxiliar	
80	Marcar numero , simbolo e data	Bancada	Auxiliar	
90	Retificar assentos de rolamento	Retifica cilindrica	Fundamental	Final
100	Lavar	Maquina de lavar	complementar	
110	Inspecionar totalmente	Bancada	Inspeção	
120	Armazenar	Estante designada	Complementar	

Figura 3.11 - Roteiro de manufatura completo, com as respectivas classificações das operações  
Fonte: Elaborado pelo autor.

O desenvolvimento descrito nos parágrafos anteriores conceitua as principais grandezas que compõem o roteiro de manufatura. Nos capítulos posteriores serão desenvolvidos os conceitos e critérios a serem adotados para se desdobrar o roteiro de manufatura, seguindo-se a lógica apresentada na figura 3.11.



## 4 ANÁLISE DO DESENHO DA PEÇA

### 4.1 Introdução

Conforme foi desenvolvido no capítulo 3, o roteiro fundamental de manufatura é composto das seguintes fases:

Análise do desenho de Produto – contêm especificações a serem inseridas na peça física.

Escolha da peça em bruto.

Operações iniciais – Introdução do sistema de referência para manufatura.

Operações intermediárias.

Operações finais.

Obtenção da peça física – esta deve conter especificações definidas pelo desenho da peça.

Dimensionamento de sobrematal a ser removido entre as operações correspondentes.

Serão desenvolvidos a seguir as fases acima, com o detalhamento necessário.

### 4.2 Análise do desenho do produto

Antes da análise dimensional das peças propriamente dita, será necessário um estudo de aplicação da referida peça no conjunto a qual ela pertence, para a avaliação das suas necessidades, tanto em tolerâncias dimensionais quanto geométricas. Após esta análise inicial, passa-se a análise do desenho da peça propriamente dito.

Este deverá conter:

- projeções e vistas em corte para se ter idéia completa do projeto e das formas da peça;
- dimensões com as respectivas tolerâncias;
- indicação de rugosidade superficial das superfícies, através de valores normalizados (Ra., Rz, Rmax, etc.);
- tolerâncias permissíveis de desvios geométricos;
- tipo e especificação do material;
- peso da peça e tolerâncias de peso, se necessário;
- dureza superficial, medida em unidades tipo Rockwell C, Brinell, etc.;
- camadas de proteção (zincagem, cromação, etc.);
- outras especificações.



Após essas verificações, o desenho deve ser analisado sob o ponto de vista de manufaturabilidade, em função das quantidades previstas e do equipamento disponível.

Com relação a estes aspectos, algumas dificuldades terão que ser analisadas, tais como:

- Dificuldades de produção devido a formas construtivas ou tolerâncias do desenho. Se se constatar dificuldades de manufatura, que poderão encarecer a manufatura devido a baixa produtividade ou ferramental de alto custo, deve-se procurar as especificações e formas do desenho em comum acordo com os engenheiros de Produto.
- Possibilidade de aplicação de métodos de alta produção, quando estes forem necessários. Tais métodos poderão conduzir a alterações do projeto, tais como colocação de bossas de referência para usinagem, reestudo de dimensões e tolerâncias. Um exemplo típico deste tipo de análise é a substituição de estrias cortadas através de sistema de geração (caracol) para conformadas, através do sistema de rolagem a frio.
- Há que se considerar também, neste tipo de análise, As tolerâncias dimensionais. Neste caso, a análise deve ser conduzida para que As tolerâncias sejam obtidas em uma única operação de processo ou, em último caso, com o desmembramento em duas ou mais operações.
- Os desvios de forma (circularidade conicidade, etc.), e posição (perpendicularismo, paralelismo, etc ) devem ser no máximo metade das tolerâncias correspondentes e ser compatíveis com As tolerâncias possíveis de serem obtidas com o equipamento à disposição. Caso não seja possível obtê-los com o equipamento a disposição, dever-se discutir o projeto da peça a fim de se verificar a possibilidade de adequação ao equipamento.
- A rugosidade superficial deve ser coerente com as máquinas-ferramenta disponíveis (retificadoras, tornos) e aparelhos de medição.

No caso de não se conseguir atender as especificações do desenho da peça, haverá necessidade de investimento em máquinas ferramentas mais precisas. Será necessário conhecer-se a função de cada peça e suas condições de montagem no conjunto, para equacionar-se essas especificações. Portanto, para se obter os processos de manufatura que estejam adequados a produção de peças em regime estável, não basta somente um estudo de desenho das peças em separado, havendo necessidade de se estudar a unidade a que elas pertencem, além das suas funções no produto após a montagem.

A figura 4.1 mostra um desenho de uma peça típica, mostrando as dimensões e especificações necessárias para a sua manufatura

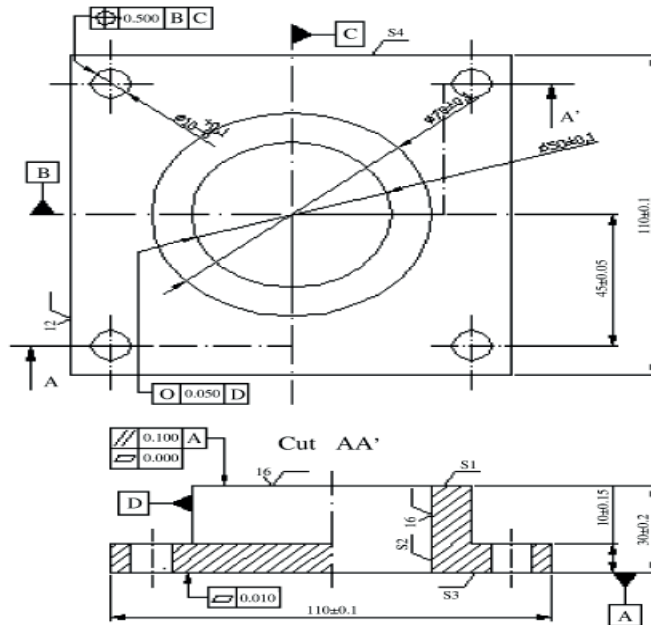


Figura 4.1 - Desenho de produto de uma peça  
Fonte: [40]

### 4.3 Escolha das peças em bruto

#### 4.3.1 INTRODUÇÃO

Ressalte-se inicialmente que este capítulo não tem a intenção ou responsabilidade de se aprofundar no desenvolvimento intrínseco dos processos de obtenção de peças em bruto. O objetivo é de classificá-los dentro dos critérios de seleção que serão estabelecidos. Para facilitar o entendimento do leitor, visando esse propósito, serão feitas descrições breves sobre cada processo, características principais, etc.

Um fator importante no desenvolvimento adequado do roteiro de manufatura é a utilização de peças em bruto com formas economicamente projetadas que possibilitam seu processamento em máquinas operatrizes e equipamentos através de métodos que possibilitem a máxima capacidade de produção com a menor remoção possível de cavaco.

Esta necessidade obriga a desenvolvimentos constantes na precisão e no acabamento superficial das peças, tornando suas formas e dimensões as mais próximas possíveis das peças acabadas. Isto naturalmente reduz o sobremetal de usinagem, deixando-o, em alguns casos, somente para um passe final de acabamento.

A seleção correta das peças em bruto irá proporcionar aumento de produtividade, sem aumento do espaço útil necessário da fábrica, das máquinas e do ferramental de usinagem. Ao mesmo tempo, porém, a seleção das peças em bruto depende das condições de produção, grau de automação utilizado nas operações, tamanho das peças, repetição de quantidades de peças a serem produzidas. Assim, se o lote de peças a serem fabricadas é relativamente grande e constante por período de tempo longo, será viável a investimentos maiores para a fabricação das peças em bruto, não sendo justificado para pequenos lotes ou peças com constantes alterações dimensionais.

A figura 4.2 mostra esquematicamente a composição do processo de manufatura a partir da matéria-prima, ressaltando-se a seleção das peças em bruto, ou seja, onde se apresenta a peça no seu estado primário, antes de se iniciarem as operações que irão gerar a peça física.



Figura 4.2 - Fluxo do processo de manufatura, com destaque para as peças em bruto

Fonte: Elaborado pelo autor.

As peças em bruto são classificadas levando-se em conta as peças acabadas. Genericamente, pode-se dividi-las em dois grandes grupos:

Os critérios de seleção para as peças em bruto são:

- Tecnológicos: levam em conta a forma, dimensões, tolerâncias, superfície e material.
- Economicos: levam em conta o tamanho dos lotes, dispositivos necessários e custos de usinagem.
- Temporais: levam em conta os prazos de prazos de entrega de material e ferramental com destaque para as peças em bruto.

A figura 4.3 esquematiza os criterios de seleção das peças em bruto.

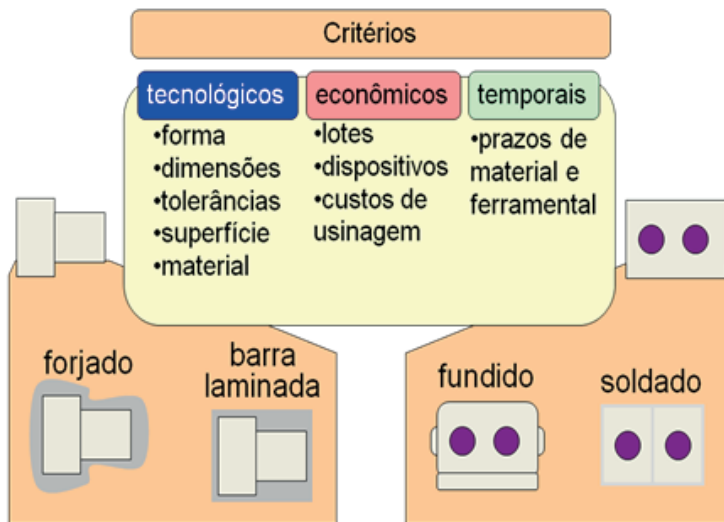


Figura 4.3 - Critérios de seleção de peças em bruto  
Fonte: Elaborado pelo autor.

As peças em bruto são classificadas levando-se em conta as peças acabadas. Genericamente, pode-se dividi-las em dois grandes grupos: Peças não assimiláveis a sólidos de revolução e peças assimiláveis a sólidos de revolução.

#### 4.4 Peças não assimiláveis a sólidos de revolução

Enquadram-se nesta categoria peças cujas formas são complexas para serem obtidas a partir de usinagem, tais como carcaças de redutores, bases, carcaças componentes de máquinas,

etc. Para esse tipo de peça, pode-se obter as peças em bruto a partir de vários processos, conforme descrito abaixo:

#### 4.4.1 PEÇAS FUNDIDAS

As peças que podem ser obtidas por fundição são exemplificadas na figura 4.4.

As peças obtidas por fundição só serão economicamente viáveis quando forem obtidas em séries constantes e sem grandes alterações no projeto inicial. Os investimentos necessários à construção de ferramental para fundição geralmente são elevados, sendo amortizados através da fabricação de vários lotes de peças.

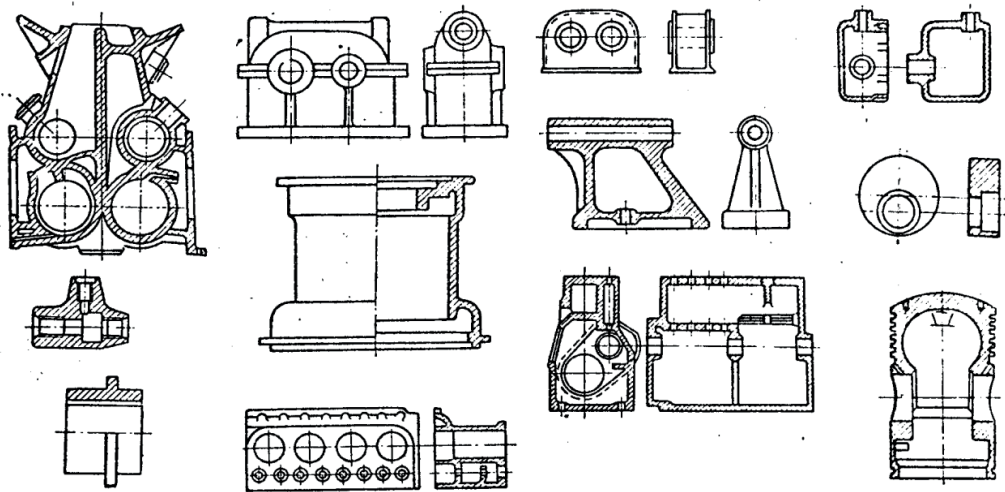


Figura 4.4 - Peças fundidas

Fonte: [17]

Os principais processos de fundição são:

##### a) Fundição em areia (manual)

Utilizada para a fabricação de peças de grandes dimensões, tais como bases de máquinas, carcaças, cabeçotes, etc. A fusão é feita em caixas de fundição, moldadas em duas partes e centradas através de pinos de centragem. O vazamento do metal líquido é feito através de pontes

rolantes e manualmente, de modo a se evitar a interrupção da alimentação, provocando a perda da peça fundida. Os modelos para este tipo são de madeira, enquanto que a compactação da areia é feita manualmente, através de martelos pneumáticos ou socadores manuais.

As aplicações deste tipo de fundição são peças de grandes dimensões, aliadas a um baixo custo operacional. As desvantagens são a baixa produtividade e a obtenção de tolerâncias bastante abertas quando comparadas a outros processos.

### **b) Fundição em areia (automatizada)**

É o processo utilizado para peças de pequenas dimensões e fabricadas em grandes séries, tais como peças de automóveis, conexões de ferro fundido ou aço para transporte de líquidos, peças de eletrodomésticos, máquinas de costura, etc. Os modelos são construídos em alumínio, com maior precisão, em alumínio ou ferro fundido. A compactação da areia de fundição é feita através de máquinas de moldar, com produção, dependendo do tamanho e complexidade das peças, de 30 a 60 moldes/hora. O vazamento do metal líquido é feito através de esteiras transportadoras que conduzem as caixas até os fornos, e desmoldadas a seguir através de um processo contínuo.

As vantagens principais deste processo são a alta produção por unidade de tempo, assim como tolerâncias mais estreitas na peça fundida. Sendo que o ferramental e as instalações são de alto custo, sua utilização só poderá ser adotada para altas produções.

### **c) Fundição em shell-molding**

O processo de fundição em casca, ou “shell-molding” é aplicado para peças fundidas com maior precisão dimensional. O processo é baseado no emprego de resinas ferrólicas que servem como aglomerantes, para a areia de moldagem, dando formas precisas e resistências aos moldes. Os moldes de “shell” são quimicamente curados pela insuflação de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) à mistura previamente compactada de areia de moldagem e resina fenólica, quando esta é retirada dos moldes ou caixa de moldar. As cascas (shell) assim obtidas irão substituir a moldagem com areia fina feita na fundição em areia, tanto para moldagem manual como mecanizada. Existem equipamentos especiais para moldagem de cascas (shell) onde a alimentação da resina fenólica e da areia é feita automaticamente sobre o modelo de alumínio. Depois de endurecida a casca é

extraída do modelo através de pinos extratores. A produção varia muito de acordo com a complexidade das cascas sendo produzidas, podendo atingir, para grandes produções, até 1000 moldes por hora.

As vantagens principais da fundição em “shell-molding” são:

- a) as peças obtidas por este sistema tem acabamento superficial melhor que em outros processos, eliminando-se usinagens de acabamento;
- b) as peças podem ser fundidas com detalhes de superfície bastante mais precisos;
- c) o tipo de moldagem conduz naturalmente a um tipo de moldagem mecânica e grandemente automatizada.

É um processo destinado a peças pequenas e médias dimensões (até 2kg), de formas complexas e acabamentos superficiais de boa qualidade. Deve ser empregada preferencialmente para altas produções devido ao elevado custo do ferramental e equipamento.

#### **d) Fundição em moldes permanentes**

Outro processo de fundição bastante moderno é dos moldes permanentes. Foi ele considerado, durante algum tempo como um passo intermediário entre a fundição em areia e em coquilha. É bastante utilizado como um processo que permite a fundição de peças que seriam inviáveis por outros processos devido a sua complexidade. Conseguem-se peças de alta qualidade através do resfriamento controlado do metal, aliado a um projeto apropriado dos modelos.

Basicamente, o processo consiste em se vazarem o metal líquido em moldes de aço indeformável, composto de uma ou mais partes unidas entre si de modo que possam abrir-se ou fechar-se com facilidade, além de canais de alimentação, massalotes similares aos utilizados para fundição de areia. Os machos, em geral, são construídos também em aços-liga indeformáveis com o aumento da temperatura. Um transportador leva os moldes até a máquina de fundição, que é equipada com dispositivos de fixação rápida. Para evitar aderência das peças fundidas ao modelo e aos machos, estes são pintados com massa refratária à base de grafite que irá facilitar inclusive a sua extração dos respectivos modelos.

Para pequenas produções o emprego de moldes permanentes só é justificado para melhorar a qualidade da superfície das peças, além de facilitar a usinagem. Porém, devido ao custo do modelo e do equipamento, este tipo de fundição é utilizado para programas de fundição

em alta escala, seja de peças em ferro fundido e ligas leves. É o método normalmente utilizado para a fabricação de casquilhos de bronze.

### **e) Fundição em coquilha**

A fundição em coquilha consiste na fabricação em série de peças obtidas injetando-se (a elevada pressão) metal líquido em moldes metálicos permanentes denominados coquilhas. A fundição em coquilha é, por si mesmo, um processo de produção em massa, que se desenvolve na indústria automobilística. Este processo aplica-se para a fusão de peças metálicas de materiais não ferrosos de baixo ponto de fusão.

A obtenção de tais peças diferencia-se, basicamente, da fundição em moldes permanentes, pelo fato que o metal fundido é obrigado a entrar na coquilha a uma pressão bastante elevada, enquanto que no processo de molde permanente, a alimentação é feita através de um vazamento do metal líquido através de alimentadores e massalotes, através do seu peso próprio, além da própria configuração do molde. Tratando-se de peças de tamanho pequeno, existe, na realidade, certa superposição entre os dois processos, pois ambos são indicados para altas produções. Os moldes permanentes são utilizados quando os metais a serem fundidos são de alta temperatura de fusão, tais como ferro fundido e as ligas de cobre. Por outro lado, a fundição sob coquilha leva grande vantagem com relação a fundição em molde permanente devido à maior velocidade de produção a um custo mais reduzido. Em comparação com a fundição em areia, tanto a fundição em coquilha como a de moldes permanentes conduzem a uma produção em grandes quantidades aliada a uma boa qualidade. Em contraposição, a fundição em areia não tem limitações de tamanho e os seus custos iniciais são menores.

Os metais mais empregados para fundição em coquilha são o chumbo, o estanho, e principalmente ligas de alumínio, zinco, magnésio e latão.

### **f) Fundição em cera perdida**

É um dos processos mais antigos de fundição, no qual faz-se um modelo de cera ou de plástico reproduzindo a peça desejada. Após moldá-lo e revesti-lo com material apropriado, o modelo é aquecido à temperatura suficientemente elevada, quando então a cera ou plástico se liquefaz, escoando-se do modelo. Assim, ficarão as cavidades correspondentes à peça



propriamente dita, além da alimentação, massalotes, respiros, etc. para se verter o metal líquido. Para produção seriada, o modelo é fabricado em duas partes, para que possa ser aberta facilmente.

O processo de fundição com cera perdida é de grande precisão, sendo que as superfícies obtidas são de qualidade bastante superior às conseguidas por fundição em areia, e para peças pequenas, As tolerâncias de fabricação pode manter-se dentro de 0,1 mm. É empregado frequentemente para se obter peças especiais, tais como ferramentas cortantes, impossíveis de serem fabricadas por forjamento ou usinagem. Quando as peças a serem fabricadas têm configurações especiais e propriedades mecânicas baixas, pode-se evitar ferramental de forjaria ou de usinagem bastante dispendiosos, sempre que os lotes a serem fabricados são pequenos.

Geralmente, porém, quando as peças podem ser obtidas a partir de forjamento, estampagem, usinagem ou outro processo similar, a fundição por cera perdida não deve ser utilizada.

#### **g) Metalurgia do pó**

As peças são construídas a partir da sinterização do pó de vários metais ou misturas de metais com materiais não metálicos pulverizados tais como grafite, sílica, asbesto, etc. A metalurgia do pó é utilizada para a fabricação de peças, as quais não podem ser fabricadas por outros métodos, de elementos refratários (tungstênio, molibdênio, etc.), ou de metais que não formam ligas, ou ainda de mistura de metais e não metais (cobre e grafite).

O processo consiste na compactação de metais finamente pulverizados em composições controladas, feitas em matrizes a uma pressão de 1000 a 6000 kgf/cm<sup>2</sup> seguida de sinterização à temperatura imediatamente inferior ao ponto de fusão do componente básico.

A metalurgia do pó é utilizada para a fabricação de mancais deslizantes com propriedades antifricção, discos de freio, buchas autolubrificantes nas quais os poros são impregnados sobre pressão em 20 a 30% do seu volume com lubrificantes. Outro campo de aplicação deste método é a fabricação de contadores, magnetos e outras peças similares. A vantagem da metalurgia do pó é a possibilidade de fabricação de peças sem usinagem posterior, sendo aplicada na obtenção de pequenas peças de formato muito complexo.

A aplicação mais largamente difundida é a produção de insertos de metal duro para a usinagem, em substituição de aço rápido.

#### 4.4.2 PEÇAS SOLDADAS

A fabricação de peças em bruto a partir de estrutura soldada tem larga aplicação em casos especiais, tais como:

- a) Peças fabricadas somente uma vez, advindas de projetos especiais, tais como carcaças de redutores para aplicações especiais, carcaças de grande porte, tais como estatores de turbina, etc. Para estruturas de grande porte pode-se utilizar a solução mista de fundir peças pequenas, que depois irão compor o conjunto soldado, através de ligação com outras as peças menores com barras ou chapas cortadas e soldadas.
- b) Estruturas de dispositivos de usinagem, onde a forma e dimensões mudam de acordo com a necessidade do projeto.

Para os dois casos, a solução da estrutura soldada é mais barata, tanto em mão de obra como em consumo de matéria prima. Toda estrutura soldada deverá ser recozida antes de ser usinada para evitar deformações posteriores devido às tensões residuais de solda.

#### 4.4.3 PEÇAS FORJADAS

As peças forjadas que não são assimiláveis a sólidos de revolução, tais como alavancas, setores de engate, etc., utilizados em caixas de mudança de velocidade, cruzetas, virabrequins, etc., podem ser obtidas através de forjamento através de martelos de impacto, para pequenas séries, conforme mostra a figura 4.5. Tais martelos podem ser hidráulicos ou mecânicos. Como trata-se do processo mais rudimentar de forjamento, dependendo em grande parte da habilidade manual do operador, as peças assim obtidas, somente aproximam-se de maneira bastante grosseira das posteriores usinadas. Isto implica em usinagem posteriores ao forjamento com grande remoção de material, razão pela qual não são indicadas onde as séries são médias e grandes. Quando houver necessidade de se obter a peça forjada mais próxima da usinada, pode-se adotar matrizes abertas. Neste caso na parte inferior do martelo irá se alojar a matriz em alto relevo, que, com a matriz superior, irá proporcionar o forjamento desejado. Matrizes fechadas são utilizadas, em geral, para a produção de forjados em grandes produções em martelos de queda

livre e prensas. Devido ao seu alto custo de fabricação, as matrizes fechadas raramente serão empregadas em baixa produção. Os dois tipos principais de forjamento com martelo são:

- a) **forjamento com rebarbas:** o forjamento obtido gera rebarba ao redor da linha de contorno da peça, enquanto que o volume da barra a ser forjada é ligeiramente maior que o volume da cavidade da matriz. Tal sistema irá sempre garantir que a peça tome totalmente o espaço da matriz.
- b) **forjamento sem rebarbas:** neste tipo de forjamento com martelos, volume de material utilizado é calculado de modo a que não sobre nenhuma rebarba a ser removida posteriormente. As matrizes de forjamento podem prever uma ou mais peças, dependendo do seu tamanho e da capacidade de forjamento do martelo. A figura 4.16 mostra os tipos de peças possíveis de serem produzidas por este processo.

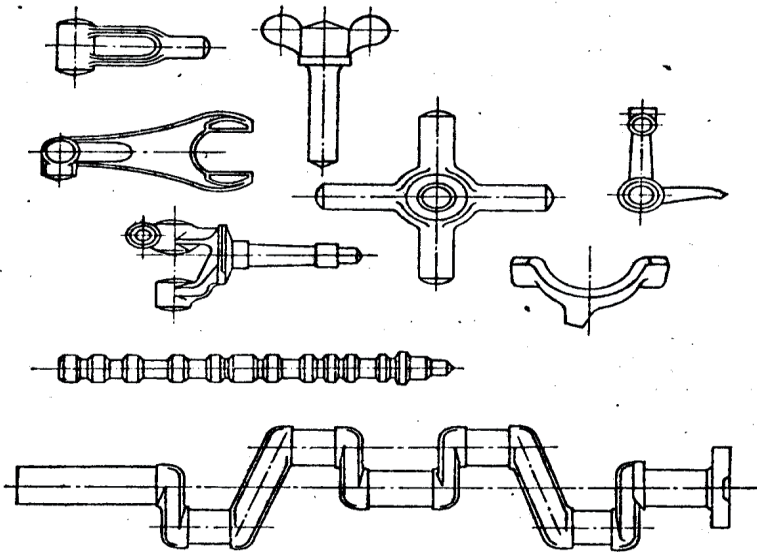


Figura 4.5 - Peças forjadas  
Fonte: [35]

#### 4.5 Peças estampadas

A estampagem de chapas finas e baixo carbono pode ser utilizada para a produção de peças em bruto de formas simples ou complexas, tais como arruelas, buchas, anel suporte de

retentores, latarias de veículos automotores, ou ainda carcaças em geral. A característica comum a todos estes tipos de peças é uma espessura de parede constante que difere muito pouco da chapa antes de estampada. O material inicial para as operações de estampagem são chapas moldadas em forma de bobina ou em fitas recortadas em dimensões padrão.

As peças podem ser produzidas por estampagem a frio a partir de aços de baixo carbono, aços liga duteis, cobre, bronze, latão, alumínio, além de ligas especiais de todos os materiais citados. A precisão obtida pela estampagem a frio é bastante grande, sendo que em vários casos, não há necessidade de usinagem posterior, sendo consideradas peças já em condição de montagem.

A estampagem a quente é aplicada para chapas de aço carbono com espessura superior a 8 ou 10 mm ou ainda materiais finos de baixa ductilidade. É utilizada principalmente para a fabricação de componentes de navio, fundos ou outras partes de caminhões tanques, caldeiras, instalações químicas, dispositivos especiais, etc.

Na produção de estampagens complexas, estas são subdivididas em um número sucessivo, que pode ser grande ou pequeno de operações consecutivas, dependendo da complexidade da peça a ser produzida.

As operações de estampagem podem ser divididas em dois grupos: operações de corte, nas quais a peça é separada da chapa, ou ainda uma parte da peça é separada de outra; operações de dobra, na qual uma parte da peça é deslocada com relação à outra, dentro dos limites de deformação plástica, sem destruir a peça. As operações de corte incluem: corte propriamente dito, corte ao longo do contorno, posicionamento e rebarbação, enquanto que as operações de dobra incluem dobra propriamente dita, alongamento, flangeamento, remachamento, etc. Uma chapa grossa costuma ser cortada em pedaços menores antes da estampagem através de corte oxiacetilênico.

Na estampagem a frio, as chapas são cortadas inicialmente em tiras ou partes de tamanho definido através de corte em guilhotina ou tesoura rotativa. A estampagem propriamente dita é feita em vários tipos de prensas excêntricas com capacidade variando de 6 a 4500 toneladas. A estampagem a quente é feita principalmente em prensas hidráulicas ou prensas de fricção, sendo que as prensas excêntricas são menos utilizadas para este tipo de trabalho.

As peças obtidas a partir de estampagem estão mostradas na figura 4.6.

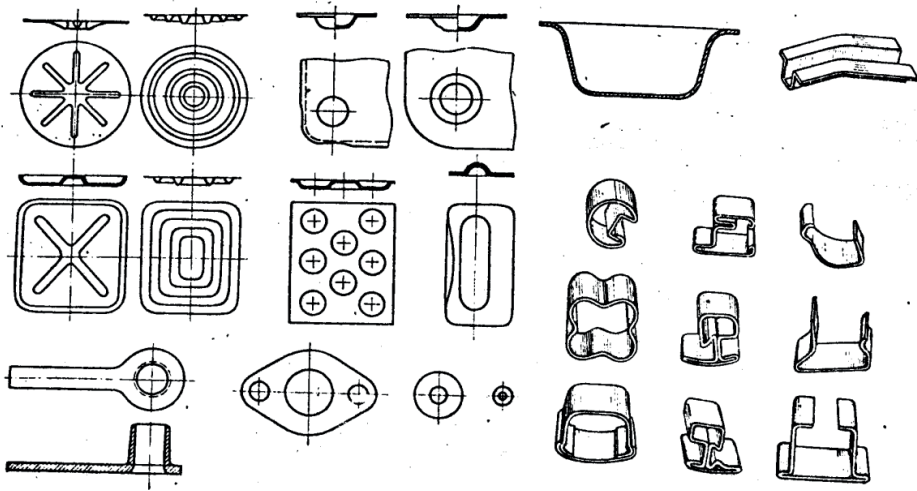


Figura 4.6 - Peças estampadas  
Fonte: [45]

#### 4.6 Materiais não metálicos

Entre os materiais não metálicos que encontram aplicações maiores podem-se destacar os plásticos, madeira, borracha, papel, asbestos, materiais têxteis e couro. Os materiais não metálicos utilizados para fabricação de peças têm peso bastante reduzido além de possuírem propriedades mecânicas satisfatórias. Devem ainda possuir propriedades tais como resistência alta ao atrito, estabilidade química contra a ação de solventes, resistência à água, gás, isolamento térmico, etc.

O plástico atualmente tem encontrado aplicação cada vez maior na indústria em geral, em substituição a peças tradicionalmente fabricadas em materiais metálicos. Assim é hoje comum a fabricação de buchas, anéis, mancais, e peças de configuração mais complicada obtidas através dos processos de injeção. A aplicação deste material está bastante generalizada, na substituição de peças que tradicionalmente eram produzidas por outros processos. A grande vantagem desta aplicação prende-se ao seu baixo custo quando comparado aos similares metálicos, visto que o investimento inicial do molde é rapidamente amortizado devido às altas séries de produção obtidas.

A aplicação deste material está bastante generalizada, na substituição de peças que tradicionalmente eram produzidas por outros processos. A indústria de eletrodomésticos, máquinas de costura e também a indústria automobilística estão entrando em grande escala com aplicação de peças em plástico afim de possibilitar reduções de custo consideráveis.

As peças plásticas podem ser construídas em várias dimensões, podendo-se adotar como qualidade IT5 a IT7.

#### **4.6 Peças assimiláveis a sólidos de revolução**

Estão enquadradas dentro desta classificação todas as peças simétricas com relação a um eixo de giro ou eixo de simetria, tais como eixos, engrenagens, varões, pinos, etc.

##### **4.6.1 EIXOS EM BRUTO**

São classificados como eixos sólidos de revolução com a relação  $l / d$  é maior ou igual a 4 , sendo  $l$  o seu maior comprimento e  $d$  o seu maior diâmetro. Essas peças em bruto são obtidos a partir dos seguintes processos:

##### **a Eixos a partir de barra laminada**

Barras laminadas pode ser utilizadas para usinagem de eixos com ressalto quando a diferença entre os diversos diâmetros não é muito grande. Levando-se em conta a remoção de cavacos, adota-se como valor orientativo, que, quando o peso da barra em bruto ultrapassar em mais de 15% ao peso do forjado correspondente, será mais econômico adotar-se a peça forjada.

Principalmente para a usinagem de pinos os varões sem variação de diâmetros, pode-se também optar por barras trefiladas, que possuem tolerâncias de fabricação menores, na faixa de IT 6 a IT7. Isto possibilitará a redução de sobremetal e operações posteriores de usinagem, reduzindo-se o custo final da peça.

As tolerâncias para barras laminadas e trefiladas estão previstas pelas normas ABNT PB-63 e ABNT PEB-54, conforme tabelas 4.1 , 4.2.,4.3 , 4.4,4.5 ,4.6, 4.7.

Tabela 4.1 - Tolerâncias da fabricação de barras redondas laminadas e quente segundo ABNT-PB-53

(continua)

Diâmetro mm	Afastamentos permissíveis	Área cm <sup>2</sup>	Peso kg/m	Diâmetro mm	Afastamentos permissíveis	Área cm <sup>2</sup>	Peso kg/m
5		0,196	0,154	(51)	± 0,50	20,4	16,0
6		0,283	0,222	54		22,9	18,0
7	± 0,40	0,385	0,302	57		25,5	20,0
8		0,503	0,385	60		28,3	22,2
9		0,636	0,499	64		32,2	25,3
10		0,785	0,617	67	± 1,0	35,3	27,7
12		1,13	0,888	70		38,5	30,2
13		1,33	1,04	(73)		41,9	32,9
14		1,54	1,21	76		45,4	35,6
15	± 0,50	1,77	1,39	80		50,3	39,5
16		2,01	1,58	85	± 1,3	56,7	44,5
18		2,54	2,00	90		63,6	49,9
20	± 0,55	3,14	2,47	95		70,9	55,6
22		3,00	2,95	100	78,5	61,7	
(23)		4,16	3,26	105	± 1,5	86,6	68,0
24		4,52	3,55	110		93,0	74,6
25	± 0,60	4,91	3,85	115		104	81,5
26		5,34	4,17	120	113	83,8	
(27)		5,73	4,49	125	± 1,8	123	96,3
28		6,16	4,83	130		133	104
30		7,07	5,55	(135)		143	112
32	± 0,70	8,04	6,34	140	154	121	
34		9,08	7,13	150	± 2,1	177	139
36		10,2	8,00	160		201	158
38		11,3	8,90	170		227	178

(conclusão)							
40		12,6	9,86	180		254	200
42	$\pm 0.80$	13,9	10,0	190	$\pm 2,6$	284	223
(44)		15,2	11,9	200		314	247
45		15,9	12,5	210	$\pm 3,0$	346	272
(46)		16,6	13,0	220		380	298
48		18,1	14,2				
50		19,6	15,4				

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 4.2 - Tolerâncias de fabricação de barras quadradas laminadas a quente segundo ABNT-PB-62

(continua)				
Lado mm	Afastamentos permissíveis	Área cm <sup>2</sup>	Peso kg/m	Raio Máximo dos cantos mm
8	$\pm 0.40$	0,610	0,502	1,0
10		1,00	0,785	1,0
12		1,44	1,13	1,2
14		1,96	1,54	
16	$\pm 0.50$	2,56	2,01	1,5
13		3,24	2,54	
20	$\pm 0.55$	4,00	3,44	
22		4,84	3,80	1,8
24		5,76	4,52	
(25)	$\pm 0.60$	6,25	4,94	
26		6,76	5,31	2,0
28		7,84	6,15	
30		9,00	7,06	



(conclusão)				
32	± 0.70	10,2	8,04	
34		11,6	9,07	
36		13,0	10,2	2,5
38		14,4	11,3	
40		16,0	12,6	
42	± 0.80	17,6	13,8	
45		20,3	15,9	2,5
48		23,0	18,1	
50		25,0	19,6	
(51)	± 0.90	26,0	20,4	
54		29,2	22,9	
57		32,5	25,5	3,0
60		36,0	28,3	
64		41,0	32,2	
67	± 01.0	44,9	35,2	
70		49,0	38,5	
(73)		53,3	41,8	3,0
76		57,8	45,3	
80		64,0	50,2	
85	± 1.3	72,3	56,7	
90		81,0	63,6	3,0
100		100	78,5	
110	± 1,5	121	95	
120		144	113	4,0
130	± 1,8	169	133	4,0
140		196	154	
150		± 02,1	225	177

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 4.3 - Afastamentos permissíveis no empenamento de barras redondas das laminadas de aço – segundo ABNT-PB-63

Diâmetro nominal mm		Afastamentos permissíveis no empenamentos (mm)
Maior Que	Até inclusive	
40	80	4 mm em qualquer comprimento de um metro (c') e simultaneamente 4 mm vezes o comprimento da barra em metros (c).
80	100	2,5 mm em qualquer comprimento de um metro (c') e simultaneamente 2,5 mm vezes o comprimento da barra em metros (c).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 4.4 - Barras trefiladas Redondas (continua)

Dimensões em mm			Tolerância
Bitolas	Afast.		
	≤ 3	- 0,06	ISO h11
> 3	≤ 6	- 0,075	
> 6	≤ 10	- 0,090	
> 10	≤ 18	0,110	
> 18	≤ 30	- 0,130	
> 30	≤ 50	- 0,160	
> 50	≤ 80	- 0,190	
> 80	≤ 120	- 0,220	

Tabela 4.5 - Barras trefiladas quadradas e oitavadas (continua)

Dimensões em mm			Tolerância
Bitolas	Afast.		
	≤ 3	- 0,06	ISO h11
> 3	≤ 6	- 0,075	
> 6	≤ 10	- 0,090	
> 10	≤ 18	0,110	
> 18	≤ 30	- 0,130	
> 30	≤ 50	- 0,160	
> 50	≤ 65	- 0,190	

(conclusão)

> 120	≤ 100	- 0,250		> 65			ISO h12
> 180	≤ 250	- 0,290		> 80			

Fonte: Elaborado pelo autor.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 4.6 - Tolerâncias de fabricação para barras – Segundo ABNT P-NB-551

(continua)

Dimensões em mm		
Bitola	Afastamento	Tolerâncias
Barras descascadas redondas		
6 a 10	- 0,150	ISO h12
10 a 20	- 0,180	
20 – 30	- 0,210	
30 a 50	- 0,250	
50 a 80	- 0,300	
80 a 120	- 0,350	
120 a 180	- 0,450	
Barras descascadas e folidas		
Até 3	- 0,06	ISSO h11
3 a 6	- 0,075	
6 a 10	- 0,09	
10 a 18	- 0,110	
18– 30	0,130	
30 a 50	0,160	
50 a 80	0,190	
80 a 120	0,220	

(conclusão)

Barras retificadas redondas		
Até 3	- 0,25	ISO h9
3 a 6	- 0,30	
6 a 10	- 0,36	
10 a 18	- 0,43	
18 – 30	- 0,52	
Barras retificadas redondas de precisão		
Até 3	- 0,014	ISSO h8
3 a 6	- 0,018	
6 a 10	- 0,022	
10 a 18	- 0,027	
18 – 30	- 0,033	

Tabela 4.7 - Afastamento permissíveis no empenamento de barras quadradas laminadas de aço -  
Seguindo ABNT P-RB-551

Dimensões do lado (mm)		Afastamentos permissíveis no empenamentos (mm)
Maior Que	Até inclusive	
40	80	4 mm em qualquer comprimento de um metro (c') e simultaneamente 4 mm vezes o comprimento da barra em metros (c).
80	220	2,5 mm em qualquer comprimento de um metro (c') e simultaneamente 2,5 mm vezes o comprimento da barra em metros (c).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 4.8 - Barras trefiladas retangulares

Dimensões em mm		
Larguras	Afast.	Tolerância
	$\leq 6$	- 0,075
> 6	$\leq 10$	- 0,090
> 10	$\leq 18$	0,110
> 18	$\leq 30$	- 0,130
> 30	$\leq 50$	- 0,160
> 50	$\leq 80$	- 0,190
> 80	$\leq 100$	- 0,220

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### **b – Eixos obtidos a partir de forjamento**

O forjamento de eixos é feito a partir de basicamente dois processos:

- **forjamento com martelo**

O forjamento com martelo é utilizado para a fabricação de baixa produção de eixos escalonados ou virabrequins. Neste forjamento a barra aquecida é martelada entre duas matrizes abertas, e guiada através do operador, que deve possuir as facilidades de manipulação das barras para facilitar seu trabalho e aumentar a produção.

Devido ao processo de forjamento, geralmente as peças conseguidas para este sistema são simples, comparadas com a equivalente peça usinada. É o caso de remoção por usinagem de furos, ressaltos, vasios, etc., que são construídos sólidos na peça forjada. Um exemplo deste tipo de forjamento é mostrado na figura 4.7 correspondente a um virabrequim.

Dependendo também do tamanho da peça, o forjamento pode ser feito com um único ou em vários aquecimentos. Cada aquecimento provoca descarbonetação superficial ou trincas superficiais. Como resultado, a precisão das peças obtidas por forjamento em martelo depende basicamente do tipo de equipamento utilizado, o que provoca a adoção de tolerâncias abertas. O forjamento pode ser otimizado utilizando-se matrizes fechadas

com rebarbadores automáticos, em prensas excêntricas ou de joelho. A matriz pode ser construída em vários estágios para melhorar a qualidade e a tolerância das peças, possibilitando assim o forjamento em vários estágios. Dependendo também do tamanho da peça, o forjamento pode ser feito com um ou em vários aquecimentos. Cada aquecimento provoca descarbonetação superficial ou trincas superficiais. Como resultado, a precisão das peças obtidas por forjamento em martelo depende basicamente do tipo de equipamento utilizado. Estes índices variam muito, o que provoca a adoção de grandes tolerâncias de forjamento para compensá-los, encarecendo bastante as peças obtidas por este processo.

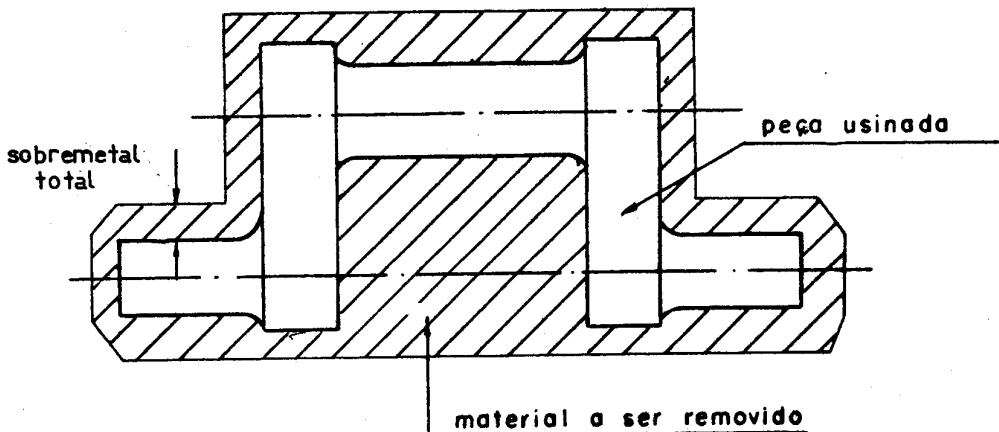


Figura 4.7 – Virabrequim obtido a partir de forjamento em martelo com remoção de sobremetal  
Fonte: Elaborado pelo autor.

- **Forjamento em recaladoras horizontais**

As peças que são obtidas a partir de forjados com dimensões relativamente pequenas e em altas produções, podem ser obtidas economicamente através de recaladoras horizontais, também conhecidas como “up setter”. A matéria prima para este tipo de forjamento são barras laminadas cônicas, redondas ou quadradas. As peças mais comuns para o forjamento neste equipamento são as que têm ressaltos grandes e complexos, ou ainda canais no corpo principalmente cilíndricos. A ferramenta consiste em um conjunto de matrizes de um ou vários estágios, construídas em duas metades, além de puncionamento através de um ou mais punções.

A grande rigidez estrutural da recalçadora horizontal, além da possibilidade de se ajustar o volume da barra a ser forjada com a peça com grande precisão. Permite ainda que sejam obtidos forjados para eixos ou peças semelhantes com pequenas variações das tolerâncias de fabricação, e ainda, com superfícies lisas e pequena perda de material em rebarbas, as quais podem ser facilmente removidas através de esmeris de bancada ou pneumáticos. As rebarbas nunca ultrapassam 0,5 a 1% do peso da peça forjada. Pode-se ainda, executar operações tais como extrusão, conformação e dobra.

O processo de forjamento em recalçadoras horizontais pode ser esquematizado na figura 4.9. O material de barra redonda (1), aquecido, é colocado no sulco da matriz fixa (2) até o limitador (4). A máquina é então acionada e a matriz móvel (3) segura a barra. O limitador é então afastado e o punção (5), deslocando-se, deforma a parte anterior da barra, dando-lhe a forma desejada, através de escoamento do metal até a cavidade formada na matriz. Após esta operação, o punção e a matriz móvel afastam-se, retirando-se então a peça forjada. O recalque pode ser feito em um ou vários estágios, dependendo do número de degraus que se queira obter no forjado. O forjamento horizontal pode ser aplicado economicamente para obter forjado de tamanho médio (até 5kg) ou peça pequena fabricadas em grandes quantidades.

Quando o forjamento se resume a um aumento de diâmetro em uma das partes das peças, como mostrado na peça da figura 4.8. O diâmetro menor da peça forjada coincide com o diâmetro da barra sendo forjada.

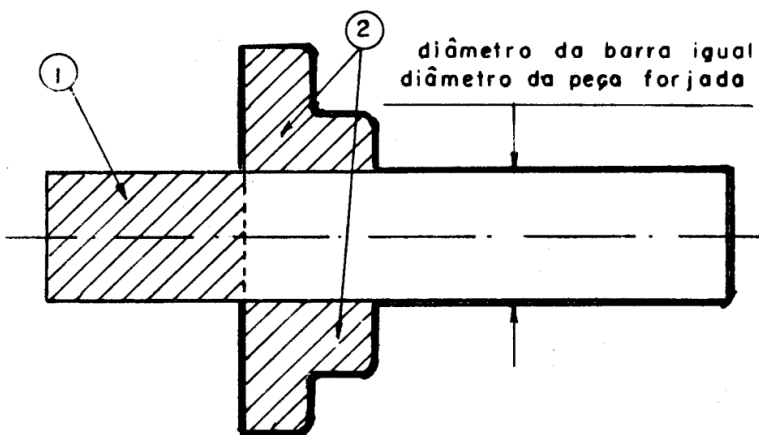


Figura 4.19 – Peça forjada a partir de barra  
Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.7 Forjamento de peças de revolução com relação $l/d$ menores que 1

Serão apresentadas a seguir as diversas possibilidades de obtenção, pelo processo de forjamento, de peças de revolução com relação  $l/d$  menores que 1. As peças que se enquadram nessa classificação são engrenagens, polias, volantes, etc.

- **Engrenagens a partir da barra**

A grande maioria das engrenagens são fabricadas com várias especificações de aço. Uma quantidade muito pequena destas peças são fabricadas de ferro fundido, metais não ferrosos, plásticos e outros materiais.

Na usinagem de engrenagem de diâmetros entre 60 ou 80mm, onde haja pequena diferença entre os diâmetros externos e do centro, geralmente é mais econômico fabricá-las a partir de barras laminadas, trefiladas, ou retificadas. Dependendo ainda da quantidade a ser produzida, pode-se usiná-las em torno revolver, torno de barra monofuso ou multifuso. A razão desta escolha prende-se a que a perda em cavacos através deste sistema de usinagem não é maior do que se verifica na mesma peça forjada sem furo puncionado devido ao seu pequeno diâmetro, além da grande perda por queima de material no forjamento. Além disso, a mão de obra necessária para se usinar engrenagem de pequeno diâmetro a partir de barra é geralmente menor da empregada para a mesma peça forjada. As tolerâncias de fabricação e de desvios de forma são as constantes das tabelas 4.1 a 4.6.

- **Engrenagens forjadas**

Dependendo do seu tamanho, material, forma e quantidade, as peças em bruto podem ser forjadas em forja de matriz aberta, em matrizes abertas e fechadas aplicadas em martelos de queda livre ou alternativos, ou ainda em prensas excêntricas ou de joelho, e, eventualmente em recaladoras horizontais.

- **Forjamento de matriz aberta**

O rendimento é muito baixo se as peças em bruto são fabricadas a partir de forjamento em matriz aberta. A baixa qualidade das peças, grandes desvios nas dimensões, deslocamentos



angulares e de forma, além de uma profundidade grande de material descarbonetado devido aos vários aquecimentos, obriga à adoção de tolerâncias de fabricação bastantes grandes. A consequência será a grande remoção de sobremetal e portanto um alto custo de manufatura. Portanto, o forjamento em matriz aberta só será viável quando os lotes forem bastantes pequenos, ou quando o equipamento disponível para forjamento não puder oferecer melhor qualidade.

#### • Forjamento em martelos

A seqüência de fabricação de peças forjadas em martelos consta das seguintes operações: corte das barras, aquecimento, forjamento, corte de rebarbas, tratamento térmico, limpeza e em casos de necessidade, calibragem e repuxado. O esquema de forjamento é mostrado na figura 4.9.

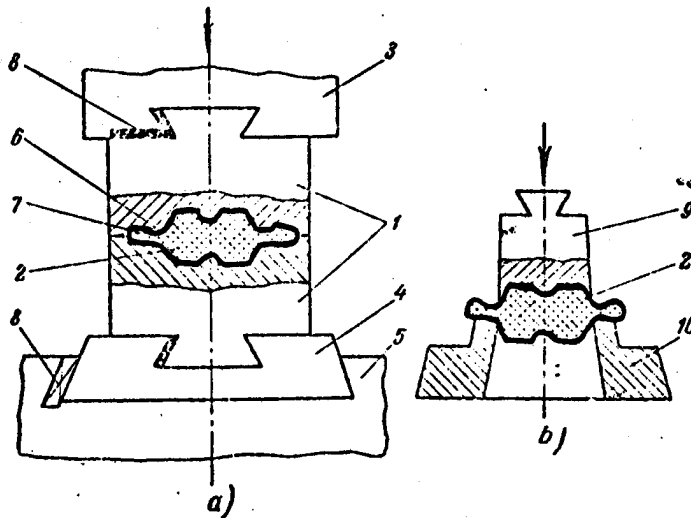


Figura 4.9 – Forjamento de engrenagens em martelos

Fonte: [35]

A matriz (1) é constituída de duas partes, uma das quais é presa ao martelo (3), enquanto que a inferior é fixada no porta-ferramenta (4), preso à base do martelo através da régua de ajustagem (8). As superfícies laterais das peças tem uma saída de 3 a 10°, que facilita a extração dos forjados.

A barra é então cortada, aquecida até à temperatura prevista, e se assenta na parte inferior da matriz. É então golpeada através da parte superior da matriz, e como consequência, a peça em

bruto adquire a forma e configuração da matriz. O metal excedente escapa fora da matriz formando então um anel de rebarba. Esta rebarba é eliminada através da prensa de rebarba, esquematizada na figura 4.9 (b).

Ao se aumentar as quantidades de peças a serem forjadas, torna-se vantajoso passar-se de forjamento em matriz aberta para forjamento em martelos. O forjamento em martelos de impacto tem tolerância de fabricação menores e com menos desvios das obtidas em forjamento em aberto.

- **Forjamento em prensas**

Quando há necessidade de maior rendimento e qualidade dos forjamentos, melhores resultados são obtidos pela utilização de prensas excêntricas, que operam sem impacto. Sua capacidade de produção é de 60 a 100% maior que a obtida em martelos de queda livre. Além disso, a vida da matriz, para este tipo de forjamento, é consideravelmente maior. Os ângulos de saída para dimensões externas e internas são reduzidos de 7° para 3°, e ainda As tolerâncias de fabricação são mais reduzidas, o que permite um custo de usinagem menor, devido à menor remoção de cavacos.

Os forjados obtidos a partir de prensas podem ser fabricados em matriz aberta, com formação de rebarbos, ou em matrizes fechadas, através dos métodos de recalque, compressão e puncionamento.

- **Engrenagens soldadas e fundidas**

Para peças de grandes dimensões e onde o cálculo de dimensionamento assim permita, os métodos até agora expostos (a partir de barra de forjamento) tornam-se inviáveis devido ao alto custo de fabricação. Pode-se então optar por engrenagens em aço fundido. Nestas condições é possível obter-se peças de diâmetros superiores a 2000 mm e 2 a 3 toneladas de peso. São engrenagem utilizadas em máquinas de grande porte, como equipamentos para usinas de cana de açúcar, turbinas, etc. Nestes casos a produção mensal é sempre pequena.

Para o caso de engrenagens ou polias que são fabricadas uma única vez, oriundas de projetos especiais, tais como redutores de pontes rolantes, pórticos, etc., pode-se ainda optar por uma engrenagem de construção soldada.

#### 4.8 Critérios de seleção e utilização de peças em bruto

A peça em bruto que irá se transformar no produto final após as necessárias operações de usinagem, tratamento térmicos e químicos pode-se apresentar sob as formas principais.

#### 4.9 Peças não assimiláveis a sólidos de revolução

- **Fundidas** – quando a forma é muito complicada para ser obtida somente a partir de usinagens. São os casos típicos de carcaças de ferro fundido ou aço fundido, tampas em ferro fundido ou ferro modular, peças especiais na sua forma, etc.
- **Soldadas** – para peças que serão feitas somente uma vez, como carcaças de redutores especiais, estruturas especiais, etc., pode-se optar por uma solução soldada ao invés da fundida por ser mais barata para este tipo de construção, pois não há necessidade de construção de modelos de madeira para fundição, etc., que encarece o produto final. É a solução geralmente adotada também para a construção de dispositivos de usinagem, pois a sua forma varia de acordo com o projeto específico para cada caso.

Porém, quando o produto for repetitivo, não há dúvida que o ferramenta de fundição é amortizado rapidamente com as grandes séries fundidas. É o caso da grande maioria de peças de máquinas operatrizes, blocos de motor, cabeçotes, caixas de câmbio, etc.

#### 4.10 Peças assimiláveis a sólidos de revolução

Nesta categoria estão enquadradas peças que tenham eixo de simetria ou de rotação e cuja relação  $l/d$  seja menor que 1. tais com eixos, pinos, varões, polias, engrenagens, discos volantes, etc.

Devem ser considerados, neste caso, os seguintes fatores para se optar entre uma peça forjada ou de barra:

- **Cálculo de dimensionamento**

Os cálculos dimensionais das peças componentes de um produto sujeitas a esforços determinam a necessidade de se partir para uma peça forjada ao invés de ser usinada a partir da

barra. As peças forjadas apresentam limites de resistência e escoamento de 10 a 30% maiores que as mesmas peças feitas a partir de barra.

A explicação para este fato comprovada experimentalmente, está no rompimento da linha de “fibragem”, como é conhecida, aliado ao fato de que os aços são anisotrópicos, sendo que a sua anisotropia varia conforme o sentido de conformação. (Figura 4.10). Pode-se notar que, durante a usinagem (no caso do torno), não há o rompimento das fibras do material pela ferramenta de corte, visto que, durante o forjamento estas acompanharam o contorno da peça, e foram acompanhadas durante a usinagem, não diminuindo as propriedades mecânicas do material.

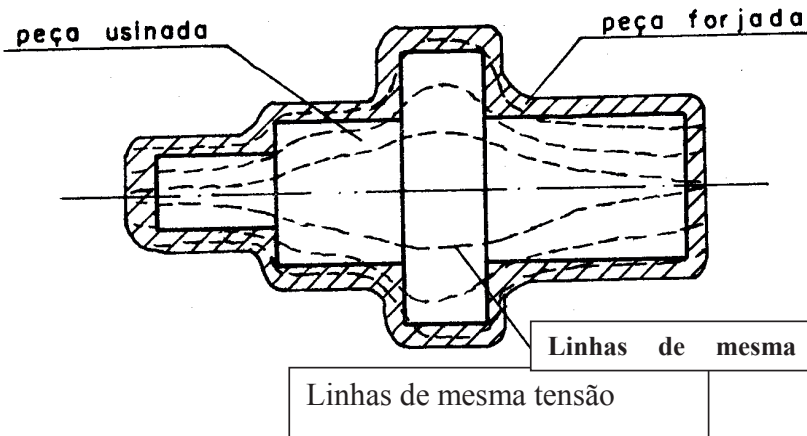


Figura 4.10 – Distribuição das linhas de fibragem e seu comportamento durante a usinagem  
Fonte: [12]

Pode-se notar que, durante a usinagem (no caso do torno), não há o rompimento das fibras do material pela ferramenta de corte, visto que, durante o forjamento estas acompanharam o contorno da peça, e foram acompanhadas durante a usinagem, não diminuindo as propriedades mecânicas do material. Tal já não acontece quando a mesma peça é usinada a partir de uma barra redonda, como esquematiza a figura 4.11.

As linhas de fibragem em uma barra laminada estão todas paralelas ao eixo de simetria da barra devido ao processo de estiramento a quente da laminação. Quando é feita a usinagem, pode-se notar claramente o rompimento das linhas de fibragem ocasionando a queda das propriedades

mecânicas, quando comparados com a mesma peça obtida a partir de forjamento. Portanto, sob o ponto de vista dimensional, só se pode utilizar barras, quando os valores de tensão conseguidos por cálculo e experimentados na prática demonstram que tal procedimento pode ser seguido.

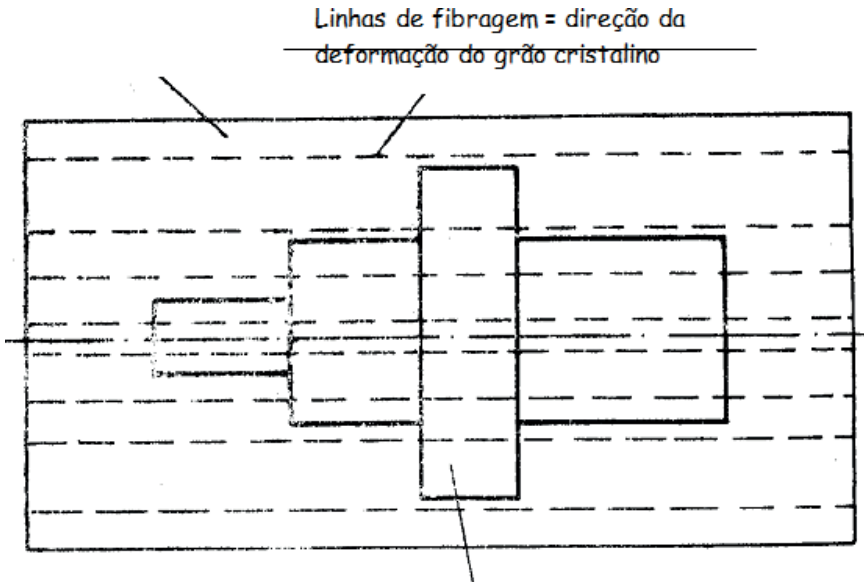


Figura 4.11 – Eixo usinado a partir da barra laminada  
Fonte: [12]

Todas estas observações são válidas na indústria automobilística em particular e na indústria de fabricação seriada em geral onde, para eliminação de peso (e conseqüentemente matéria prima) supérfluo, aproxima-se criticamente às dimensões limites provenientes das tensões admissíveis. Quando as peças não são de alta série e apresentam dimensões relativamente grandes, o processo de forjamento passa a ser antieconômico sendo preferível neste caso superdimensionar, trabalhando-se com dimensões maiores, e usando-se os materiais mais à disposição, como os aços laminados em geral. Existem porém, casos limites onde a responsabilidade do trabalho é muito grande, aliada ainda a uma redução de peso devido às formas todas especiais. É o caso dos girabrequins e bielas dos grandes motores marítimos, que contunaram a ser forjados.

- **Material removido durante a usinagem**

Este fator, juntamente com o anterior, são os que determinam a opção entre forjado e barra laminada. Na grande maioria dos casos, principalmente nas peças de fabricação em alta série, existe a preocupação de se eliminar o mínimo de sobremetal em cada operação de usinagem. Por esse motivo, eixos que possuam ressaltos que sejam maiores que 2mm que as dimensões imediatamente inferiores já justificam que sejam usinados a partir de forjado, já que o sobremetal médio entre uma peça forjada e a peça usinada em torno é de aproximadamente 1,5 a 2mm. (Figura 4.12).

Também é o caso comumente encontrado com engrenagens em geral, onde, pela preocupação sempre constante de redução de peso, a parte situada entre o cubo e o anel externo é geralmente feita com um rebaixo, cuja eliminação por remoção de cavacos é completamente antieconômica e sem propósito numa fabricação em série. (Figura 4.13).

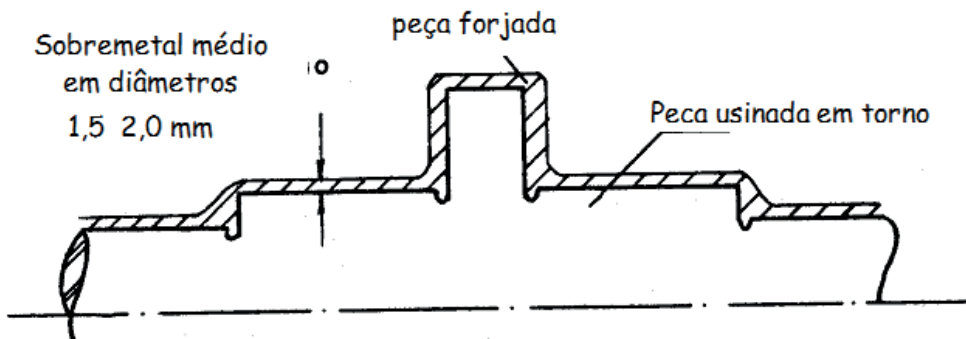


Figura 4.12 – Eixo usinado a partir de forjado

Fonte: [12]

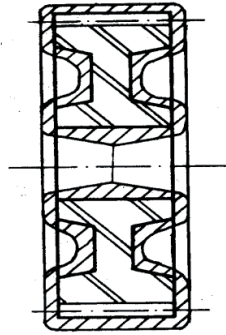


Figura 4.13 – Engrenagem usinada a partir de forjado  
Fonte: [12]

- **Máquinas especiais e/ou disponibilidade de máquinas**

O parque de máquinas que se tem à disposição interfere substancialmente na decisão de forjar ou não determinadas peças. Por exemplo, se houver disponibilidade de tempo em máquinas de forjaria:

- Recalcadoras horizontais destinadas ao forjamento de eixos;
- Prensas verticais destinadas ao forjamento de peças de revolução, tais como engrenagens, polias, etc.;
- Martelos de impacto – destinado ao forjamento de peças de forma mais variada.

Então será sempre preferível forjar a peça em questão para evitar usinagens desnecessárias.

Mas este aspecto também está muito ligado às máquinas de usinagem que se tenha às mãos.

Algumas vezes, tornos multifuso alimentados por barras, possibilitam uma produção muito maior com a eliminação inclusive de operações posteriores de usinagem. Neste caso, por questões de conveniência muito específica, a escolha deve recair numa solução de barra, se bem que sempre se tratará de material com especificações de acabamento superficial e tolerância de fabricação bastante estreitas, para possibilitar a alimentação das diversas estações do torno através de pinças elásticas especiais, as quais não funcionam se não foram alimentadas com materiais de especificação estreita. A utilização de máquinas ferramenta a comando numérico

segue aproximadamente as recomendações expressas para equipamentos com automação mecânica.





## 5 INTRODUÇÃO DO SISTEMA INICIAL DE REFERÊNCIA

### 5.1 Introdução

Serão vistos conceitos necessários ao processamento correto de peças. O primeiro tipo de operação que será tratado é a *operação inicial*, cujo objetivo é facilitar as operações subsequentes e, principalmente, criar o *sistema de referência* a ser seguido e adotado como referência para fixação e localização da peça nas operações subsequentes do roteiro de manufatura. As operações iniciais introduzem o sistema inicial de referência a ser seguido nas operações seguintes do roteiro de manufatura.

Deve-se distinguir entre o sistema de referência adotado no projeto da peça e sistema de referência adotado no seu processamento de manufatura. Sempre que possível, *o sistema de referência introduzido para o roteiro de manufatura deverá ser o mesmo que foi adotado no projeto da peça correspondente*. Exemplificando, quando se manufatura um eixo, o sistema de referência adotado no seu projeto serão os assentos de rolamento, que geram a correspondente linha de centro; sempre que possível, a operação inicial deverá manter esta referência. Caso não seja possível adotar-se essa referência por dificuldades de fixação das peças na máquina ferramenta, adota-se a criação de centros em operações de faceamento e centragem, que causa acúmulos de tolerância entre a referência criada no projeto da peça e a referência adotada para a sua manufatura. Ao se colocar uma peça numa máquina tem-se que “localizar” e “fixar” a mesma. É necessário *fixá-la* devido ao esforço de usinagem e *localizá-la*, para que todas as peças do lote sejam posicionadas sempre da mesma maneira durante a execução das operações do roteiro para todas as peças sendo manufaturadas.

A figura 5.1 mostra um eixo com as referências da linha de centro e face.

As características de um sistema de referência são:

- deve-se manter durante toda a sequência de operações do roteiro
- localiza e posiciona a peça na máquina
- garante sobremetal para operações posteriores
- pode vir da peça em bruto
- deve auxiliar a montagem da peça no conjunto a que pertence.
- deve auxiliar a inspeção das especificações da peça nas diversas operações do roteiro.



Figura 5.1 – Eixo com as respectivas referências de linha de centro e face  
Fonte: Elaborado pelo autor.

Durante o desenvolvimento das diversas operações iniciais, será mantida a divisão anteriormente adotada de peças assimiláveis ou não assimiláveis a sólidos de revolução. As peças assimiláveis a sólidos de revolução podem ser divididas em dois grupos principais:

comprimento  $L$  maior que o maior diâmetro  $D$ .

comprimento  $L$  menor que o maior diâmetro  $D$ .

Para cada uma dessas classificações ter-se-á uma operação inicial própria, conforme mostra a figura 5.2.

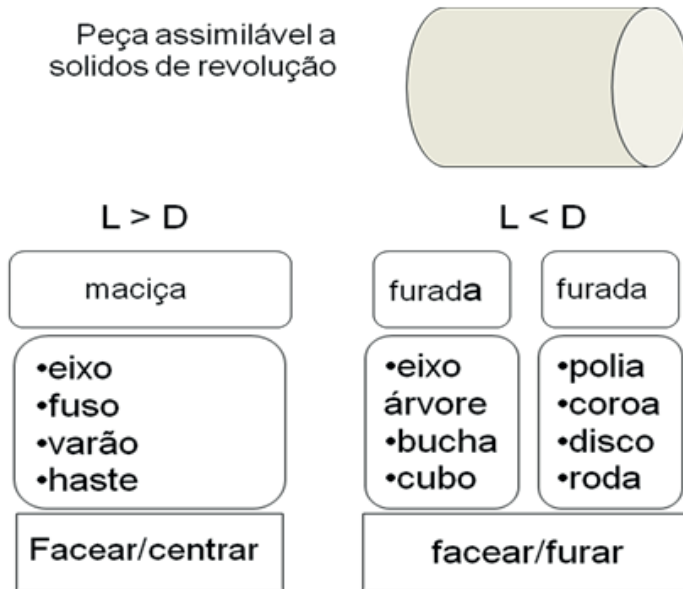


Figura 5.2 - Operações iniciais para peças assimiláveis a sólidos de revolução  
 Fonte: Elaborado pelo autor.

## 5.2 Peças com comprimento $L$ maior que o maior diâmetro $D$

Em processamento de peças com  $L/D$  maiores de 1, a não ser o caso de pinos e eixos curtos que, partindo de uma barra trefilada completam a usinagem inicial através de retífica sem centros (centerless), os outros casos exigem, para a sequência das operações subsequentes a criação de uma operação que cria o sistema de referência que deverá ser seguido em todas as fases do processamento de usinagem posterior. Esta operação é conhecida como **faceamento e centragem**, feita tanto em peças que são usinadas a partir de barra quanto de forjado. O sistema de referência inicial é introduzido na operação de centrar, sendo que o faceamento é operação auxiliar necessária para criar contas de referência longitudinais (figura 5.3). Algumas observações:

- Em peças onde o corte de dentes através do processo “shaper” onde não há muita saída para os cortadores de dentes; assim, qualquer variação de medidas nos centros pode provocar a batida do cortador contra a peça.

- Em eixos ou peças com rebaiços; uma face usinada deve estar relacionada com um ponto de referência do forjado, a fim de evitar falta de material para usinagem.
- Em eixos longos, a excentricidade ou retilineidade no meio da peça é geralmente maior que nas extremidades, principalmente quando se parte de forjados a quente. Para evitar falha de material nas operações de torno, é sempre preferível manter-se na operação de facear e centrar a excentricidade especificada nas extremidades e, através de uma operação suplementar, desempenar-se o meio da peça antes das operações de torno.

Nos casos em que o empenamento da peça forjada é excessivo, é preferível uma operação de endireitar antes do faceamento e centragem; assim, evita-se que as faces fiquem com desvio de perpendicularismo muito expressivo perpendicularismo com relação à linha de centro.

As especificações dos centros são mostradas na figura 5.4

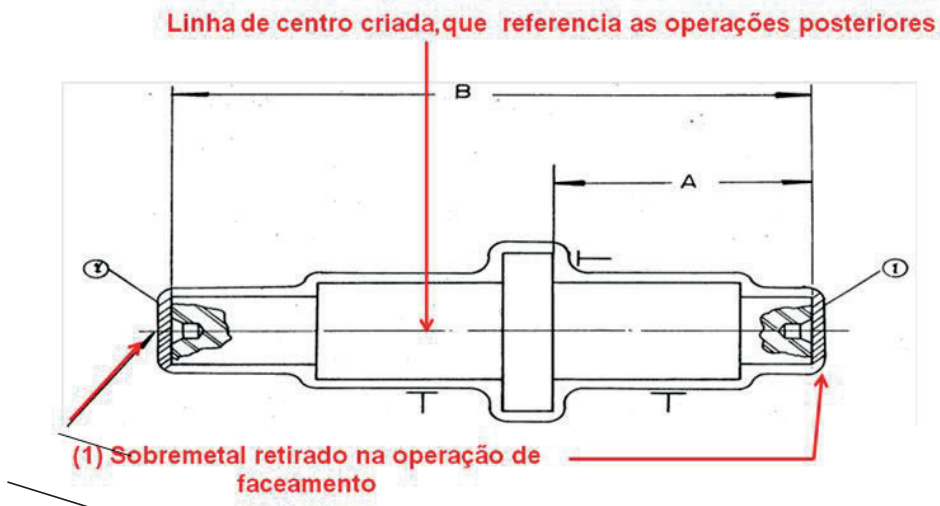


Figura 5.3 - Operação de facear e centrar  
Fonte: Elaborado pelo autor.

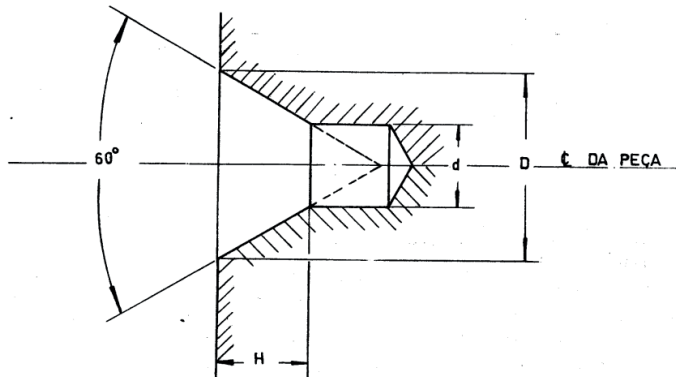


Figura 5.4 – Dimensões principais de furação de centros  
Fonte: Elaborado pelo autor.

Quando as peças a serem usinadas tem um furo central, a criação do sistema de referência não pode ser feita através de brocas de centro. Neste caso, são feitos chanfros calibrados através de brocas de precisão (brocas de 4 sulcos, escariadores, brocas escalonadas, etc.), conforme figura 5.5.

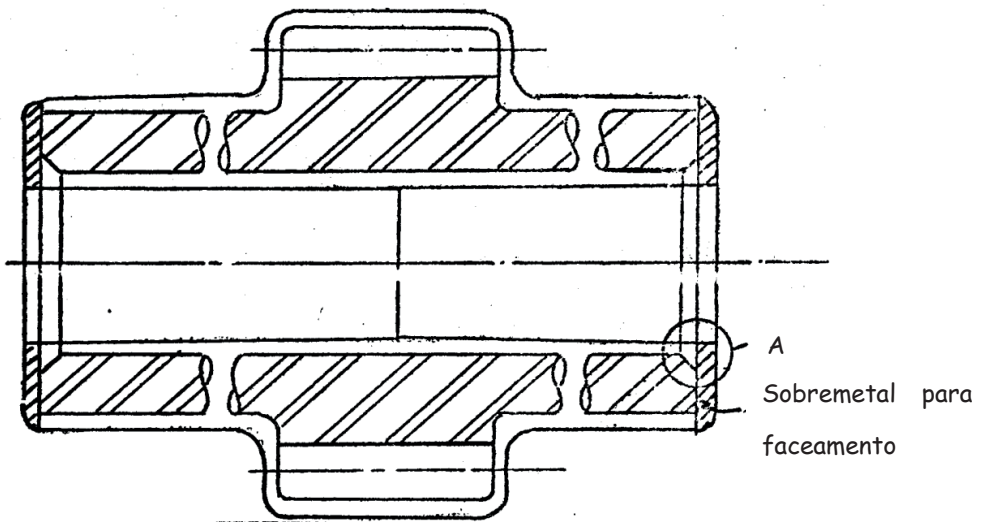


Figura 5.5 – Centragem de peças furadas  
Fonte: [12]

Em máquinas utilizadas para a operação de faceamento e centragem, são feitas as duas operações simultaneamente, com cabeçotes que agrupam a broca de centro e a ferramenta para faceamento (pastilha de metal duro). Com a usinagem simultânea dos dois cabeçotes faceadores centradores, cria-se a linha de centro, que deverá ser seguida até o fim do processamento, visto que todas as operações posteriores serão feitas entre centros, apesar da fixação ou do encosto de referência para correlação (amarração) de medidas, principalmente em torno e retífica, possam ser feitas por diâmetros ou faces já usinadas anteriormente. Observe-se também que, a inspeção final da peça será feita entre pontos, a partir do qual serão feitas as verificações de medida e erros de forma e posição acumulados (excentricidade, ovalização, paralelismo, perpendicularismo, etc.) contra os limites permissíveis pelo desenho do produto. Cuidados especiais devem ser tomados na operação de faceamento e centragem:

1 – visto que as dimensões calculadas A e B devem possibilitar sobremetal para as operações de torno posteriores, as dimensões dos centros (vide figura 5.6) devem ser calibradas para evitar variação sensível em suas dimensões.

É sempre necessário o uso de calibradores para se verificar as dimensões D, H e o ângulo de  $120^\circ$ , pois, é importante que os centros sejam uniformes (figura 5.7). As variações nas dimensões já citadas provocam variações de medida nas operações posteriores, devido ao deslocamento relativo das demais dimensões com relação aos centros. Devido a esse fato, poderá haver inclusive quebra de cortadores de dentes de engrenagens e rebolos, principalmente quando as saídas de cavaco são muito pequenas.

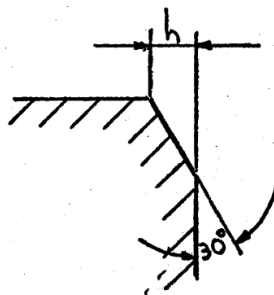


Figura 5.6 - Dimensões a serem calibradas em centragem de peças furadas

Fonte: Elaborado pelo autor.

No caso de centros feitos a partir de peças já com furos provenientes do processo de forjamento ou usinadas a partir de tubos sem costura., A furação do furo central não pode apresentar erros de forma sensíveis. O furo deve ser calibrado por brochamento ou furação profunda (deep hole drilling), através de brocas de projeto especial. Neste caso altura “ $h$ ” deve ser calibrada, dentro de tolerância de 0,1 mm. (figura 4.21). E a excentricidade deve-se manter dentro de 0,8 mm; excentricidade excessiva provocará variação na dimensão dos chanfros, (figura 4.22).

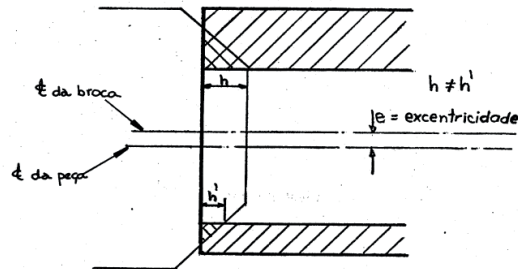


Figura 5.7 - Influência de excentricidade na centragem de peças furadas

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 5.3 Alternativas para a execução das operações de faceamento e centragem

São várias as alternativas para se executar as operações de faceamento e centragem. As principais estão desenvolvidas a seguir:

#### a) Centragem e faceamento independentes

Neste caso, o faceamento é feito através de fresas faceadoras, usinando no plano perpendicular ao eixo de simetria da peça. Após esta operação, são usinados os centros com movimento de avanço das brocas no sentido do eixo de simetria. É um processo com baixa produtividade, causada pelas operações feitas separadamente (figura 5.8). Em peças até 50 mm, a produção horária é de 40-50 peças/hora, diminuindo à medida que aumenta a dimensão das peças.



### b) Faceamento e centragem simultâneos

O faceamento pode ser obtido através de cabeçotes faceadores que faceiam e centram simultaneamente. A operação é conseguida através da fixação de uma pastilha de metal duro em uma base chanfrada na broca de centro, conforme mostra a figura 5.9, sendo que a broca tocará a peça antes das pastilhas de faceamento. Uma transição suave da furação para o faceamento, livre de rebarbas, somente será obtido se o gume cortante da pastilha faceadora estiver localizado na linha de centro da broca de centro. A altura “S” a ser mantida no chanframento deverá ser controlada pelo diâmetro  $d_s$ , o diâmetro  $D_z$  e o raio da pastilha “r”. A altura “H” determinará a tolerância entre o furo de centro e a face, que deverá ser menor que As tolerâncias das cotas entre faces da peça tal que não haja falta de sobremetal para as operações de torneamento.

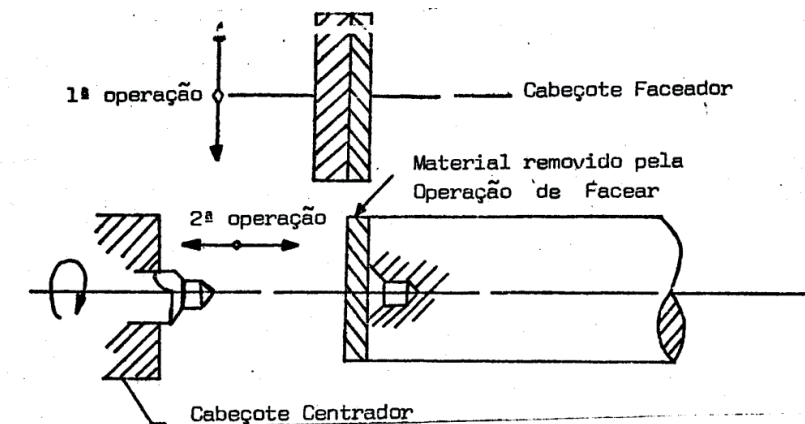


Figura 5.8 - Faceamento e centragem independentes

Fonte: Elaborado pelo autor.

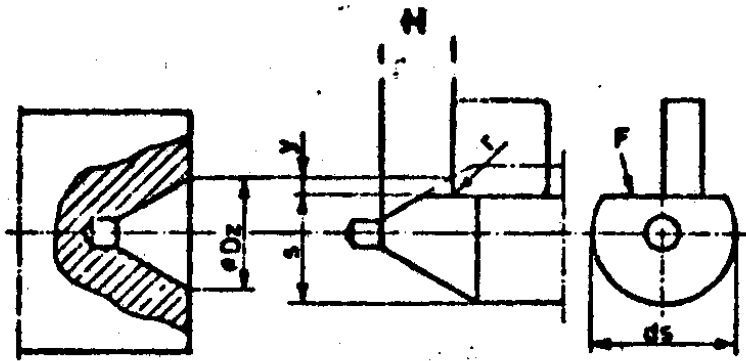


Figura 5.9 - Centragem e faceamento simultâneos

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### • Ferramentas para faceamento e centragem

As ferramentas utilizadas na operação de faceamento e centragem são brocas de centro e pastilhas de metal duro que equipam as frezas faceadores.

As brocas de centro são padronizadas pela norma DIN 332 e também ABNT, ISO e ASA e dividem-se basicamente em dois tipos:

##### a) Brocas com centro protegido

As brocas de centro protegido são utilizadas principalmente em retíficas internas e cilíndricas, onde há exigência de grande precisão de medida e desvios de forma dentro de exigências precisas (até 0,01mm/LT I). A aplicação se dá quando há necessidade de evitar batidas nos centros que podem prejudicar as operações posteriores, feitas entre centros. A forma da broca e do furo de centro são exemplificadas nas figuras 5.10 e 5.11. Na figura 5.11 mostra-se que a proteção do centro, determinada pelo diâmetro "D" e o ângulo 120°, elimina a possibilidade de batidas.

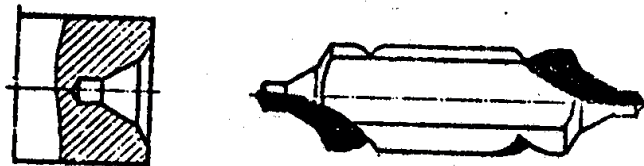


Figura 5.10 - Forma e usinagem de brocas de centro protegido

Fonte: Elaborado pelo autor.

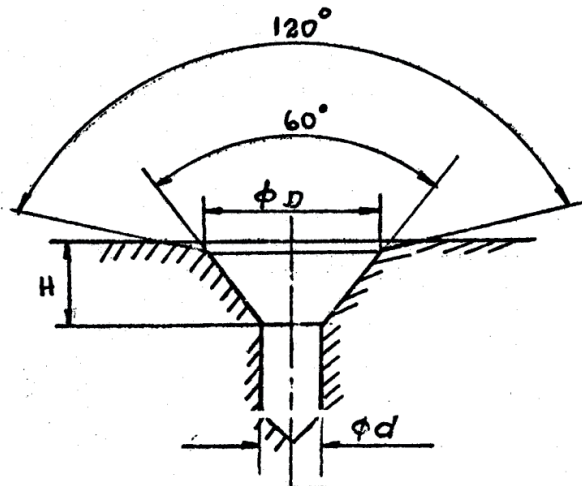


Figura 5.11 – Geometria das brocas de centro protegido  
Fonte: Elaborado pelo autor.

c) Brocas de centro sem proteção

As brocas de centro sem proteção são padronizadas pela norma DIN 332, e produzem centro sem a aba de proteção. A forma “A” é mostrada nas figuras 5.12 e 5.13. A norma DIN 332, prevê ainda a forma “R”, que produz um centro com forma parabólica (figura 5.14). Este tipo de broca oferece várias vantagens sobre as brocas de centro convencionais, tais como:

- a) a superfície de contato entre o ponto da máquina operatriz e peça é muito pequena, o que possibilita grandes precisões nas operações de retífica .
- b) o furo de centro é menos exposto a batidas, eliminando a opção de broca com centro  
É pouco utilizada quando comparadas a brocas normais devido ao seu alto custo de fabricação.

Os tipos de usinagem possíveis de serem feitos em operações de faceamento, além dos convencionais, são esquematizados nas figuras 5.15 e 5.16. Normalmente, para este tipo de operação, com peças até 100 mm de diâmetro as produções oscilam de 50 a 100 peças/hora.

Para faceamento de peças com diâmetros grandes, normalmente os cabeçotes reveem mais de uma pastilha faceadora, de tal modo que os diâmetros usinados pelas respectivas pastilhas não permitam degraus na peça faceada (figura 5.17).

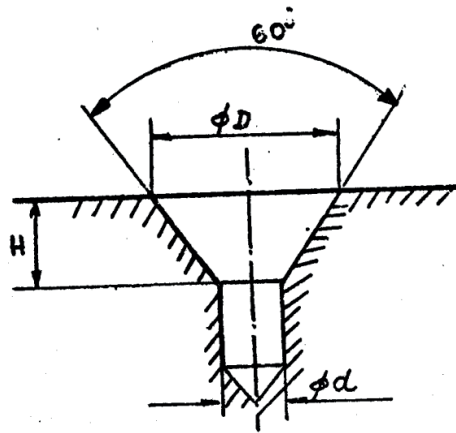


Figura 5.12 - Dimensões e contas principais das brocas de centro sem proteção  
Fonte: Elaborado pelo autor.

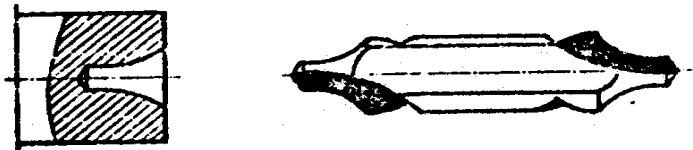


Figura 5.13 - Forma e usinagem de broca de centro formato R  
Fonte: Elaborado pelo autor.

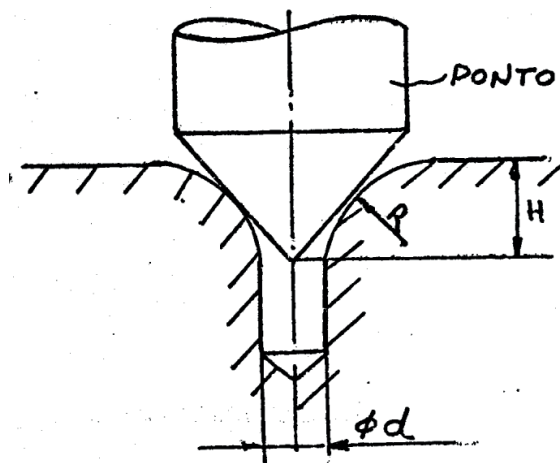


Figura 5.14 - Dimensões e cotas principais das brocas de centro formato R  
Fonte: Elaborado pelo autor.

O cabeçote faceador apresenta os movimentos mostrados na figura 4.30.

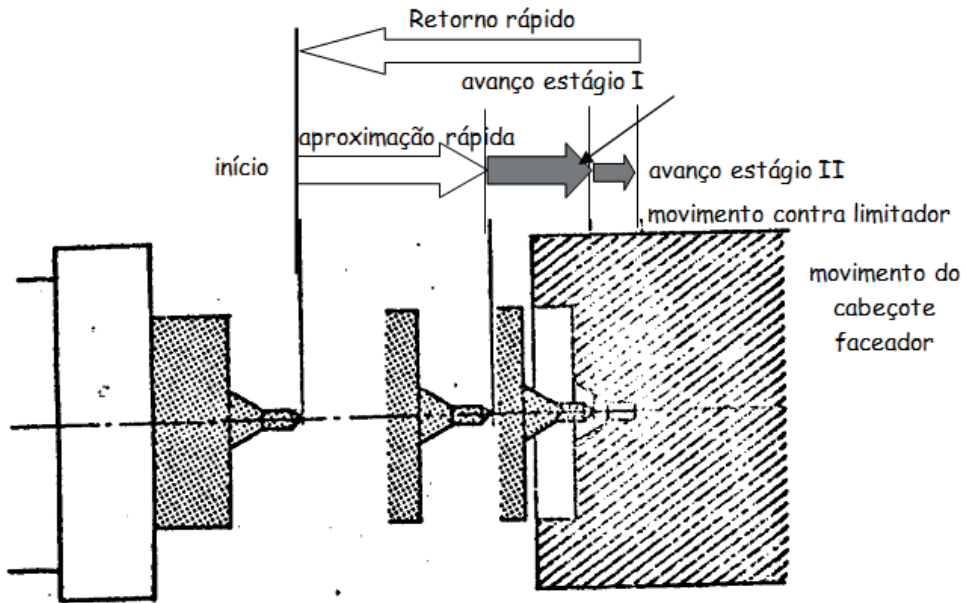


Figura 5.15 - Movimentos principais do cabeçote faceador  
Fonte: Elaborado pelo autor.

- **Tipos de usinagem possíveis**

Os tipos de usinagem possíveis de serem feitos em operações de faceamento, além dos convencionais, são esquematizados nas figuras 5.16 e 5.17. Normalmente, para este tipo de operação, com peças até 100 mm de diâmetro as produções oscilam de 50 a 100 peças/hora.

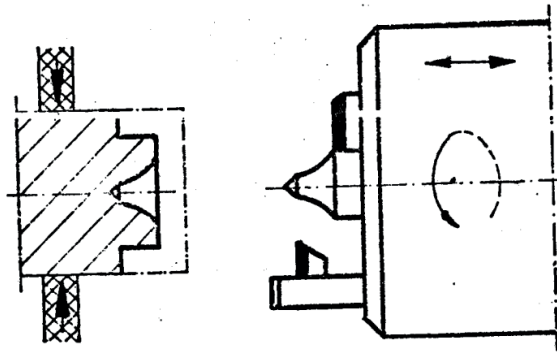


Figura 5.16 - Faceamento, centragem e usinagem de diâmetro externo  
Fonte: Elaborado pelo autor.

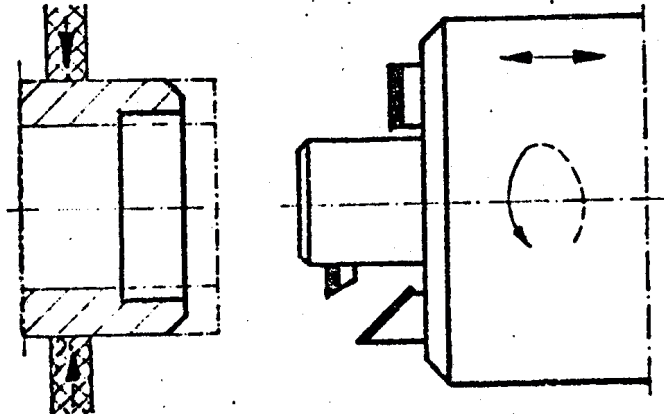


Figura 5.17 - Faceamento, mandrilamento e chanframento  
Fonte: Elaborado pelo autor.

Para faceamento de peças com diâmetros grandes, normalmente os cabeçotes prevêm mais de uma pastilha faceadora, de tal modo que os diâmetros usinados pelas respectivas pastilhas não permitam degraus na peça faceada (figura 5.18).

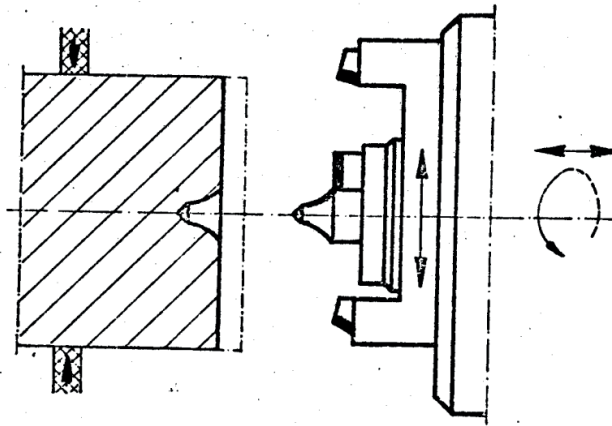


Figura 5.18 - Faceamento e centragem para diâmetros grandes  
Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 5.19 mostra uma alternativa adicional, onde se usa simultaneamente torneamento, chanframento e usinagem de canais.

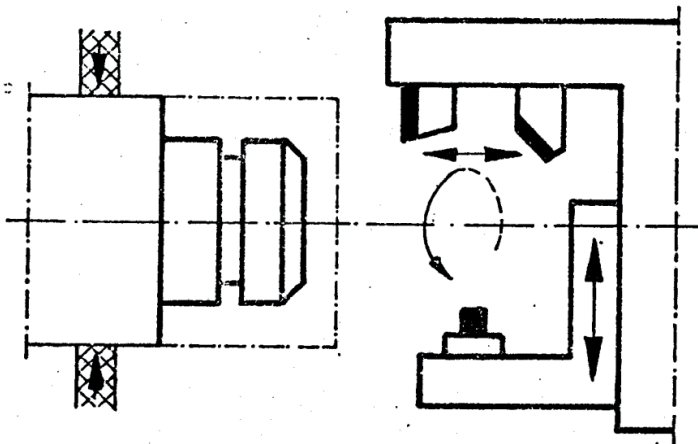


Figura 5.19 - Torneamento, chanframento e usinagem de canais  
Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 5.4 Operações de facear em baixas séries

As alternativas de faceamento e centragem citadas no parágrafo anterior aplicam-se em altas séries ou em peças grandes onde existe alta precisão de usinagem.

As operações de facear e centrar podem ser feitas em peças de pequena série em tornos mecânicos adaptados para este fim. Naturalmente, haverá uma queda sensível na produção horária, o que não chega a representar problema devido às pequenas séries fabricadas. Havendo disponibilidade de tornos revolver, a operação poderá ser feita colocando-se as ferramentas em uma das estações da torre hexagonal do torno. Em todos os casos, qualquer que seja o sistema de usinagem, a precisão dos centros deve ser mantida para evitar desvios posteriores.

Devido à fixação dupla que ocorre nestes casos, pode-se incorrer em erros de falta de perpendicularismo entre as faces e linha de centro (figura 5.20).

Quando este problema não ocasionar falta de sobremetal ou problemas de qualidade, pode-se admitir desvios deste tipo. Porém se tal não puder ocorrer, haverá necessidade de projeto de dispositivo de fixação para minorá-los.

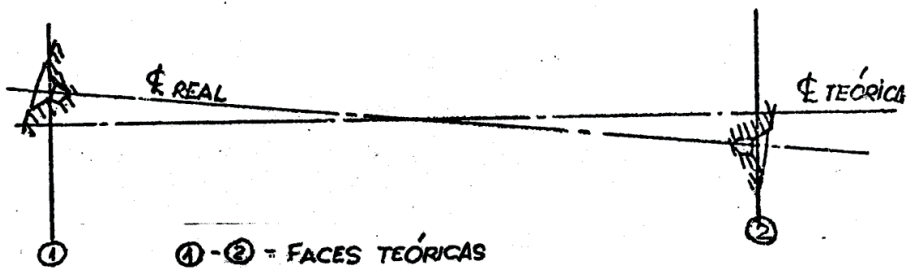


Figura 5.20 - Desvio Erro introduzido em faceamento e centragem feitos em torno mecânico

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### • Tolerâncias Permissíveis

Para efeito de segurança dimensional e geométrica nas operações posteriores a operação de faceamento e centragem, é importante que os centros sejam uniformes. Centros manufaturados fora da especificação dimensional provocam variações de cotas nas operações posteriores, quebra de cortadores de engrenagens, rebolos, além de colocar em perigo a integridade física dos operadores.

Assim, supondo-se o eixo da figura 5.21, a tolerância de altura “ $H$ ” dos centros, provocará os deslocamentos da peça de  $H_2 - H_1 = T_H$  para um lado ou para outro, quando ocorrerem as dimensões  $H_1$  e  $H_2$  em cada um dos lados da peça. Lembrando-se que está será referenciada entre



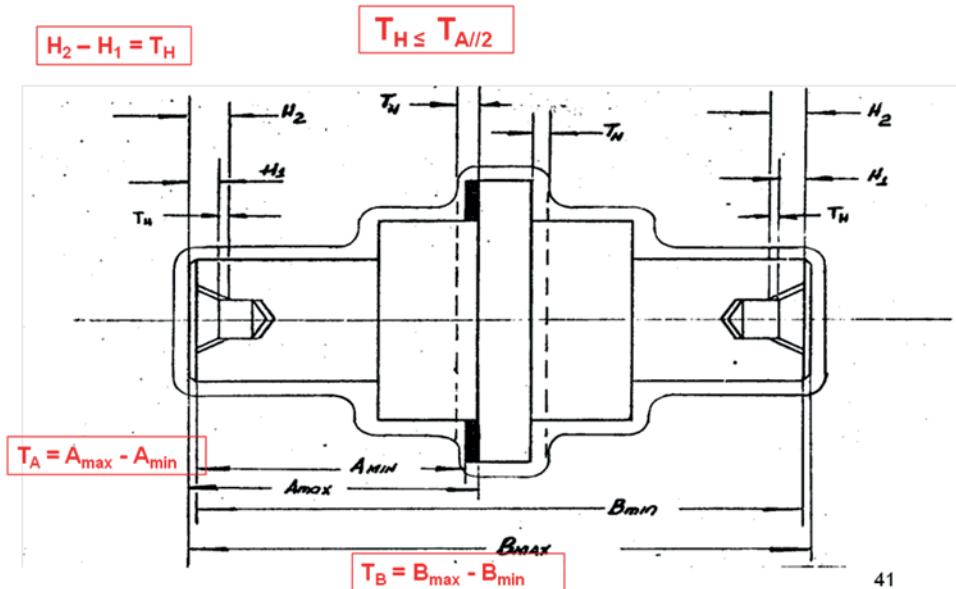
pontos para a operação de torno que irá determinar a cota ( $A_{\max}$ ,  $A_{\min}$ ) que a dimensão ( $B_{\max}$ ,  $B_{\min}$ ) foi obtida no faceamento.

Assim, por exemplo, se a peça estiver na dimensão  $B_{\min}$  após o faceamento, e se a operação de torno for determinar a ( $A_{\max}$ ,  $A_{\min}$ ), o deslocamento excessivo desta, devido à  $T_H$ , poderá provocar a remoção de material excessiva de um lado da aba, enquanto que, do outro lado, a remoção será mínima.

Visto que, geralmente a tolerância  $T_B = B_{\max} - B_{\min}$  é bem maior que  $T_A = A_{\max} - A_{\min}$  por ser B, medida sem importância para a peça, a tolerância  $T_H = H_1 - H_2$ , deverá obedecer a relação

$$T_H \leq T_A/2$$

para evitar-se que a tolerância dos centros influa no sobremetal das operações posteriores, além de se garantir a tolerância  $T_A$ . Normalmente, para o controle das operações de facear e centrar, são construídos, para médias e altas séries, calibradores especiais que controlam a tolerância  $T_H$ .



Fonte: Agostinho et al (2004)

Figura 5.21 - Tolerâncias na operação de facear e centrar  
Fonte: Elaborado pelo autor.

### 5.5 Operações iniciais para peças com L/D menor que 1

Enquadram-se nesta classificação peças como engrenagens, polias volantes, discos, tampas etc., polias. A figura 5.22 mostra esta classificação.

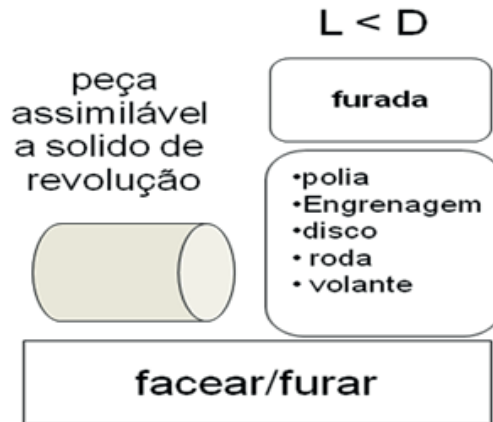


Figura 5.22 - Operação inicial para peças de revolução com L menor que D  
Fonte: Elaborado pelo autor.

A operação, dependendo da precisão que se deseja obter, pode ser feita em tornos revolver, tornos semi-automáticos, tornos CNC ou ainda, furadeiras verticais. As ferramentas de corte são brocas de dois (2) ou quatro (4) sulcos, escareadores e ferramentas de metal duro e aço rápido para faceamento.

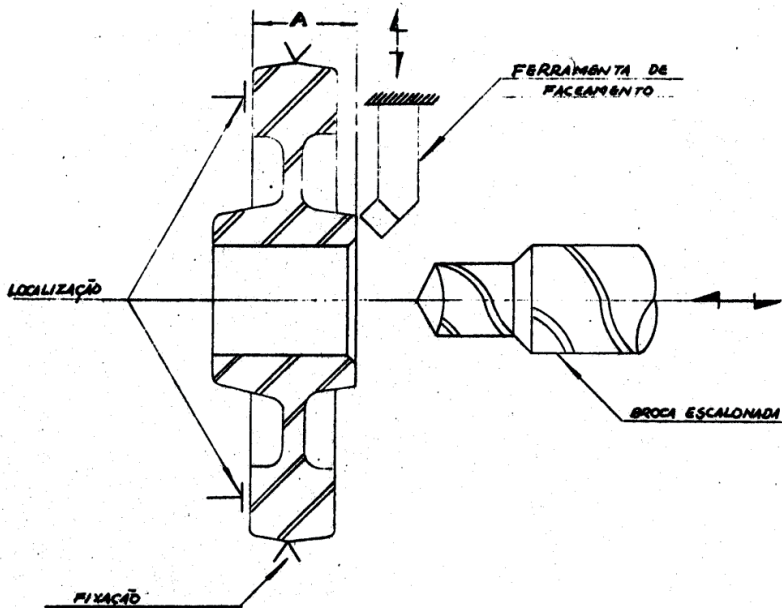


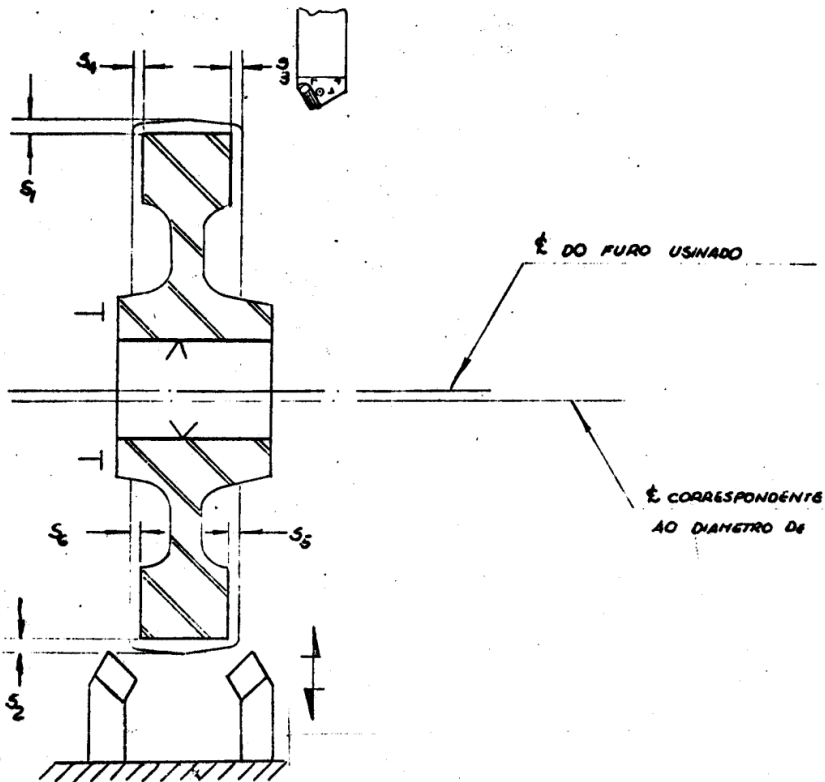
Figura 5.23 - Operação inicial de faceamento do cubo e desbaste do furo  
Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura 5.23, tem-se o faceamento do cubo da engrenagem simultaneamente (numa única fixação) ao desbaste do furo. Desde que a face e o furo sejam usinados simultaneamente, a face usinada apresentará desvios de batida radial, com relação ao furo, dentro dos limites permissíveis.

Caso se verifique desvios fora das especificações da folha de processo as causas principais serão a excessiva dureza da peça e desvios faces/furos na peça forjada.

A fixação da peça geralmente é feita pelo diâmetro externo bruto, forjado ou não, e o encosto de referência para divisão de sobremetal é colocada na face da engrenagem paralela a face usinada. São adotados encostos no maior diâmetro possível da peça, afim de se evitar vibrações durante a usinagem e desvios de forma e posição excessivos devido à falta de estabilidade da peça no dispositivo de fixação. Se a excentricidade entre o diâmetro e interno da peça em bruto for muito grande (figura 5.24), o furo usinado sairá muito deslocado, podendo diminuir sensivelmente o sobremetal para as operações posteriores de brochamento do furo e usinagem do diâmetro externo.

Visto que o diâmetro externo será posteriormente torneado fixando-se pelo furo, o deslocamento deste com relação àquele, provocará remoções desiguais podem inclusive, em casos extremos, haver mancha num dos lados da peça por falta de sobremetal. O acabamento do furo é razoavelmente importante dependendo do sobremetal deixado para a operação de brochamento. Para furação normal de broca, é possível obter-se qualidade 11, quando não se tem riscos profundos, além de rugosidade superficial de  $R_a = 6_{\mu m}$  suficiente para o brochamento posterior.



$S_2$  e  $S_1$  = remoções diferentes no diâmetro  $D_e$ , devido à excentricidade entre o furo de referência e o diâmetro externo.

$S_3$  e  $S_5$  = idem, devido ao desvio da face de referência A, com relação à  $\ell$  do

$S_4$  e  $S_6$  = furo usinado

Figura 5.24 - Influência dos desvios da forma e posição na usinagem inicial

Fonte: [09]

Ressalte-se que, por influência dos desvios geométricos:

- a) Poderá ocorrer quebra da brocha na operação de brochamento se os desvios de perpendicularismo da face com relação a linha de centro do furo estiverem fora das especificações devido a esforços desiguais durante a operação;
- b) Não havendo quebra da brocha, é provável que o furo brochado apresente riscos de broca da operação anterior, com a conseqüente rejeição da peça. A falta de material neste caso, apresenta-se nas duas extremidades e em posições opostas.

Para evitar falta de sobremetal nas usinagens posteriores, a face usinada deve ser paralela à face forjada, garantindo-se que a face forjada de referência encoste devidamente na placa de fixação. Para garantir-se a divisão do material, o croquis da folha de processo correspondente a essa operação deve prever a dimensão A entre a face usinada e a forjada. (figura 4.39). Para furos lisos, em lotes pequenos, quando a operação de brocha é substituída por um torneamento, estas operações são dispensáveis, visto que a peça totalmente usinada em somente duas fixações.

Em tornos automáticos para altas séries e tornos CNC que usinam peças com furo liso, a operação inicial de preparação juntamente com a operação de brochamento para calibragem final, são substituídas por uma operação de faceamento e torneamento do furo numa única fixação da peça. Neste caso, os desvios de paralelismo e perpendicularismo entre face e furo resultantes podem mais facilmente ser obtidos dentro de especificações mais estreitas.

## **5.6 Operações iniciais para peças não assimiláveis a sólidos de revolução**

Entre as peças enquadráveis nesta classificação, estão as carcaças de redutores de engrenagens para as diversas aplicações, braços, suportes, carcaças, colunas, bases de máquinas, setores e garfos de engate, alavancas acionadoras, etc. que podem ser de ferro fundido, aço fundido, aço forjado ou construção soldada, conforme mostra a figura 5.25.

Todas estas peças, assim como as anteriores, necessitam de operações iniciais, a partir das quais serão executadas todas as outras. referência criada, neste caso, será sempre uma superfície plana, ou ainda, uma furação de guia, ao contrário de eixos, onde a referência criada é sempre uma linha de centro.

Assim, as principais operações iniciais para se definir as referências para a sequência das operações do roteiro de manufatura são:

- 1) Operações de faceamento;
- 2) Operações de furação;
- 3) Operações de cunhagem

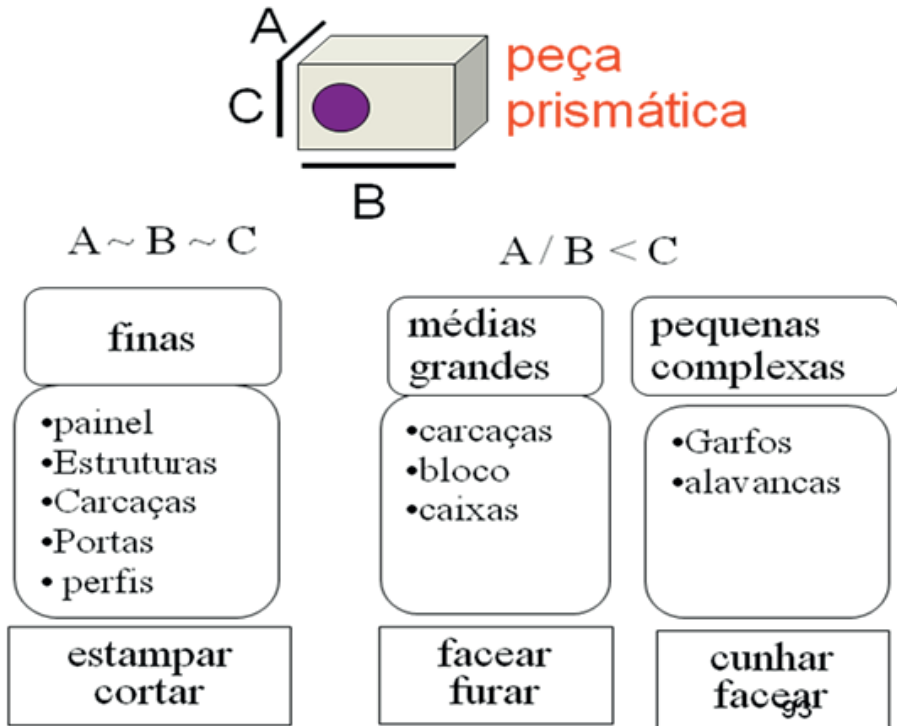


Figura 5.25 - Operações iniciais para peças não assimiláveis a sólidos de revolução  
Fonte: [09]

### 1- Operações de faceamento

Em peças do tipo de carcaças de redutores, tampas, etc., são usinadas em primeiro lugar as superfícies de localização, e, em segundo lugar, os furos de guia que servirão como referência de montagem e localização para as operações posteriores. Após criadas as referências de face iniciais, as operações de furação e mandrilamento dos furos de precisão serão localizadas por elas.

As operações de faceamento tomam como referência para cotagem e amarração de medidas superfícies planas como ressalto ou bolachas provindas da operação de fundição. Os projetos das

peças fundidas devem ser previstas e usadas como referência para dimensionamento do sobremetal a ser removido nas operações de usinagem.

É importante que na primeira operação de usinagem assumam-se a mesma referência que foi utilizada para a fundição da peça e no desenho de peça, para evitar possíveis falhas de sobremetal, tanto na operação de faceamento como nas subsequentes, que irão se referenciar na usinagem já feita. Localizações não adequadas nesta operação inicial poderão resultar em manchas por falta de sobremetal em diâmetros mandrilados, em furos alargados, etc.

Os projetos das peças fundidas devem ser previstas e usadas como referência para dimensionamento do sobremetal a ser removido nas operações de usinagem. Estes projetos devem prever bolachas de encosto para as operações de usinagem. Estas servem para divisão de sobremetal nas operações de faceamento, garantindo assim remoção suficientes nas operações posteriores do roteiro de manufatura.

Tomando-se como exemplo a figura 5.26 as cotas a serem respeitadas na peça final são:

$C_1$  = distância face a face da carcaça

$D_1$  = distância de uma face à face de encosto  $D$

Estas cotas serão respeitadas na usinagem através de:

$a_1$  – cota de referência de fundido até a face “A”

$b_1$  – cota de referência de fundido até a face “B”

$c_1$  – cota da face “A” obtida do faceamento até a face de encosto “D”.

As cotas  $a_1$ ,  $b_1$ , serão obtidas na operação de faceamento das cotas  $a_2$  e  $b_2$  da peça em bruto, através da remoção dos sobremetals  $S_1$  e  $S_2$ , obtendo-se por consequência a cota  $c_1$ . A cota  $d_1$  será obtida usinando-se a bolacha “D” tomando-se “A” como superfície de referência.

Nota-se neste exemplo que:

- a) a divisão correta do sobremetal para se obter a cota  $d_1$  só foi possível tomando-se como referência para o faceamento inicial a bolacha obtida na fundição em relação à qual foi calculado o sobremetal na peça fundida. Qualquer outra referência adotada poderá acarretar falhas de sobremetal em operações de faceamento.
- b) a superfície de referência criada com a operação de faceamento deverá também ser seguida durante todas as outras operações subsequentes, para garantir também a qualidade dimensional da peça pronta.

É importante um controle efetivo sobre os desvios de forma e posição que podem ocorrer durante o faceamento. Sendo a face usinada a superfície de encosto para as operações posteriores do processo de fabricação, como a mandrilamento, faceamento de bolachas internas, etc., um desvio excessivo de planicidade das faces, de paralelismo entre as faces ou de perpendicularismo das faces com as linhas de centro dos furos mandrilados, poderá ocasionar falta de sobremetal nestas operações, ocasionado por uma superfície de referência com desvios excessivos.

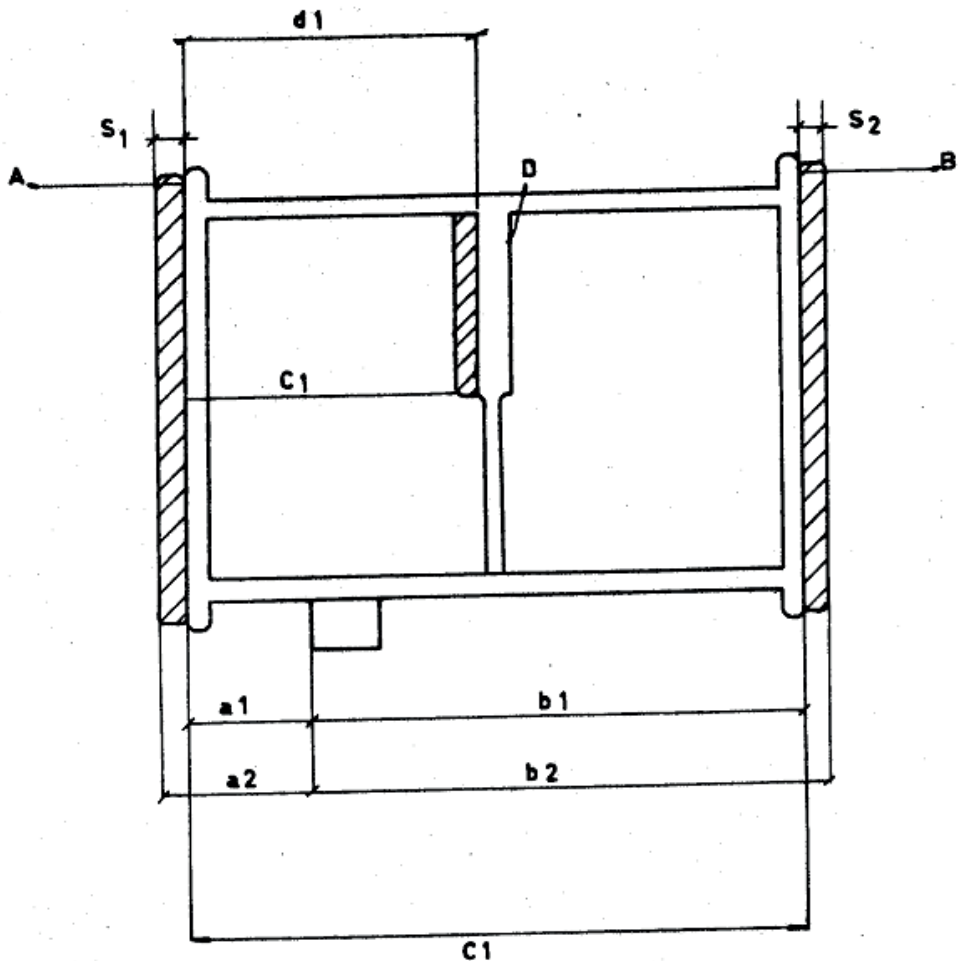
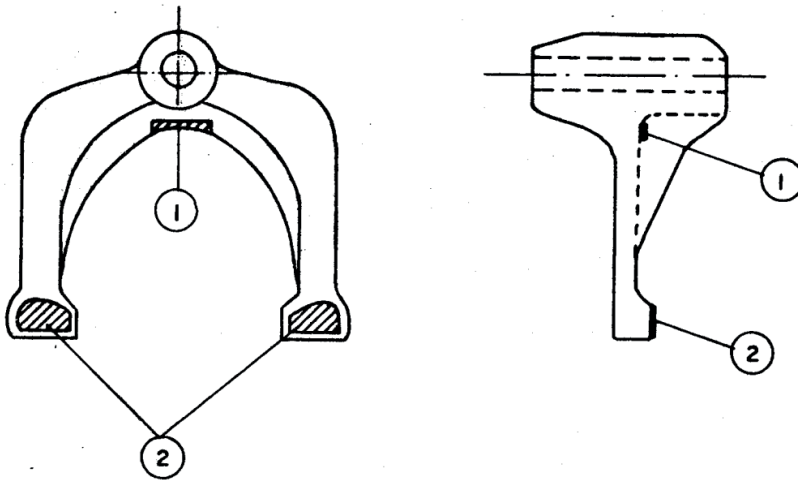


Figura 5.26 - Operações de referência em carcaças  
Fonte: [09]



### 5.7 Cunhagem

Em peças de forma irregular, pode-se utilizar um sistema de fabricação que possibilite referência inicial determinando sempre um plano a partir do qual é iniciada a sequência de operações posteriores. Esta operação é conhecida como cunhagem. É utilizada para aumentar as propriedades mecânicas de resistência e desgaste de uma parte em contato direto com outra peça, através de encruamento da superfície e ser cunhada. É o caso de peças de engate e movimentação de veículos automotores, tais como garfos, setores, etc. Em casos de garfos, a especificação de resistência e desgaste é obtida somente nos patins. A cunhagem, neste caso, além de atender à especificação acima, é feita também para criar o plano inicial de referência, a partir do qual é iniciada a sequência das operações do roteiro de manufatura. A figura 5.27 mostra uma peça típica.



- 1) Cunhagem para usinagem, determinante do plano de referência;
- 2) Cunhagem dos patins, para melhoria de propriedades mecânicas.

Figura 5.27 - Operação de cunhagem

Fonte: [09]

As vantagens principais da cunhagem são a boa qualidade da superfície e alta produção. Superfícies cunhadas não sofrem usinagem posterior, a menos de furos ou degraus. Matrizes especiais devem ser projetadas para operação de cunhagem. Os equipamentos utilizados são

prensas de 30 a 2500 toneladas dependendo da superfície a ser cunhada. As peças devem ser cunhadas após normalização, endireitamento e limpeza. O endireitamento deve ser efetuado para evitar trincas na cunhagem devido à sobremetal desigual entre duas superfícies. As tolerâncias possíveis de serem obtidas em cunhagem são dadas na tabela.5.1. As tolerâncias a que se refere a tabela 4.6 devem ser entendidas como as diferenças de cota entre as regiões planas (1) e (2) da figura 5.27.

Tabela 5.1 - Tolerâncias dimensionais na cunhagem

Área da projeção horizontal da superfície a ser cunhada (mm <sup>2</sup> )	Tolerâncias (mm) para cunhagem com	
	Precisão normal	Precisão mais apurada
Até 300	± 0,10	± 0,05
300 a 100	± 0,15	± 0,08
1000 a 2000	± 0,20	± 0,10
	± 0,25	± 0,15

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 5.8 Observações

O sistema de referência inicial desenvolvido anteriormente para diversos tipos diferentes de peças será seguido e adotado como sistema de localização e fixação nas diversas operações subsequentes no roteiro de manufatura. O cuidado e a escolha adequada do sistema de referência possibilita o desenvolvimento das outras operações do roteiro, dimensões intermediárias e finais. Garante-se, assim, no planejamento do processo, a diretriz principal pela qual, após a execução das operações do roteiro de manufatura, a peça obtida será imagem e semelhança do seu respectivo desenho de produto, com suas especificações dimensionais, geométricas e metalúrgicas preservadas.



## 6 SOBREMETAL DE USINAGEM

### 6.1 Definições e conceitos básicos

Tendo-se como referência a figura 3.10, reproduzida abaixo, observa-se que um dos parâmetros principais que garante o encadeamento de operações do roteiro de manufatura é a necessidade de garantia, em operações de usinagem, de existência de material a ser removido em uma operação, e o seu dimensionamento para as operações subsequentes. O dimensionamento deste sobremetal é muito importante para garantir operações subsequentes as operações sendo executada.

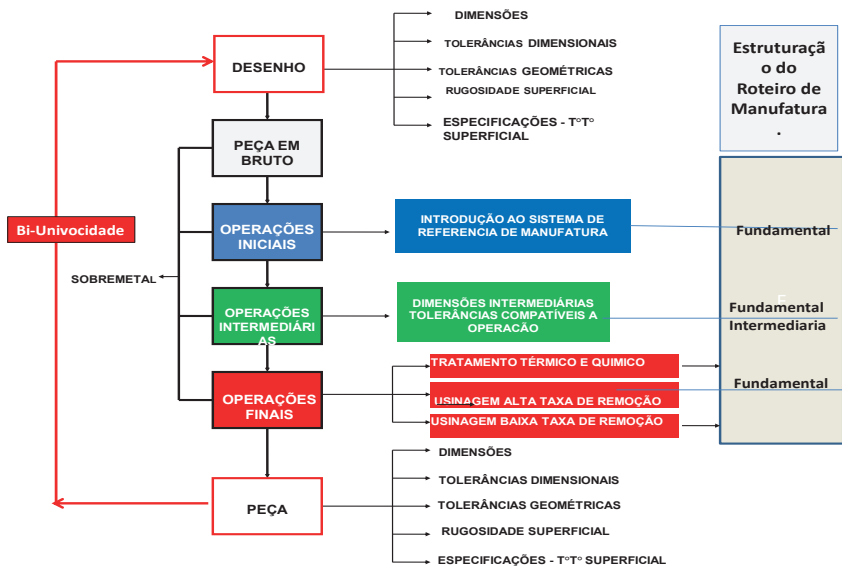


Figura 3.10 - Roteiro para manufatura de peças

Fonte: Elaborado pelo autor.

O formato, tamanho, e a qualidade das superfícies de uma peça, especificadas pelas dimensões, e tolerâncias do desenho desta peça, são obtidas por usinagem da peça em bruto numa sequência estruturada de operações. Portanto, uma camada de metal no forma de cavacos é removida da superfície da peça durante a usinagem, alterando seu tamanho.

Define-se como *sobremetal de usinagem* *S* a camada de material a ser removido de uma superfície de uma peça durante operação de usinagem.

Em alguns casos, sobremetais excessivos resultam em remoção das camadas superficiais mais resistentes ao desgaste da peça. Além disso, resultam em operações adicionais, com acréscimo adicional de trabalho empregado, material em excesso, custos adicionais em energia elétrica e consumo de ferramentas de corte. Conseqüentemente, resultará em aumento do custo de manufatura.

A redução de sobremetal de usinagem é uma das maneiras de poupar material e simplificar a operação de usinagem. Por outro lado, insuficiente previsão de sobremetal inviabiliza a remoção de camadas de material danificadas, assim como dificulta a obtenção da acuracidade e acabamento das superfícies sendo usinadas. Um aumento de peças rejeitadas pode ocorrer devido a previsão inadequada de sobremetal, novamente causando aumento de custos.

O estabelecimento de sobremetais otimizados e tolerâncias operacionais para as dimensões da peça na seqüência de operações é um dos requisitos de produção mais importantes da engenharia de processos de manufatura.

#### **a. Sobremetal intermediário ou operacional $S_i$**

Uma peça é usinada em varias operações desde bruta até as dimensões finais especificadas no desenho do produto correspondente. Assim, o sobremetal intermediario  $S_i$  removido entre operações de usinagem é definido como a camada de material removido de uma superfície correspondente a cada operação da seqüência de manufatura.

O sobremetal  $S_i$  pode ainda ser definido como a diferença das dimensões obtidas na operação anterior e a operação sendo executada.

Para superfícies externas:

$$S_i = a_{i-1} - a_i, \text{ onde}$$

$a_{i-1}$  – dimensão da superfície na operação anterior

$a_i$  – dimensão da superfície na  $i$ -ésima operação.

E para superfícies internas :

$$S_i = a_i - a_{i-1}$$

**b - Sobremetal total  $S_T$** 

O **Sobremetal total  $S_T$**  é definido como a camada de material removida de uma superfície da peça após todas as operações do roteiro de manufatura serem executadas iniciando-se na peça em bruto e finalizando-se com a peça em sua configuração final, atendendo a todas as especificações do desenho de produto. O sobremetal total removido é definido como a diferença das dimensões da peça bruta e final, medidas a partir da mesma referência.

Assim, tem-se para peças externas:

$$S_T = a_b - a_f$$

e para superfícies internas:

$$S_T = a_f - a_b$$

onde :

$a_b$  – dimensão da peça em bruto

$a_f$  – dimensão da peça com suas especificações previstas no desenho de produto das peças

O sobremetal total  $S_T$  é igual à soma de todos os sobremetais intermediários, ou seja:

$$S_T = \sum_{i=1}^n S_i$$

Onde:

$S_T$  – sobremetal removido em todas as operações do roteiro de manufatura

$S_i$  – sobremetais intermediários correspondentes a cada operação de usinagem necessária à manufatura da peça

$n$  – número total de operações de usinagem referidas ao roteiro de manufatura da peça .

**c - Sobremetal unilateral**, removido somente de um lado da superfície (figura 6.1).

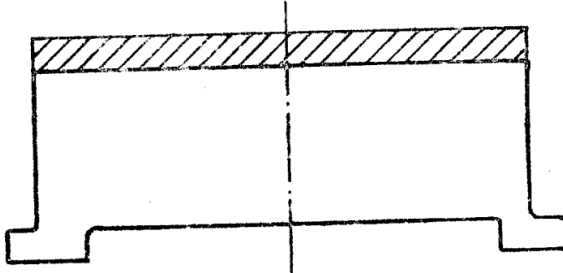


Figura 6.1 - Sobremetal unilateral  
Fonte: [34]

**d - Sobremetal bilateral**, removido dos dois lados para sólidos não associados a sólidos de revolução (figura 6.2) ou para sólidos associados a sólidos de revolução (figura 6.3).

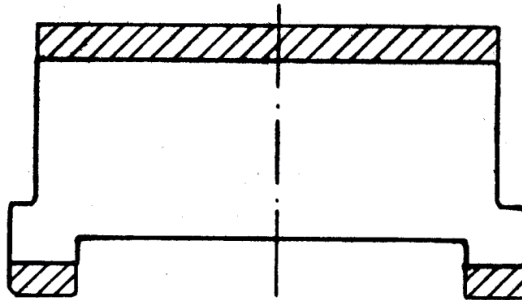


Figura 6.2 - Sobremetal bilateral removido em duas faces  
Fonte: [34]

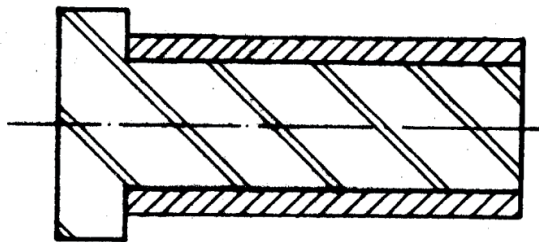


Figura 6.3 - Sobremetal bilateral removido em rebaixos de superfícies cilíndricas  
Fonte: [34]

**e - Sobremetal nominal** – remoção de material prevista através de cálculo dimensional, levando em conta as cotas entre operações do roteiro de manufatura .

O *sobremetal nominal* é o normalmente utilizado para se calcular as dimensões intermediárias correspondentes a diversas operações de processamento de uma peça a fim de evitar rejeições por remoções insuficientes ou ainda oneração do custo da operação por remoções muito grandes.

**f- Sobremetal real** – camada de material realmente removida nas operações de usinagem correspondentes;

**g.- Sobremetal verificado** – remoção de material obtida através de medição da dimensão da superfície nas operações anterior e a em execução.

O sobremetal verificado deve aproximar-se do real o quanto for possível, dependendo das condições de medição que se tenha em mãos. O desvio correspondente entre o e o primeiro determinará a confiabilidade do processo em uso.

## 6.2 Sobremetal mínimo necessário

Um dos fatores principais a serem considerados no processamento de usinagem de uma peça é a correta determinação das remoções de material nas diversas operações componentes da sequência das operações de usinagem.

A influência do valor do sobremetal de usinagem nos aspectos econômicos de um processo de usinagem é muito grande, principalmente em médias e altas séries. Quanto maior for o sobremetal a ser removido, maior será o número de passes necessários para removê-lo. Isto aumentará o trabalho necessário, o consumo de energia e piorará as condições de operações das ferramentas de corte, além de aumentar a quantidade de material transformado em cavaco. Além disso, um aumento do sobremetal de usinagem poderá requerer maior número de máquinas operatrizes e, portanto, maior área construída para a fabricação de um mesmo número de peças. Por outro lado, se o sobremetal for insuficiente, haverá aumento da quantidade de peças rejeitadas, onerando do mesmo modo o produto final.

O sobremetal pode ser assegurado por uma escolha mais precisa da peça em bruto. Especificações estreitas provindas de precisão no processo de manufatura das peças em bruto,



em muitos casos, podem aumentar o seu custo de fabricação, aumentando o custo final da peça da mesma maneira.

Conclui-se, portanto, que há necessidade de se adotar um sobremetal ótimo, que atenda, a maioria das exigências acima citadas.

Define-se  $S_n$  - *sobremetal mínimo necessário o sobremetal ótimo entre duas operações de uma determinada peça é aquele que assegure a qualidade previamente fixada na superfície usinada a um custo de processamento mínimo na fabricação da peça em bruto e nas operações do roteiro de fabricação.*

O sobremetal mínimo necessário  $S_n$  que atenda a todas as exigências citadas deve compensar diversos fatores, tais como:

- a) A altura máxima de rugosidade superficial proveniente da operação anterior -  $R_{\max i-1}$
- b) A espessura da camada danificada da peça em bruto, tais como a espessuras da camada superficial da peça fundida e do material descarbonetado em barras laminadas, ou ainda profundidade de buracos, irregularidades de superfície, rachaduras, etc., provindos dos processos de obtenção da peça em bruto, aqui denominada  $t_{i-1}$

A figuras 6.4 e 6.5 mostra esquematicamente a influência da altura máxima da rugosidade superficial e a camada danificada para superfícies uni-laterais e bi-laterais

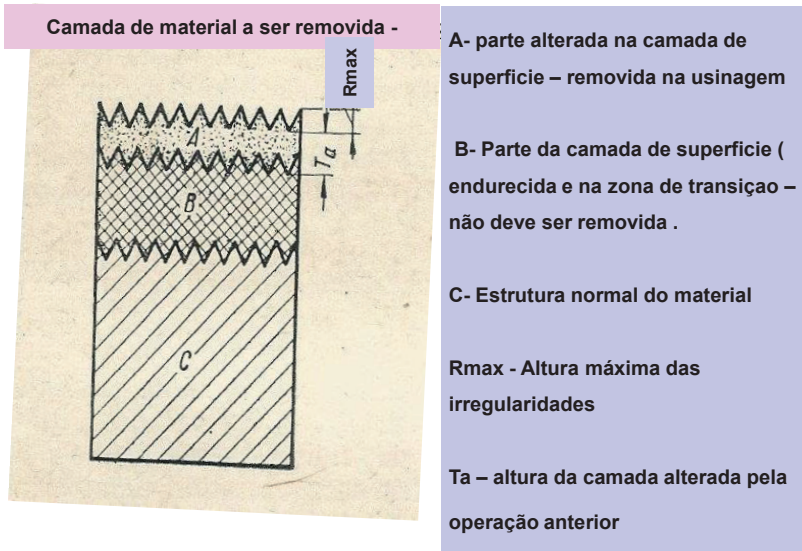


Figura 6.4 – Rugosidade superficial e camada de material danificada em superfícies unilaterais

Fonte: [34]

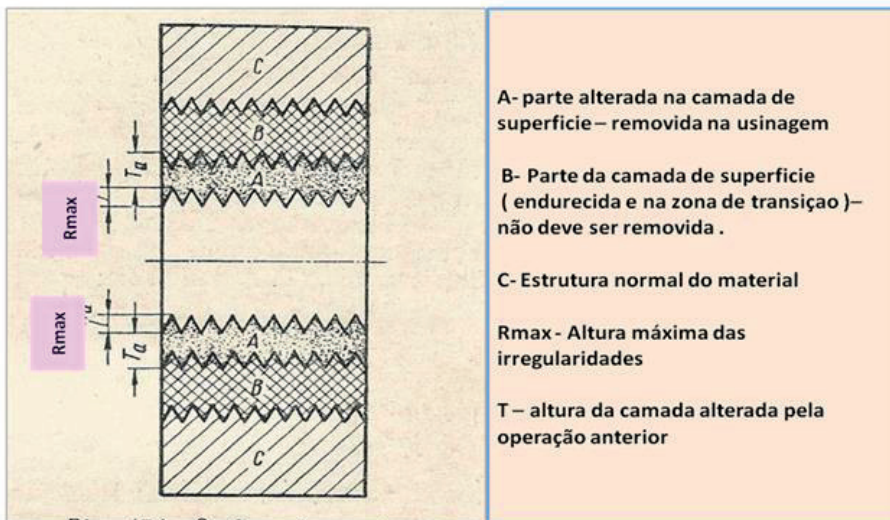


Figura 6.5 - Rugosidade superficial e camada de material danificada em superfícies bilaterais

Fonte: [34]

- c) desvios geométricos das máquinas operatrizes, além de outros fatores.  
 d) desvios inevitáveis de produção ou processamento de usinagem devido aos processos utilizados para a manufatura de peças em bruto e da operações do roteiro de manufatura.

O sobremetal mínimo necessário é determinado pela equação geral para sobremetal unilateral.

$$S_{i_n} = R_{\max_{i-1}} + t_{i-1} + \left| \overrightarrow{\rho_{i-1}} + \overrightarrow{\varepsilon_i} \right|$$

Onde:

$i$  - operação qualquer correspondente a uma sequência de usinagem composta por “ $n$ ” operações;  
 $R_{\max_{i-1}}$  - altura máxima de rugosidade correspondente a operação anterior.

As micro-irregularidades são levadas em consideração tomando-se o valor da máxima altura  $R_{\max}$ , correspondente a operação anterior, visto que cada operação de usinagem está ligada a uma rugosidade superficial característica.

$t_{i-1}$  - profundidade da espessura da camada danificada correspondente a operação anterior.

Este fator é preponderante quando a operação anterior de fabricação da peça em bruto. Em peças de ferro fundido, a camada perlítica deve ser removida pra evitar desgaste excessivo das ferramentas de corte quando são usinadas as camadas mais profundas. Para o caso de barras laminadas, esta camada corresponde a uma zona descarbonetada que reduz a tensão de trabalho do material sendo fabricado. A remoção desta camada aumenta as propriedades de resistência mecânica da peça em bruto. Além disso, esta camada sofre um endurecimento superficial devido ao processo de laminação a quente, cuja dureza vai diminuindo à medida que se atingem camadas mais profundas do material. Na usinagem é conveniente a eliminação da parte externa das camadas correspondentes à parte endurecida, onde se observa uma alteração da estrutura do material;

$\rho_{i-1}$  - Módulo da projeção, na direção que define a profundidade de corte, da soma vetorial dos desvios de posições das superfícies de referência e em usinagem, correspondente à operação anterior.

Corresponde a desvios de paralelismo, perpendicularismo entre eixos de simetria e superfícies, ou ainda, desvios de concentricidade entre as superfícies de furos, etc.

Supondo-se o caso de dois vetores  $\rho_1$  e  $\rho_2$ , tem-se duas situações:

a) os vetores têm o mesmo sentido (o ângulo entre eles é zero ). Neste caso tem-se:

$$\rho = |\rho_1| + |\rho_2|$$

b) se os vetores tiverem sentidos opostos

$$\rho = |\rho_1| - |\rho_2|$$

$\varepsilon_i$  - desvios de montagem da peça

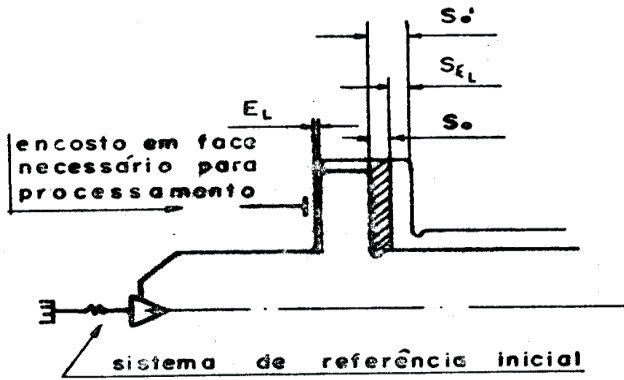
Módulo da projeção, na direção que define a profundidade de corte, da soma vetorial dos desvios geométricos gerados durante a localização, fixação e montagem da peça nos dispositivos de localização e fixação na operação sendo executada.

Estes desvios ocorrem na fixação e localização da peça no dispositivo de usinagem, ou ainda na fixação deste na máquina operatriz. Quanto maior for o desvio de montagem, tanto maior deverá ser o sobremetal necessário para compensá-lo. O erro de montagem pode ser subdividido em:

$$\varepsilon_i = \varepsilon_{L_1} + \varepsilon_{f_1} + \varepsilon_{m_1}$$

Onde:

$\varepsilon_{L_1}$  - desvios de localização que aparecem devido à localização da peça através de acessórios em dispositivos de fixação, tais como encostos, pilotos de guia, etc. Ocorrem freqüentemente quando se utiliza superfícies auxiliares de referência, como mostrado na figura 6.6. Os desvios de localização não ocorrem quando não se muda as referências iniciais de usinagem, como por exemplo, a linha de centro criada em operações de facear e centrar no torneamento de eixos.



$\epsilon_l$  – desvio de localização devido à mudança de referência do centro à face

$S_o$  – sobremetal mínimo necessário para a operação

$S_{\epsilon_L}$  - sobremetal necessário para compensar os desvios de localização

$S'_o$  – sobremetal total para evitar o desvio de localização

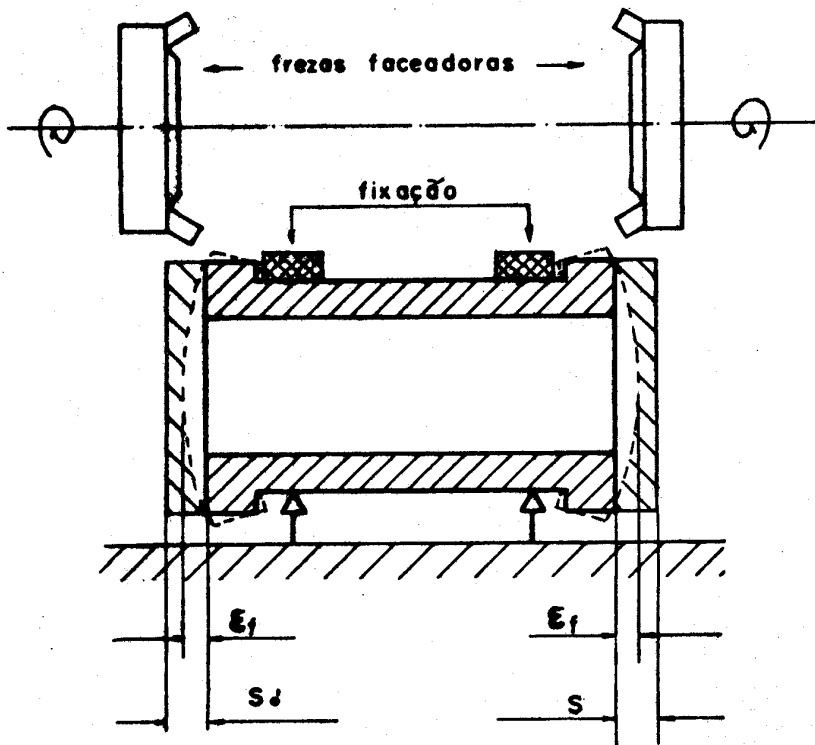
Figura 6.6 - Influência do desvio de localização em operações de torneamento

Fonte: Elaborado pelo autor.

$\mathcal{E}_{f_i}$  - desvios que não aparecem antes da peça ser fixada, sendo notados após a fixação.

É o caso típico de falta de planicidade de carcaças sem rigidez fixadas por dispositivos com grande capacidade de fixação( figura 6.7 ) ou ainda desvios de linearidade de eixos esbeltos torneados entre-pontos com pressão excessiva do contra-ponto (figura 6.8).

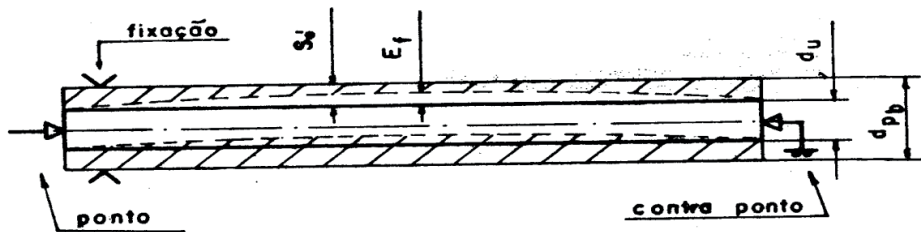
$\epsilon_{m1}$  - Erro de montagem de máquina que pode ocorrer na montagem de uma ferramenta na dimensão desejada no processamento da operação, ou ainda da ajustagem de limitadores positivos ou cames de movimento. No exemplo mostrado na figura 4.51, uma parte da superfície sendo usinada pode deixar de ser usinada se o sobremetal não for suficiente para corrigir os erros de montagem esquematizados. A figura 4.52 mostra de forma exagerada que a parte a da peça tornada cilíndrica na operação anterior não será limpa no torneamento do rebaixo correspondente.



$\varepsilon_f$  – desvio de fixação proveniente da deformação da carcaça quando fixada pelos grampos A e B

$S'_o$  – sobremetal necessário para compensar o erro de fixação  $\varepsilon_f$

Figura 6.7 - Desvios de fixação por deformações na fixação da peça  
Fonte: Elaborado pelo autor.



Onde:

$\varepsilon_f$  – desvio de fixação devido à pressão excessiva do contra ponto.

$S'_o$  – sobremetal necessário para compensar o erro de fixação  $\varepsilon_f$

$d_{pb}$  - diâmetro da peça em bruto

$d_\mu$  - diâmetro da peça usinada

Figura 6.8 - Influência do desvio  $\varepsilon_f$  no sobremetal na usinagem entre pontos de eixos esbeltos  
Fonte: Elaborado pelo autor.

$\varepsilon_{m1}$  – Desvio que pode ocorrer na montagem de uma ferramenta na dimensão desejada no processamento da operação, ou ainda da ajustagem de limitadores positivos ou cames de movimento. No exemplo mostrado na figura 6.9, uma parte da superfície sendo usinada pode deixar de ser usinada se o sobremetal não for suficiente para corrigir os erros de montagem esquematizados. A figura 6.0 mostra de forma exagerada que a parte a da peça tornada cilíndrica na operação anterior não será limpa no torneamento do rebaixo correspondente.

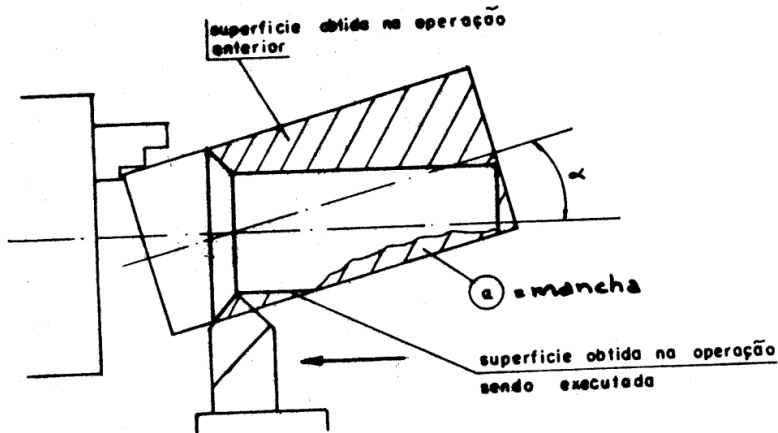


Figura 6.9 - Erro de montagem  $\varepsilon_i$  influenciado no sobremetal a ser prevista na operação de usinagem

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o caso de superfícies de revolução, considerando a usinagem de um furo (figura 6.10) mostra as direções dos vetores correspondentes a estes desvios, além de desvios *de forma* (ovalização, conicidade, planicidade, etc.) se estes desvios ultrapassarem a tolerância de

fabricação. É o caso de distorções de tratamento térmico, ou ainda devido à redistribuição de tensões internas, etc.

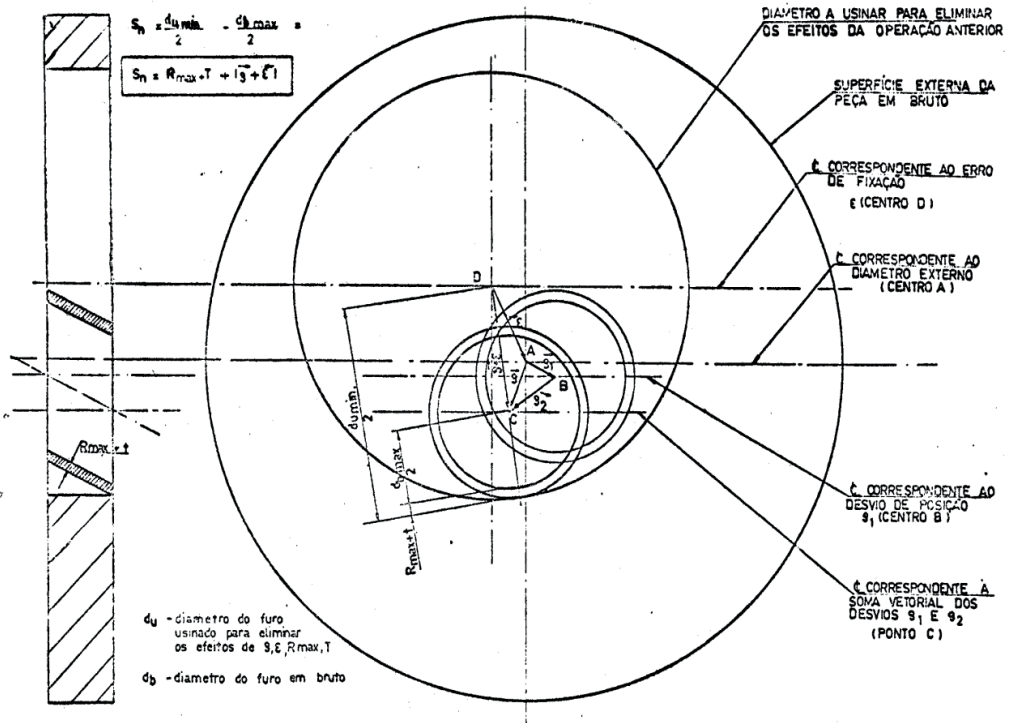


Figura 6.10 - Composição dos desvios e camadas afetadas na determinação de Sobremetal Necessário para superfícies de revolução

Fonte: [34]

Deve-se considerar  $\varepsilon_i$  uma grandeza vetorial, do mesmo modo que deve ser tratada  $\varepsilon_{L_1}$ . É conveniente, porém, que se tenha valores numéricos de  $\varepsilon_i$  para efeito de determinação de sobremetal. Assim, as tabelas 6.1 e 6.2 podem ser utilizadas como referência para os diversos tipos de fixação.

Em vários casos de prática, alguns dos componentes da fórmula geral de  $S_n$  podem ser abandonados. Em retificação sem centros (centerless), o erro de montagem pode ser omitido e o sobremetal será determinado pela equação.



$$2S_{n_i} = 2 \left[ R_{\max_{i-1}} + t_{i-1} + \sigma_{i-1} \right]$$

O valor  $\left[ R_{\max_{i-1}} + t_{i-1} \right]$  da fórmula geral tem que ser analisado para os diversos casos.

Para operações onde a peça se apresenta em bruto, pode-se adotar como valores de referência:

- barras laminadas:  $R_{\max} + t = 0,3\text{mm}$
- fundidos: adota-se valores de referência de 0,8 a 1,5mm para peças com até 100mm de dimensão nominal e de 2 a 6mm para peças maiores.

Na usinagem de peças de ferro fundido, o valor de  $t_i$  pode ser excluído da fórmula após o desbaste da peça em bruto. É o caso também de operações após tratamento térmico, quando a camada endurecida deve ser mantida. Neste caso, a equação geral será enunciada como:

$$2S_{n_i} = 2 \left[ R_{\max_{i-1}} + \rho_{i-1} + \frac{\omega}{\varepsilon_1} \right]$$

O termo  $\rho_{i-1}$ , que compreende uma soma vetorial dos desvios de posição pode ser excluído de furos com ferramentas fixas em mandris flutuantes. É o caso de alargamento de furos previamente furados.

As tabelas 6.1, 6.2, 6.3 e 6.4 apresentam valores numéricos dos desvios geométricos e de montagem para diversas operações de usinagem.

Tabela 6.1 - Valores médios para desvios de localização

(continua)

Tipo de superfície a ser fixada	Diâmetro da superfície a ser fixada D (mm)							
	Até 50	50 a 120	120 a 260	260 a 500	Até 50	50 a 120	120 a 260	260 a 500
		120	260	500		120	260	500
	Deslocamento radial				Deslocamento axial			

(conclusão)

Fundição em Areia	0,30	0,40	0,50	0,60	0,10	0,12	0,15	0,2
Fundição em moldes permanentes	0,2	0,3	0,4	0,5	0,8	0,10	0,12	0,15
Fundição em shell molding	0,10	0,15	0,20	0,25	0,05	0,08	0,10	0,12
Forjamento em martelo	0,30	0,40	0,50	0,60	0,10	0,12	0,15	0,2
Forjamento em prensas horizontais ou verticais	0,2	0,3	0,40	0,50	0,06	0,40	0,12	0,15
Usinagem de desbaste	0,10	0,15	0,20	0,25	0,05	0,08	0,10	0,12
Usinagem de acabamento	0,05	0,08	0,10	0,12	0,03	0,03	0,08	0,10
Retificação	0,02	0,03	0,04	0,05	0,01	0,015	0,025	0,03

Fonte: [35]

Tabela 6.2 - Valores Médios de desvios de montagem ( $\epsilon_m$ ) na fixação de peças

Diâmetro D (mm)	Até 9	10 a 18	19 a 25	26 a 48	50 a 58	60 a 78	80 a 95	100 a 115	120 a 125	130 a 150
Deslocamento radial (mm)	0,1	0,12	0,15	0,2	0,27	0,32	0,40	0,50	0,60	0,65
Deslocamento axial (mm)	0,07	0,06	0,10	0,13	0,18	0,21	0,27	0,33	0,44	0,47

Fonte: [35]

Tabela 6.3 – Desvio de montagem médio na fixação de barras redondas laminadas a quente em placas de 3 castanhas

Diâmetro D (mm)	6 a 10	10 a 18	18 a 30	30 a 50	50 a 80	80 a 100
Deslocamento radial (mm)	0,05	0,06	0,07	0,09	0,100	0,12
Deslocamento axial (mm)	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08

Fonte: [35]

Tabela 6.4 – Valores de  $R_{max}$  e  $t$  para diversas operações

Operações		$R_{max}$	$t$
		$\mu_m$	$\mu_m$
Torneamento	Desbaste	15 – 5,3	25 - 30
	Acabamento	5,3 – 1,2	15 - 20
Mandrilamento		15 – 2,7	15 – 20
Alargamento		10,3 – 5,3	10 – 20
Brochamento		10,3 – 2,7	10 – 20
Acabamento com esfera		1,2 – 0,6	20 – 25
Retificação		5,3 – 0,3	15 – 20
Lapidação		1,25 – 0,3	3 – 5
Brunimento		1,25 – 0,3	20 - 25

Fonte: [20]

### 6.3 Sobremetal mínimo operacional

Em condições operacionais, a determinação do sobremetal mínimo a ser removido deve levar em conta condições como:

- repetibilidade e confiabilidade do dimensionamento dos sobremetals entre operações, tais que a camada de material a ser removido garanta a continuidade das operações subsequentes, para todas as especificações - dimensões, tolerâncias dimensionais, tolerâncias macro e micro geométricas – especificações metalúrgicas e de superfícies. A imprecisão nesse dimensionamento gerará dimensões sem as especificações necessárias, ou, em vários casos, peças com remoção exagerada, comprometendo as remoções posteriores, com o aparecimento de manchas nas peças, indicando pouca ou insuficiente previsão de remoção de material para a operação encadeada seguinte. Quando a sequência do roteiro exigir a necessidade de várias operações de processo para se passar da peça em bruto (forjado, laminado, fundido) para a peça pronta, o cálculo do sobremetal deverá ser feito de operação para operação, procurando-se, sempre, nas operações intermediárias, utilizar a tolerância da máquina operatriz a fim de não se provocar diminuição da produção da peça, com conseqüente aumento de custo.
- O dimensionamento de sobremetal entre operações deve levar em conta que, em condições operacionais de produção normal, as operações do roteiro de manufatura utilizam máquinas operatrizes diferentes, de idade e estado de conservação diferentes.
- O sobremetal mínimo necessário  $S_n$  definido no parágrafo anterior é determinado em condições bastante definidas e controladas, o que não ocorre em produção normal.

Levando-se em conta as considerações acima, define-se **sobremetal mínimo operacional**  $S_{im}$ , para uma determinada operação *a menor remoção em condições normais de produção, tal que as especificações de qualidade sejam satisfeitas para as dimensões sendo manufaturadas.*

Deve seguir a seguinte relação:

$$S_{im} = k S_n$$

Onde :

$S_{im}$  – sobremetal mínimo real obtido na operação

$S_n$  – sobremetal necessário mínimo obtido a partir da equação geral de dimensionamento

k – coeficiente de segurança

O coeficiente de segurança  $k$  deve ser determinado em função dos seguintes fatores:

sendo:

$$k = k_m \times k_i \times k_s \times k_r$$

Analisando-se os vários coeficientes, tem-se:

- a)  $k_m$  - *leva em conta a tolerância adotada na operação ( $T_i$ ) em relação à tolerância possível de ser obtida pelas máquinas à disposição ( $T_i'$ )*: quanto mais se tiver  $T_i \simeq T_i'$  maior deverá ser o coeficiente  $k_m$ , principalmente se a operação for final, onde as dimensões da operação deverão ser as da peça acabada. *Para um aumento de  $k_m$ , a tolerância do processo de manufatura  $T_i$  se aproxima da tolerância da máquina operatriz  $T_i'$  apesar do aumento de sobremetal para se garantir a operação.*
- b)  $k_i$  - *Leva em conta a idade operacional do equipamento.* O valor de  $k_i$  aumenta com o aumento da idade operacional do equipamento; quanto mais velho ele for, ocorrerão maiores problemas de manutenção; será então necessário aumentar-se o sobremetal operacional, com o correspondente aumento dos custos de manufatura.
- c)  $k_s$  - *Leva em conta as condições de segurança do processo:* dependendo da complexidade da operação e do sistema de amarração de dimensões, pode haver probabilidade da operação consumir rapidamente a tolerância de trabalho. Neste caso, sempre haverá necessidade de um estudo de capacidade de processo e conseqüentemente, a determinação do valor de  $k_s$ , mais adequado.
- d)  $k_r$  - *Leva em conta os índices de rejeição que estão sendo verificados na operação.* O índice de rejeição é *expresso em quantidade de peças rejeitadas por milhão de peças manufaturadas (ppm).* Um aumento de  $k_r$ , corresponde uma diminuição da porcentagem de peças rejeitadas. O índice  $k_r$  deverá ser dimensionado em função dos objetivos de qualidade da organização.

O valor da rejeição, em valores médios é:

1. médias e altas séries – produção seriada. Neste caso a porcentagem de peças rejeitadas deve oscilar deve situar-se em 300 ppm a 1000 ppm, para peças de componentes mecânicos.
2. pequenas séries – para pequenas séries, a porcentagem deve diminuir consideravelmente, principalmente na usinagem de peças de grande porte e de valor elevado.

Assim sendo, pode-se definir o coeficiente de segurança composto por:

$$k = k_n \times k_l \times k_s \times k_r$$

Orientativamente, pode-se adotar os seguintes valores médios:

$$k_n - 1,05 \sim 1,08$$

$$k_l - 1,00 \sim 1,10$$

$$k_s - 1,05 \sim 1,15$$

$$k_r - 1,00 \sim 1,03$$

portanto,

$$k \simeq 1,10 - 1,40$$

O valor de  $k$  poderá ser maior ou menor que os valores acima, dependendo das condições de trabalho que se apresentem para aquela organização específica.

#### 6.4 Sobremetal máximo operacional $S_{iM}$

O sobremetal máximo a ser removido entre duas operações  $i$  e  $i+1$  do roteiro de manufatura considera as tolerâncias operacionais entre essas operações, ou seja,  $T_i$  e  $T_{i+1}$ , de acordo com a expressão abaixo:

$$S_{iM} = S_{im} + T_i + T_{i-1}$$

Onde:

$S_{iM}$  - sobremetal máximo a ser removido entre as operações  $i$  e  $i+1$

$S_{im}$  - sobremetal mínimo entre as duas operações  $i$  e  $i+1$

$T_i$  - Tolerância da operação executada

$T_{i-1}$  - Tolerância da operação anterior

A figura 4.51 esquematiza a cadeia dimensional que define os sobremetals máximo e mínimo.

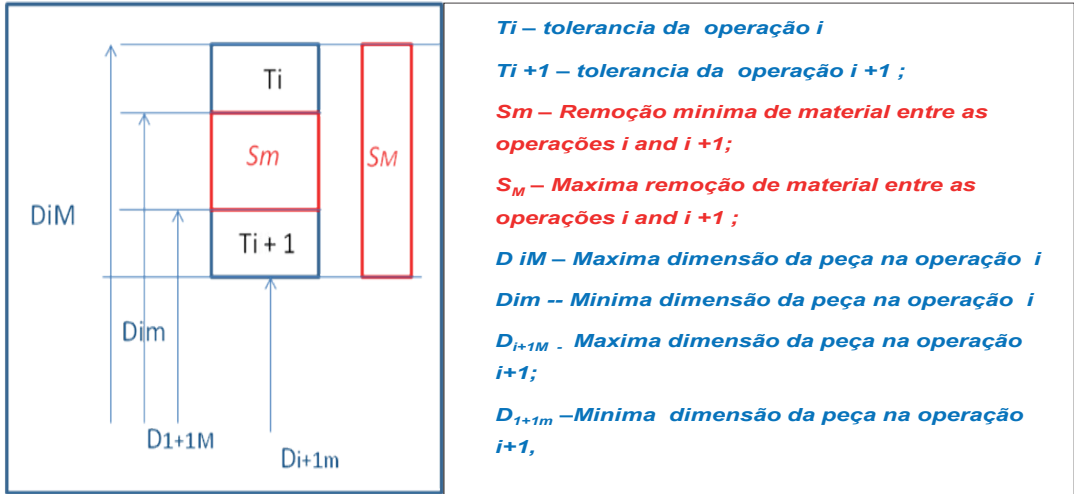


Figura 6.11 - Sobremetas máximo e mínimo entre duas operações do roteiro de manufatura  
 Fonte: Elaborado pelo autor.

Durante a execução das operações  $i$  e  $i+1$ , As tolerâncias obtidas deverão ser menores ou iguais As tolerâncias especificadas pelas folhas de processo da operação. Assumindo que:

$T'_i$   $T'_{i-1}$  - tolerância possível de ser obtida com o sistema Máquina ferramenta – Ferramenta de corte–Dispositivo de fixação–Peça obra (MFDP) para cada operação  $i$  e  $i+1$ .

Em condições operacionais ideais, ter-se ia para as operações intermediárias:

$$T_i = T'_i \text{ e } T_{i+1} = T'_{i+1}$$

Onde:

$T_i$ ,  $T_{i+1}$  – tolerâncias na dimensão especificada para as operações  $i$  e  $i+1$

$T'_i$ ,  $T'_{i+1}$  – tolerâncias reais obtidas nas dimensões especificadas, levando-se em conta os desvios do sistema MFDP, quando a operação é executada em máquinas ferramenta existentes no parque de máquinas em questão.

E, para operações finais

$$T'_n \leq T_n$$

visto que nestas serão atendidas as especificações finais da peça. Nesta operação, a tolerância especificada deve ser maior que a possível de ser obtida pelo equipamento, para garantia da qualidade final da peça.

As condições limitantes das equações, como se pode observar, ficam definidas pelo equipamento existente. Assim:

a.1) se As tolerâncias  $T'_i$  e  $T'_{i-1}$  forem muito abertas, o sobremetal  $S_{iM}$  tornar-se-á muito grande, aumentando o custo por remoção excessiva de cavaco, gasto com mão de obra, energia elétrica, manutenção, tempo padrão da operação elevado, etc. Neste caso haverá necessidade de se trocar o equipamento de modo que este permita a obtenção de tolerâncias menores e, portanto, sobremetais menores.

a.2) para  $T'_i$  e  $T'_{i-1}$  mais estreitas,  $S_{iM}$  será pequeno e, portanto, todos os custos citados serão pequenos. Neste caso, porém, o investimento para equipamentos mais precisos será proporcionalmente maior.

Haverá, portanto, para cada operação  $i$  ou  $i-1$ , uma tolerância  $T'_i$  ou  $T'_{i-1}$  que dará a remoção de cavaco de maior produtividade a um menor custo final. Esta condição deve ser determinada para cada operação.

É interessante notar-se que cada operação de usinagem, a tolerância obtida deve ser melhor analisada para se determinar a sua faixa de qualidade IT permissível para para viabilizar a operação em termos de custo e tempos de trabalho.

Assim, este critério é mais geral para a determinação da qualidade de trabalho para uma determinada operação de usinagem. As dimensões obtidas nessa devem estar dentro de dois limites da qualidade IT e deve ser encarada de um modo mais geral, pois a qualidade IT deve ser possível de ser obtida e só é válida após a determinação do sobremetal mínimo operacional.



## 6.5 Encadeamento de operações; tolerâncias e sobremetais operacionais

Serão analisados e determinados neste paragrafo os sobremetais operacionais em condições operacionais em ambiente de chão de fábrica levando-se em conta condições de produção em ambiente fabril e lotes fabricados em quantidades definidas pelos programas de produção correspondentes.

Considerando-se as operações encadeadas para obter-se uma determinada característica da peça obra, determina-se as dimensões máxima e mínima, assim como os seus respectivos sobremetais a serem removidos entre uma operação e operação subsequente a ela encadeada pelo roteiro de manufatura.

### 1 - Dimensões externas e internas

O sobremetal mínimo necessário  $S_n$  para uma operação de usinagem determina a viabilidade de se obter uma característica de produto entre duas operações encadeadas (dimensão, dureza superficial, etc. se ter a peça com qualidade naquela operação. É sabido, porém, que as operações são executadas levando-se em conta a obtenção de tolerâncias operacionais, com as características do sistema Máquina- Ferramenta-Dispositivo-Peça Obra, conforme foi desenvolvido no parágrafo 4

Adotando-se, para simplificar, a figura 6.12, onde são consideradas duas operações subseqüentes 1 e 2 em uma dimensão externa unilateral de uma peça, e sendo:

$T_1$  – tolerância da operação 1

$T'_1$  – tolerância possível de ser obtida na máquina ferramenta da operação 1

$T_2$  – tolerância da operação 2

$T'_2$  – tolerância possível de ser obtida na máquina ferramenta da operação 2

$S_m$  – sobremetal mínimo entre as operações 1 e 2

$S_M$  – sobremetal máximo entre as operações 1 e 2

$D_{1M}$  – máxima dimensão na operação 1

$D_{1m}$  – mínima dimensão na operação 1

pode-se afirmar que:

$$T_1 = D_{1M} - D_{1m}$$

$$D_{1m} = D_{2M} + S_m$$

$$D_{1M} = D_{2m} + T_1 + S_m + T_2$$

sendo:

$$T_1 + T_2 + S_m = S_M$$

tem-se:

$$D_{1M} = D_{2m} + S_M$$

ou seja:

- A dimensão maior da operação sendo executada será igual à dimensão menor da operação anterior retirando-se o sobremetal mínimo;
- A dimensão menor da operação sendo executada será igual à dimensão maior da operação precedente retirando-se o sobremetal máximo permissível pelas tolerâncias de fabricação.
- O sobremetal máximo será o sobremetal mínimo acrescido das tolerâncias operacionais das operações sendo feita e precedente.

Há ainda que se ressaltar que:

$$T_2 \geq T'_2$$

ou seja:

- a tolerância da operação deve ser sempre maior que a tolerância possível de ser conseguida economicamente com o equipamento que se tem à disposição.

Esta condição é fundamental para que a qualidade final da peça seja respeitada.

Além disso, deve ser observado que

$$T'_1 = T'_1$$

ou seja, a tolerância operacional da operação precedente deve ser igual à possível de ser obtida com o equipamento à disposição, a fim de se minimizar custos e maximizar a produtividade.

Não há necessidade de se utilizar, em operações intermediárias, tolerâncias menores que as disponíveis pelas máquinas de produção, a menos de alguma exigência do processo de fabricação.

Para operações com remoção de material dupla (bilateral), como o caso de usinagem de peças de revolução, como eixos, varões, etc., as equações serão:

$D_{1m} = D_{2M} + 2S_m$
$D_{1M} = D_{2m} - 2S_M$
$S_M = S_m + T_1 + T_2$

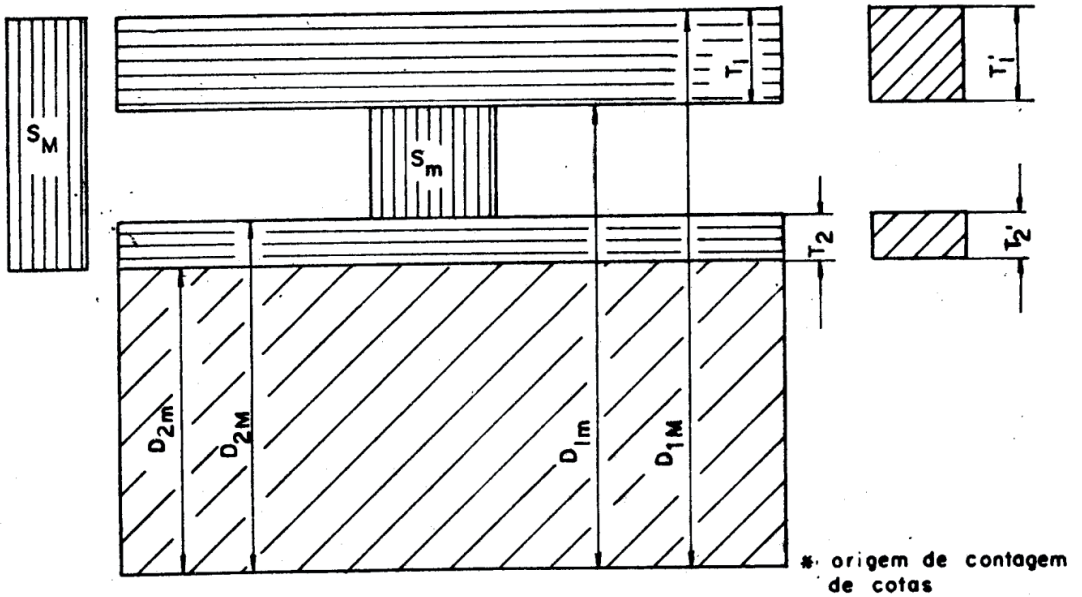


Figura 6.12 - Tolerâncias operacionais e sobremetas em operações de usinagem externas  
 Fonte: Elaborado pelo autor.

Para dimensões internas unilaterais, como ressaltos, canais, etc. e usando-se o mesmo raciocínio desenvolvido acima (figura 6.13), tem-se:

$D_{1m} = D_{2M} + S_M$
$D_{1M} = D_{2m} - S_m$
$S_M = S_m + T_1 + T_2$

Onde:

$D_{1m}$  - Dimensão mínima na operação 1

$D_{1M}$  - Dimensão máxima na operação 1

$D_{2m}$  - Dimensão mínima na operação 2

$D_{2M}$  - Dimensão máxima na operação 2

$S_M$  - Sobremetal máximo removido na operação 2

$S_m$  - Sobremetal mínimo removido na operação 2

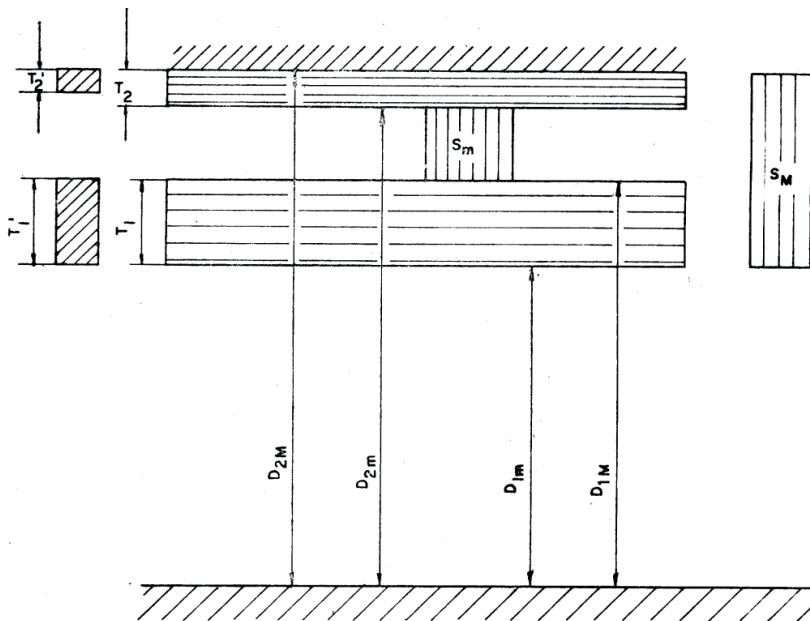


Figura 6.13 - Tolerâncias operacionais e sobremetais em operações internas  
Fonte: Elaborado pelo autor.

Para operações com remoção de material dupla (bilateral), como o caso de usinagem de peças assimiláveis a sólidos de revolução como furos, as equações serão:

$D_{1m} = D_{2M} - 2S_M$
$D_{1M} = D_{2m} - 2S_M$
$S_M = S_m + T_1 + T_2$

## 2 - Dimensões de face

Para o caso de dimensões de face, valem as mesmas formulações já desenvolvidas nos parágrafos anteriores tomando-se o cuidado que a contagem das cotas deve ser feita sempre a partir da mesma origem, para efeito de sobremetal e tolerância operacional. Assim, para o caso da figura 6.14, onde se considera o torneamento das duas faces A e B do ressalto, sendo C a face de referência para encosto, partindo dela todas as cotas intermediárias da operação. Adotando-se duas operações encadeadas 1- operação precedente e 2 – operação sendo executada, tem-se:

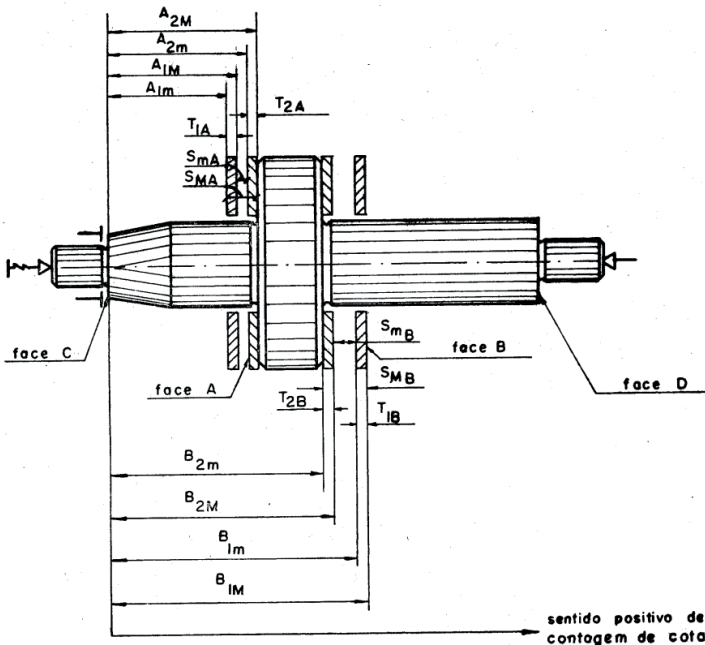


Figura 6.14 - Tolerâncias e sobremetals na usinagem de face de um eixo  
Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim, tem-se:

### Face A

$$A_{1M} = A_{2m} - S_{m_A} \Rightarrow A_{2m} = A_{1M} + S_{m_A}$$

$$A_{1m} = A_{2M} - S_{M_A} \Rightarrow A_{2M} = A_{1m} + S_{M_A}$$

$$S_{M_A} = S_{m_A} + T_{1A} + T_{2A}$$

### Face B

$$B_{1M} = B_{2m} - S_{MB} \rightarrow B_{2m} = B_{1M} + S_{MB}$$

$$B_{1m} = B_{2M} - S_{mB} \rightarrow B_{2M} = B_{1m} + S_{mB}$$

$$S_{MB} = S_{mB} + T_{1B} + T_{2B}$$

Nota-se que as equações acima representam situações idênticas aquelas já formuladas para dimensões externas, somente variando-se a composição dos sobremetais devido à origem de contagem de cotas.

Assim, adotando-se o *sentido positivo de contagem de cota aquele que vai da referência até a superfície usinada*, nota-se que para a Face A, o *sentido de aumento das cotas coincide com a sequência das operações*, ou seja, a operação 2 será feita posteriormente à operação 1, portanto, os sobremetais devem ser somados às cotas da operação 2 para se obter as respectivas cotas da operação 1.

Para Face B, as cotas da operação 1 são obtidas por subtração dos sobremetais máximos e mínimos às cotas correspondentes da operação 2. Nota-se também que os valores dos sobremetais máximos e mínimos invertem-se com relação ao caso anterior.

Pode-se notar que a contagem de cotas tomando-se como referência a Face D, as equações da Face B, se tornariam iguais à face A quando as cotas forem estabelecidas a partir da Face C. Portanto, pode-se afirmar que:

*Os dimensionamentos de cotas de face, quando o sentido positivo coincide com a sequência das operações de usinagem, para uma determinada operação “i” de uma sequência de “n” operações será:*

$L_{1m} = L_{i-1M} + S_{im}$
$L_{1M} = L_{i-1m} + S_{iM}$
$S_{1M} = S_{im} + T_{i-1} + T_1$

*Quando o sentido positivo de contagem de cotas é contrário à sequência das operações de usinagem, as dimensões de face serão:*

$L_{1M} = L_{i-1m} - S_{im}$
$L_{1m} = L_{i-1M} - S_{iM}$
<b><math>S_{1B} = S_{i-1m} + T_{1-1} + T_i</math></b>

Em que:

- $L_{im}$  – mínima dimensão na i-ésima operação
- $L_{iM}$  – máxima dimensão na i-ésima operação
- $L_{i-1M}$  - máxima dimensão na operação precedente
- $L_{i-1m}$  - mínima dimensão na operação precedente
- $S_{im}$  – sobremetal mínimo da operação
- $S_{iM}$  – sobremetal máximo da operação

A formulação acima definida poderá ser utilizada para determinação de cotas operacionais de processo para qualquer operação que envolva usinagens de face, tais como:

- 1) desbaste e acabamento em torno
- 2) usinagem inicial em torno e acabamento em retífica
- 3) fresamento em desbaste e acabamento
- 4) plainamento em desbaste e acabamento
- 5) retificação e polimento de faces, etc.

### 3 - Engrenagens

Em usinagem de engrenagens, o problema torna-se diferente das usinagens normais de peças cilíndricas e planas.

Neste caso, a preocupação é reproduzir a curva envolvente com a maior precisão possível para evitar problemas tais como ruídos de engrenagem, quebra ou desgaste excessivo dos dentes, etc.

São adotados diversos processos de usinagem de engrenagens, sendo a mais comum o corte dos dentes através dos processos de geração (sistema “hob” ou “shaper”), com acabamento posterior para a reprodução do perfil de envolvente através de “shaving” (resquetemanto), retífica e “honing”.

Em todos os casos, no corte do dente, a ferramenta (“hob” ou “shaper”) é projetada para deixar para a operação de acabamento, o sobremetal da cabeça até o diâmetro de início que envolve.

Como em casos de engrenagens, o sobremetal é calculado por flancos de dentes e devido ao processo de geração, podemos afirmar que, segundo o raciocínio já desenvolvido anteriormente (figura 4.58):

$$S_{M_{\text{flanco}}} = \frac{L_{i-1m} - L_{2m}}{2}$$

$$S_{m_{\text{flanco}}} = \frac{L_{1m} - L_{2M}}{2}$$

$$S_{m_{\text{flanco}}} \geq S_{n_{\text{flanco}}}$$

Onde o sobremetal  $S_{m_{\text{flanco}}}$  necessário para a usinagem deverá corrigir:

- 1) desvios de perfil
- 2) desvios de rugosidade superficial
- 3) abaulamento do perfil do dente



## 4) deformação de tratamento térmico

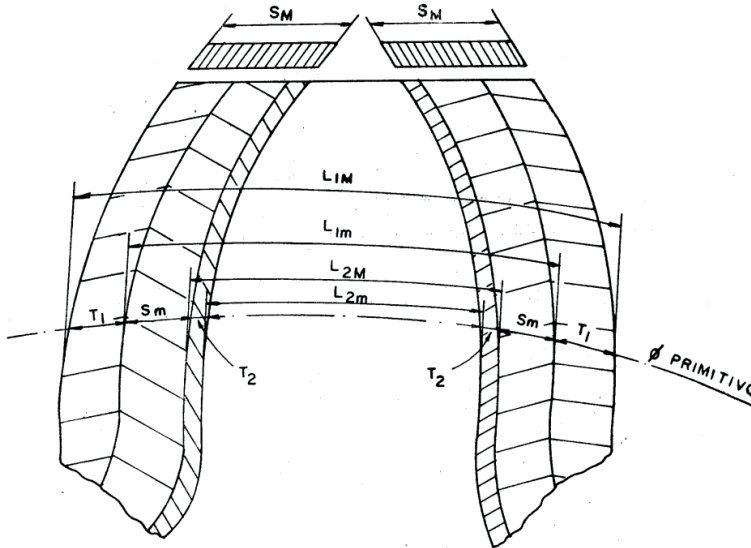


Figura 6.15 - Determinação de sobremetais e tolerâncias operacionais na fabricação de engrenagens

Fonte: Elaborado pelo autor.

Neste caso, quando se tratar de acabamento através de “shaver”, cuja operação é feita *antes* de tratamento térmico, há necessidade de correção de perfil do cortador para compensar as deformações de tratamento térmico.

Naturalmente, estes valores são conseguidos através de experiências para verificação de “tombamento” do dente com relação ao perfil original. Para o acabamento com retífica, não existe esse problema, pois o rebolo é perfilado para reproduzir o perfil da envolvente.

### 6.6 Sobremetais totais – sequência de operações encadeadas

As operações que compõem o roteiro de manufatura devem ser encadeadas segundo regras de precedência, as quais se utilizam dos conhecimentos dos processos correspondentes. As regras de precedência serão desenvolvidas em parágrafo posterior.

Tais operações podem ser exemplificadas como:

- forjamento → desbaste em torno → acabamento em torno → retífica final
- fundição → fresamento em desbaste → fresamento em acabamento → retífica de face
- furação → alargamento → retífica interna → brunimento, etc.

Afim de se dimensionar os sobremetais entre as respectivas operações, e consequentemente o sobremetal total removido em todo o roteiro de manufatura, deve-se considerar o encadeamento entre as respectivas operações e As tolerâncias operacionais dessas operações.

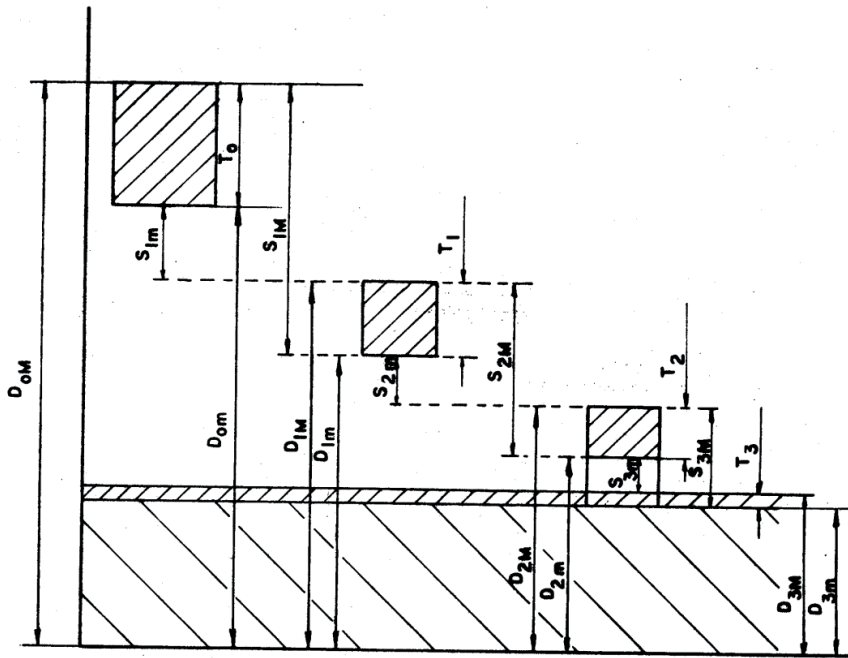


Figura 6.16 - Encadeamento de quatro operações do roteiro de manufatura composto de 4 operações, para dimensões externas  
Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando-se o exemplo apresentado na figura 6.16, onde se caracteriza o seguinte encadeamento:

forjamento → desbaste em torno → acabamento em torno → retífica final

tem-se uma sequência ou roteiro de operações composto de 4 operações encadeadas para se usinar a peças desde as suas especificações iniciais (operação de forjamento) , até as suas dimensões finais (retífica final), pode-se desenvolver :

operação 0 – forjamento ; operação 1 – torneamento em desbaste

$D_{0m} = D_{1M} + 2S_{m01}$
$D_{0M} = D_{1m} - 2S_{M01}$
$S_{M01} = S_{m01} + T_1 + T_0$

Onde:  $D_{0M}$  - Dimensão máxima da operação 0 – forjamento

$D_{0m}$  - Dimensão mínima da operação 0 – forjamento

$D_{1M}$  – Dimensão máxima da operação 1- torneamento em desbaste

$D_{1m}$  - Dimensão mínima da operação 1 – torneamento em desbaste

$S_{M01}$  . Sobremetal máximo removido entre as operações 0 e 1

$S_{m01}$  – Sobremetal mínimo removido entre as operações 0 e 1

$T_0$  - Tolerância da operação 0 – forjamento

$T_1$  - Tolerância da operação 1 – torneamento m desbaste

a) operação 1 – torneamento em desbaste; operação 2 – torneamento em acabamentoo

$D_{1m} = D_{2M} + 2S_{m12}$
$D_{1M} = D_{2m} + 2S_{M12}$
$S_{M12} = S_{m12} + T_2 + T_1$

Onde:  $D_{2M}$  - Dimensão máxima da operação 2 – torneamento em acabamentoo

$D_{0m}$  - Dimensão mínima da operação 2 – torneamento em acabamentoo

$D_{1M}$  – Dimensão máxima da operação 1- torneamento em desbaste

$D_{1m}$  - Dimensão mínima da operação 1 – torneamento em desbaste

$S_{M12}$  - Sobremetal máximo removido entre as operações 1 e 2

$S_{m01}$  – Sobremetal mínimo removido entre as operações 1 e 2

$T_1$  - Tolerância da operação 1 – torneamento em desbaste

$T_2$  - Tolerância da operação 2 – torneamento em acabamento

b) operação 2 – torneamento em acabamento ; operação 3 – retificação

$D_{2m} = D_{3M} + 2S_{m23}$
$D_{2M} = D_{3m} + 2S_{M23}$
$S_{M23} = S_{m23} + T_2 + T_3$

Onde:  $D_{2M}$  - Dimensão máxima da operação 2 – torneamento em acabamento

$D_{0m}$  - Dimensão mínima da operação 2 – torneamento em acabamento

$D_{3M}$  – Dimensão máxima da operação 3- retificação

$D_{3m}$  - Dimensão mínima da operação 3 – retificação

$S_{M23}$  - Sobremetal máximo removido entre as operações 2 e 3

$S_{m23}$  – Sobremetal mínimo removido entre as operações 2 e 3

$T_3$  - Tolerância da operação 3 – retificação

$T_2$  - Tolerância da operação 2 – torneamento em acabamento

Analisando-se as relações acima, e considerando as quatro operações encadeadas 1, 2, 3, 4 da figura 6.16, pode dizer que:

$$S_{MT} = S_{1M} + S_{2m} + S_{3M}$$

$$S_{3M} = S_{3M} + T_3 + T_2$$

$$S_{1M} = S_{1m} + T_0 + T_1$$

Os sobremetals máximos e mínimos entre as operações 1, 2, 3, 4 são:

$$S_{MT} = S_{1m} + S_{2m} + S_{3m} + T_0 + T_1 + T_2 + T_3$$

$$S_{mT} = S_{1m} + S_{2m} + S_{3m} + T_1 + T_2$$

Generalizando-se, e supondo um processo de manufatura composto de “n” operações, externas, onde:

n – operação final

q - operação inicial

pode-se definir, para uma operação **i**:

$D_{1M} = D_{i-1m} + S_{im}$
$D_{1m} = D_{i-1M} + S_{iM}$
$S_{1M} = S_{im} + T_1 + T_{i-1}$

Onde:

$D_{im}$  – dimensão mínima da peça na i-ésima operação

$D_{iM}$  – dimensão máxima da peça na i-ésima operação

$D_{i-1M}$ - dimensão máxima da peça na operação precedente

$D_{i-1m}$  - dimensão mínima da peça na operação precedente

$S_{Mi}$  – sobremetal operacional máximo

$S_{mi}$  – sobremetal operacional mínimo

Considerando agora todas as operações do roteiro de manufatura, pode-se concluir que:

$$S_{MT} = D_{qM} - D_{mn} = \sum_{i=q}^n S_{mi} + \sum_{i=q}^n T_i$$

$$S_{mT} = D_{qm} - D_{Mn} = \sum_{i=q+1}^n S_{mi} + \sum_{i=q+1}^{n-1} T_i$$

$$S_{MT} = S_{mT} + T_q + T_n$$

Onde:

$S_{MT}$  = sobremetal máximo removido nas “n” operações do roteiro de manufatura

$S_{mT}$  = sobremetal mínimo removido nas “n” operações do roteiro de manufatura

$D_{Mn}$ ,  $D_{mn}$  = dimensões máximas e mínimas da última operação

$D_{qM}$ ,  $D_{qm}$  = dimensões máximas e mínimas da primeira operação

$S_{mi}$  = sobremetal mínimo possível de ser removido entre operação em execução e a precedente

Analogamente, para dimensões internas unilaterais, conforme figura 6.16:

$D_{1m} = D_{i-1M} + S_{im}$
$D_{1M} = D_{i-1m} + S_{iM}$
$S_{1M} = S_{im} + T_1 + T_{i-1}$

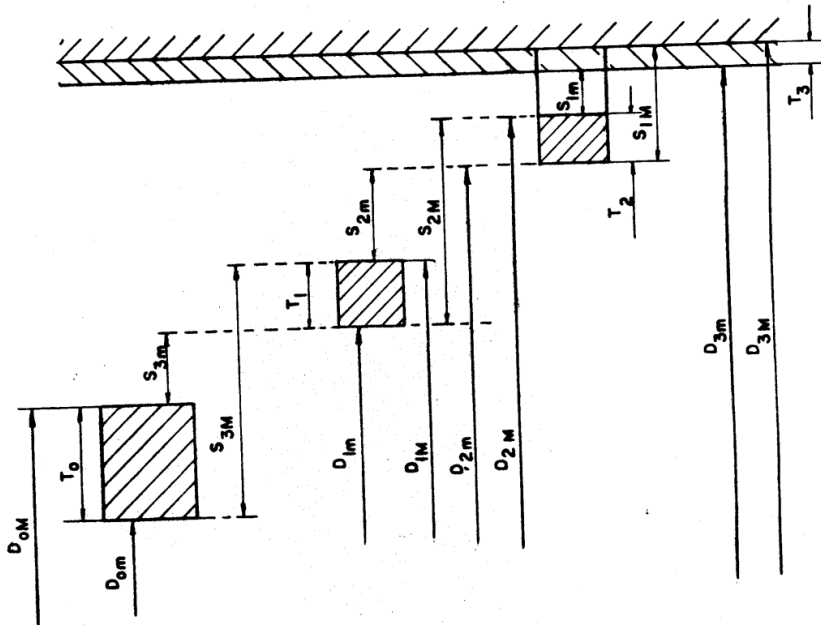


Figura.6-17 - Encadeamento de quatro operações encadeadas do roteiro de manufatura composto de  $n$  operações, para dimensões internas

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o caso de operações internas, nota-se que as equações para os sobremetais totais máximos são os mesmos que para operações externas. Conclui-se, portanto, que as equações 4.31 são as equações gerais para determinação dos sobremetais totais máximos e mínimos de uma sequência de operações de usinagem.

Exemplificando, o roteiro de fabricação de uma superfície interna para um bloco de motor é:

Operação 0 – superfície de peça fundida

Operação 1 – desbaste de face em operação de frezamento

Operação 2 – acabamento de face em operação de frezamento

Operação 3 – acabamento fina de face em operação de retificação interna

Para superfícies bi laterais internas, como superfícies usinadas de furos de engrenagens, polias, camisas de blocos de motores a combustão interna, as equações serão:

$$D_{3m} = D_{0M} + 2T_0 + 2S_{1m} + 2T_1 + 2S_{2m} + 2T_2 + 2S_{3m}$$

$$D_{3M} = D_{0M} + 2T_0 + 2S_{1m} + 2T_1 + 2S_{2m} + 2T_2$$

$$S_{mT} = S_{1m} + S_{2M} + S_{3m}$$

$$S_{MT} = S_{1m} + S_{2M} + S_{3m} + T_0 + T_3$$

Exemplificando, no roteiro de fabricação de uma superfície interna do furo de uma engrenagem, tem-se:

Operação 0 – furo na peça obtida por forjamento

Operação 1 – desbaste do furo forjado em operação de torneamento

Operação 2 – acabamento de furo torneado em operação de brochamento

Operação 3 – acabamento final de furo brochado em operação de retificação interna

A partir das equações acima, pode-se dizer que:

a) o sobremetal mínimo total  $S_{mT}$  é a soma dos sobremetals mínimos e máximo das operações encadeadas.

b) O sobremetal máximo total  $S_{MT}$  é a resultante da soma do sobremetal mínimo  $S_{mT}$  mais As tolerâncias da operação inicial  $T_0$  e final  $T_3$ .

Generalizando-se, os sobremetals mínimo e máximo, para um roteiro de fabricação composto de  $n$  operações, sendo  $1$  a operação inicial,  $n$  a operação final e  $i$  uma operação qualquer do roteiro, as equações serão:

a) superfícies unilaterais externas:

$$D_{i-1,M} = D_{im} + T_i + S_m + T_{i-1}$$

$$D_{i-1,m} = D_{iM} + S_m$$

$$S_M = S_m + T_{i-1} + T_i \quad (5.11)$$

b) superfícies bi laterais externas:

$$D_{im} = D_{i-1M} - 2S_M$$

$$D_{iM} = D_{i-1m} - 2S_m$$

c) superfícies unilaterais internas:



$$D_{im} = D_{i-1,M} + 2S_m$$

$$D_{iM} = D_{i-1,m} + 2S_M$$

c) superfícies bi laterais internas:

$$D_{im} = D_{i-1,M} + 2S_m$$

$$D_{iM} = D_{i-1,m} + 2S_M$$

Para os dois casos:

$$S_M = S_m + T_{i-1} + T_i$$

Onde:

$D_{im}$  – dimensão mínima da peça na  $i$ -ésima operação

$D_{iM}$  – dimensão máxima da peça na  $i$ -ésima operação

$D_{i-1M}$  – dimensão máxima da peça na operação precedente

$D_{i-1m}$  – dimensão mínima da peça na operação precedente

$S_{Mi}$  – sobremetal operacional máximo

$S_{mi}$  – sobremetal operacional mínimo

$T_{i-1}$  – Tolerância operacional da operação precedente

$T_i$  – Tolerância operacional da  $i$ -ésima operação.

A formulação desenvolvida atende a necessidade de determinação de cotas entre operações encadeadas de um roteiro de fabricação. Atende também a determinação de sobremetals entre operações encadeadas neste roteiro de fabricação.

## 7 TRATAMENTOS TÉRMICOS

### 7.1 Introdução

Os tratamentos térmicos de peças assimiláveis a sólidos de revolução compreendem operações de muitos tipos diferentes. Todos eles têm o propósito comum de produzir a microestrutura necessária que resultará em propriedades mecânicas desejáveis na peça. As necessidades de especificação de operações de tratamento térmico no roteiro de manufatura provem das especificações metalúrgicas atribuídas as peças, como dureza superficial dos materiais, características dos materiais, etc.

Os processos de tratamento térmico são divididos em duas classes principais:

### 7.2 Tratamentos térmicos para usinabilidade

É óbvia a importância da usinabilidade para a peça em fabricação, visto que seu efeito faz-se sentir na vida da ferramenta e nos custos de fabricação. Um aço para eixos e engrenagens bem selecionado deve ter boa usinabilidade, boas propriedades mecânicas e baixa distorção em tratamentos térmicos.

Usinabilidade é a propriedade de um material que permite o seu corte economicamente nas dimensões, tolerâncias e acabamento necessários no produto final de modo econômico.

Os principais tratamentos térmicos utilizados para melhorar a usinabilidade são:

#### a - Recozimento

Os aços são recozidos para obter propriedades físicas e mecânicas para aumentar a usinabilidade, alterar a microestrutura, aliviar tensões e remover gases.

Há diferentes tipos de recozimento, que são assim definidos:

#### a.1 - Recozimento total

É um processo brando na qual o aço é aquecido a uma temperatura acima da faixa de transformação (760°C a 870°C), mantido nesta temperatura suficiente para completar a transformação em austenita e resfriado vagorosamente para uma temperatura abaixo da faixa de transformação. Aços com % de carbono abaixo de 0,83% terão estrutura de perlita e ferrita, enquanto que aços com mais de 0,83% C terão estrutura perlítica e cementítica.

#### a.2 - Recozimento isotérmico

Esta é uma variação do recozimento total que resulta num controle melhor da formação de perlita. A estrutura perlítica resultante tem melhor usinabilidade em aços com 0,20 a 0,60% de C.

As operações de usinagem que são facilitadas pela estrutura perlítica resultante do recozimento isotérmico incluem brochamento, “shaving” de dentes de engrenagem, fresamento e furação.

#### b- Esferoidização

Esta operação consiste em se aquecer o aço à temperatura abaixo da temperatura de transformação, mantê-lo a esta temperatura por tempo determinado, deixando-o o esfriar. A esferoidização produz forma esférica dos carbetos na estrutura do aço. Os aços esferoidizados tem aumento de usinabilidade nos aços de alto carbono (0,40% ou mais).

#### c - Alívio de tensões

Este processo reduz tensões internas residuais que podem causar problemas em serviço ou comprometem a estabilidade dimensional. O alívio de tensões é feito elevando-se o aço a temperatura determinada durante tempo apropriado. A temperatura e o tempo de permanência naquela temperatura dependem da composição do aço e das especificações do alívio de tensões.

O alívio de tensões pode ser feito entre operações de usinagem, ou ainda após uma operação de tratamento térmico para aliviar as tensões introduzidas durante a operação de tratamento térmico previamente feita. Os alívios de tensões são comuns entre as operações de acabamento e desbaste em torneamento, ou ainda entre duras operações de brochamento, a fim de possibilitar a calibragem das medidas necessárias na operação de acabamento.

Várias experiências, no entanto, mostraram que sua influência é praticamente nula nas distorções de tempera, nos aços típicos de engrenagens (série cromo-níquel e baixo carbono).

#### d- Normalização

Neste processo, o aço é aquecido a uma temperatura de cerca de 400°C, acima da temperatura de transformação, deixando-o esfriar para a temperatura ambiente. Os objetivos da normalização são obter-se estrutura homogênea e livre de tensões internas e com tamanho de

grão determinado. As estruturas obtidas são perlíticas e ferríticas (aços de baixo carbono), perlíticas (aços de médio carbono) e perlíticas e cementíticas (aços de alto carbono).

Em aços de baixo carbono, a normalização deve deixar o aço suficientemente suave para usinagem e ainda prepará-lo para operações seguintes tais como carbonetação e tempera.

A normalização é uma operação similar ao recozimento, mas produz aço com maior dureza superficial, com melhores propriedades mecânicas e menor ductilidade que o recozimento, devido ao resfriamento mais rápido.

### 7.3 Tratamentos térmicos para propriedades finais

São aplicados dois tipos diferentes de tratamento térmicos para eixos e engrenagens de aço. São eles a tempera total e carbonetação e tempera. Existem alguns tipos de carbonetação e tempera que serão detalhados a seguir. Tempera por indução e por chama são também aplicados para o tratamento térmico para aumento de propriedades finais de peças.

#### a – Tempera total

Este processo é utilizado para aços de médio carbono (0,40% a 0,50%) quando há necessidade de se aliar uma alta precisão dimensional a propriedades mecânicas elevadas. Na tempera total, ao inverso da carbonetação e tempera, distorções provocadas pelo aquecimento final são evitadas.

A tempera total é obtida por aquecimento da peça em forno em temperatura superior a 800°C, resfriando-a rapidamente, para colocá-la à dureza necessária. Segue-se o resfriamento, cujo objetivo é resfriar rapidamente o aço com velocidade suficiente para se obter a estrutura martensítica.

Se o esfriamento não for feito em velocidade suficiente, ocorrerá transformação parcial, havendo a formação de outras estruturas que reduzirão a dureza e alterarão as propriedades mecânicas.

Os meios de esfriamento normalmente utilizados são o ar, óleo, água e salmoura, sendo que o ar é o meio mais lento e a salmoura o mais severo. A escolha correta do meio de esfriamento depende do aço e da espessura da seção. Todas as superfícies da peça devem entrar em contato com o meio de resfriamento ao mesmo tempo para evitar distorções. As engrenagens

são algumas vezes esfriadas com plugs, clamps, em dispositivos especiais ou ainda prensas para evitar deformações, como prensas “Gleason”.

Em alguns aços de alta liga há tendência para reter austenita após o esfriamento. Com esses aços é algumas vezes vantajoso esfriá-lo a menos de 500°C e a seguir temperá-los. Este, procedimento assegura a transformação completa de austenita em martensita.

#### b – Martempera

Este tipo de esfriamento diminui distorções e reduz tensões em peças que não tem seções uniformes. Consiste em um primeiro esfriamento da peça que foi aquecida à temperatura de transformação, em óleo quente ou sal a 200°C ou 300°C. As peças são então mantidas a essa temperatura por cerca de 10 minutos, de acordo com o tamanho, e a seguir deixados esfriar ao ar a temperatura ambiente,

São também usadas algumas modificações da martempera. É o mesmo tipo de tratamento, somente que o meio de tempera é de baixa temperatura, ou seja, cerca de 100°C a 150°C. A temperatura mais baixa permite a tempera de certos aços que não seriam totalmente endurecidos nas altas temperaturas.

#### c – Cementação e tempera

É a nomenclatura empregada para definir e descrever muitos tipos diferentes de operações de tratamento térmico, todas elas com o mesmo objetivo: obter uma superfície resistente ao desgaste, contendo ainda um núcleo mole e dútil, capaz de absorver cargas com choque sem quebrar.

#### d – Cementação

A cementação é provavelmente o método mais facilmente operacionalizado entre os utilizados. Existem diferentes tipos de cementação: gasosa, líquida e em “caixa”. Em cada tipo, o objetivo é elevar a quantidade de carbono superficial, crescendo, portanto, a porcentagem de carbono superficial que permite uma dureza superficial maior após a tempera. Obviamente a cementação é empregada para aços de baixo carbono, usualmente de 0,10 a 0,25%C.

#### d.1 – Cementação a gás

Na cementação a gás, as peças são aquecidas a temperatura próxima a 900°C em atmosfera que contém gases carburantes. Os gases são fornecidos diretamente, ou obtidos pela vaporização de líquidos hidrocarbonetos. O tempo durante o qual as peças são expostas a esta atmosfera determina a profundidade de penetração. Este método pode ser utilizado para cascas de penetração leves ou pesadas.

#### d.2 – Carbonitreção a gás

O processo é similar ao de cementação a gás. A diferença é que estão presentes na atmosfera do forno simultaneamente carbono e nitrogênio. O nitrogênio é conseguido pela introdução de amônia no forno. A carbonitreção resulta numa casca dura e resistente, usualmente de aproximadamente 0,75mm de profundidade.

#### d.3 – Cementação líquida

Este método de cementação consiste em aquecimento da peça em banho de sal, acima da temperatura de transformação mantendo-a a esta temperatura pelo tempo necessário, e a seguir resfriada. Enquanto a peça está imersa no banho, o carbono é difundido no metal.

Há dois tipos de cementação líquida: com baixa e com alta penetração de carbono. Para o primeiro tipo, a temperatura do banho oscila entre 800°C a 850°C. A profundidade da casca obtida será acima de 0,75mm. Com a penetração profunda, a temperatura do banho é acima de 950°C e a profundidade de penetração de 6mm.

A vantagem desses processos são cementação bastante uniforme e baixa distorção das peças.

#### d.4 – Cementação sólida

Neste método de cementação as peças são envoltas em compostos carbonetados sólidos em caixas resistentes ao calor antes de colocá-las num forno de tratamento térmico. A temperatura é elevada a 900°C a 950°C e a seguir mantida para conseguir a profundidade de penetração desejada. Durante a carburação sólida, o dióxido de carbono é formado pelo aquecimento de carbonatos sólidos, reagindo imediatamente com o carbono em composição para

formar o monóxido de carbono, que irá penetrar superficialmente na peça. O carbono sólido pode ser carvão, coque ou sal virgem.

Em todos os casos de cementação discutidos, a profundidade de penetração aumenta simultaneamente com a temperatura e o tempo de exposição. O aumento da profundidade de penetração é menor à medida que a temperatura aumenta.

#### Profundidade da casca por cementação

Existem dois métodos para definir-se a profundidade de tempera:

- a) profundidade total
- b) profundidade efetiva

São termos que geralmente se confundem.

#### Profundidade total

É a distância perpendicular da superfície do aço até ponto que as propriedades físicas e químicas entre a casca e o núcleo não possam mais ser distinguidos.

A profundidade total poderia ser utilizada para definir a profundidade desejável, mas é normalmente usada quando é necessária profundidade de casca bastante leve.

#### Profundidade efetiva

É a distância perpendicular à superfície endurecida até a maior profundidade onde a dureza especificada é ainda mantida (geralmente 50 RC). A profundidade efetiva de casca será sempre maior que a profundidade total se a dureza do núcleo for menor que 50 RC.

#### e – Nitretação e tempera

Este processo expõe o aço a uma fonte de nitrogênio livre à temperatura de 500°C a 570°C. Os aços a serem endurecidos por este processo devem ter elementos de liga para carbonos com o nitrogênio para formar nitretos duros.

O alumínio é o mais forte formador de nitretos, sendo ainda benéficos o cromo, vanádio e molibdênio. Outros aços liga como ABNT 4140, 5140, 6150 podem ser nitretados.

A nitretação aumenta a resistência ao desgaste, provoca resistência à fadiga e distorções menores que outros tipos de endurecimento superficial. Todos os aços temperáveis devem ser

endurecidos e temperados antes da nitretação. A profundidade necessária de cascas nitretadas depende da natureza das peças, espessura do dente, tamanho, resistência ao desgaste e outras propriedades. Esta variação da formação da casca é muito mais lenta do que a formação da casca cementada.

São usados os processos de nitretação líquida e gasosa. A temperatura varia de 500°C até 550°C. A nitretação líquida usa cianeto líquido como meio de tempera, o que adiciona ao mesmo tempo nitrogênio uma pequena quantidade de carbono à superfície do aço. A nitretação gasosa emprega gás, usualmente amônia, que liberta o nitrogênio necessário para a superfície da peça.

A nitretação não provoca praticamente nenhuma distorção. Por isso, geralmente, não é feita nenhuma usinagem após o tratamento térmico.

Se for necessário uma retífica ou “honing” após a nitretação, o sobremetal a ser removido deve ser menor possível porque a dureza da casca nitretada cai muito mais rapidamente que em uma casca cementada.

Devido este fato, remoções de material em nitretação correspondentes a que seria feitas em cementação provocaria eliminação da camada endurecida. Apesar da camada ser muito fina, engrenagens nitretadas tem bom desempenho e muitas aplicações críticas, visto que a dureza altíssima da casca nitretada compensa a sua baixa penetração.

#### e.1 - Nitretação em banho de sal (Tufftride)

É um processo típico para metais ferrosos que aumenta os limites de endurecimento e a resistência ao desgaste. O banho de sal consiste em cianetos e compostos cianetados que liberam quantidades específicas de carbono e nitrogênio em presença de materiais ferrosos, como o aço e ferro fundido. O processo é feito após usinagem e tratamento térmico.

#### f – Tempera por chama (Flame hardening)

A tempera por chama é o processo de tratamento térmico que permite endurecimentos localizados ou seletivos nos dentes de engrenagens, eixos ou outras peças onde é desejável endurecer-se somente uma parte das peças por aplicação seletiva da chama com alta temperatura na área a ser endurecida. A temperatura da área a ser tratada é elevada rapidamente acima da



temperatura de transformação e a seguir, as peças são esfriadas em óleo ou água, para se obter as propriedades desejadas.

Este processo pode ser usado para ferro fundido, ferro maleável ou qualquer aço que possa ser temperado por tratamento térmico em forno. Aços carbonos com 0,35 a 0,50% são os materiais mais utilizados para a tempera por chama. Isto permite redução de custos em muitos casos.

O equipamento para tempera por chama pode utilizar qualquer um dos gases inflamáveis, tais como: gás natural, acetileno, etc., dependendo naturalmente do custo de fabricação. São ainda utilizados diversos tipos de maçaricos e bicos, que dependem da dureza, profundidade de penetração. Comparado com a tempera por indução a tempera por chama requer investimento de capitais menores. Além disso é um processo mais flexível para grande variedade de peças em tamanho e forma, além de conseguir atingir contornos complicados de peça.

Entretanto, o processo de chama é mais lento que a tempera por indução, oferece controles limitados de aquecimento da área aquecida, e um alto custo de energia por peça.

#### g – Tempera por Indução

Este processo produz endurecimento localizado através de aquecimento controlado no local a ser aquecido. Uma corrente alternada de alta frequência (1000 ciclos por segundo, ou mais) é usada para induzir um fluxo de corrente, aquecendo, então, a peça. Devido a um fenômeno elétrico conhecido como “efeito de superfície”, a profundidade da área aquecida é inversamente proporcional à frequência utilizada.

Para dentes de módulos pequenos, é possível conseguir-se que estes sejam totalmente esperados.

A tempera por indução é o mais rápido meio para o aquecimento de uma engrenagem. Os tempos de aquecimento de uma engrenagem. Os tempos de aquecimento variam de 2 a 120 segundos. Devido a essa rapidez, as superfícies ficam livres de descarbonetação, e o núcleo do material mantém suas propriedades originais.

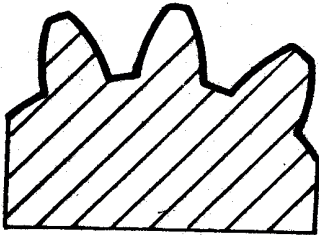
Do mesmo modo que a tempera por chama, a tempera por indução é usada para aços carbono ou aços liga, que provocam uma boa dureza de casca, aliada a propriedades do núcleo

mantidas inalteradas. A tempera por indução pode ainda ser aplicada para o endurecimento de dentes em peças construídas de ferro maleável perlítico.

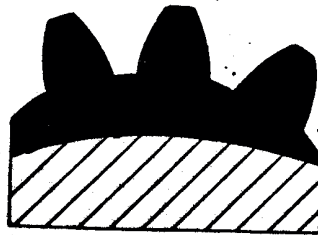
A figura 7.1 mostra os tipos principais de temperas em dentes de engrenagens pelos processos de chama e por indução.

### Tipos de perfis para tempera por chama e por indução

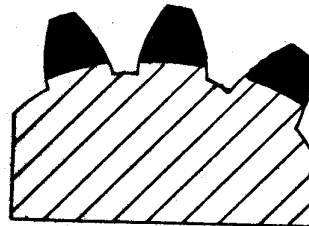
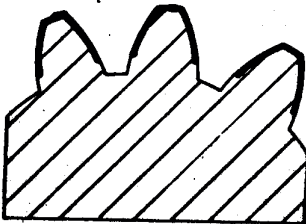
#### Endurecimento de contorno



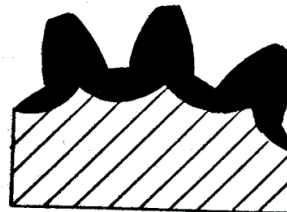
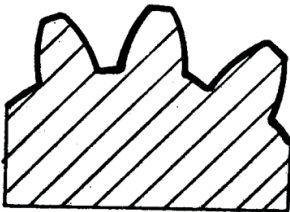
#### Endurecimento total



#### Endurecimento do perfil do dente



#### Endurecimento do flanco



#### Endurecimento até a raiz do dente

Figura 7.1 - Tempera por indução em dentes de engrenagem

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 7.4 Consequências dos tratamentos térmicos

Vários são os problemas que ocorrem durante a usinagem, que são consequências da operação de tratamento térmico realizado na peça.

Serão desenvolvidos a seguir alguns tópicos que merecem ser observados.

##### a – Profundidade de casca de cementação ou nitretação

Para efeito de remoção de material em operações de retífica, há que se considerar a profundidade da camada endurecida, para que não se elimine dureza que foi introduzida na peça na operação ou operações de tratamento térmico.

Tal não acontece quando se faz tratamento de tempera total, onde há o endurecimento total da peça, eliminando-se, portanto, o problema que poderá ocorrer em peças cementadas ou nitretadas. A qualidade metalúrgica da camada cementada é mantida até aproximadamente metade da profundidade total, quando começa então haver difusão metálica, com a consequente perda das propriedades mecânicas e redução da dureza especificada.

É muito importante considerar-se os casos em que haja o deslizamento de uma peça com relação à outra, quando a baixa dureza de uma delas pode trazer sérias consequências no funcionamento do conjunto de peças acopladas. É o caso de engrenagens deslizantes, pistas de roletes, etc.

Assim, pode-se considerar que, para manter-se a qualidade da camada endurecida, a remoção máxima permissível deverá ser, no máximo, igual à quarta parte da profundidade total de camada endurecida (figura 7.2).

$$S_M \leq L/4$$

Para a determinação da remoção máxima dever-se-á ter sempre em conta a profundidade total de penetração da camada endurecida.

Assim, para cementação, onde a profundidade da camada cementada varia de 0,6mm a 1,2mm, dependendo do tempo do ciclo de cementação, a remoção máxima em retífica deverá ser:

$$S_M \leq 0,12 \text{ a } 0,25\text{mm.}$$

Onde a profundidade de penetração varia de 0,25mm a 0,4mm, a remoção máxima será definida por:

$$S_M \leq 0,05 \text{ a } 0,1\text{mm.}$$

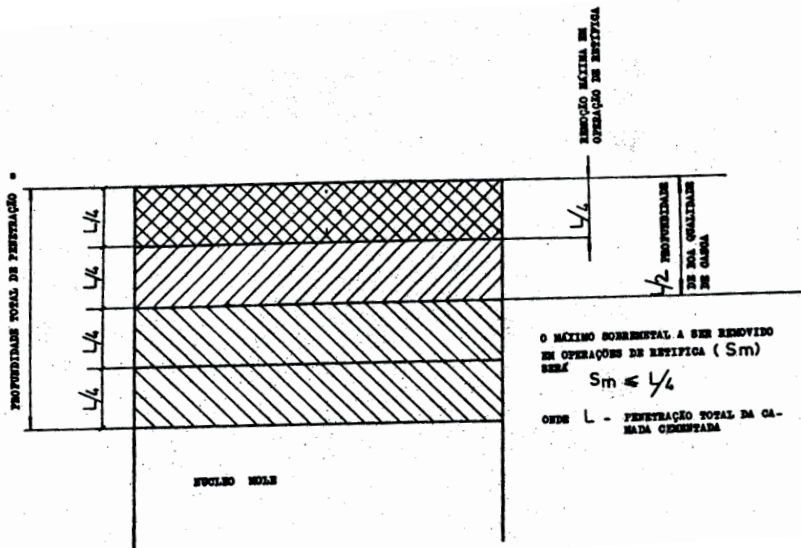


Figura 7.2 - Dimensionamento da camada cementada removida em operações de retífica

Fonte: Elaborado pelo autor.

Diante das pequenas remoções possíveis em tratamentos de nitretação, é conveniente evitar-se operações posteriores de retífica, visto que as remoções para eliminar deformações, desvios de forma e de empenamento são sempre superiores às remoções máximas permissíveis. Quando a retífica posterior não puder ser evitada, então haverá necessidade de operação de retífica antes do tratamento térmico, o que possibilitará uma remoção inferior na retificação final da que seria necessária se a peça sofresse uma operação anterior de torneamento. Tal fato deve-se à remoção das cristas da rugosidade superficial proveniente da usinagem de tornos na operação de retífica na peça verde, e também à melhor tolerância conseguida na dimensão quando nos erros de forma e posição. É o procedimento normalmente utilizado para a usinagem de pinos e varões retificados em retíficas sem centros (Centerless).

#### b – Empenamento e deformações de centros

Um dos problemas que podem ocorrer após o tratamento térmico e que deve ser corrigido pela usinagem posterior são os empenamentos, principalmente em eixos longos. A deformação pode ocorrer sob diversas formas, das quais as mais importantes são:

- Excentricidade dos diâmetros e faces.
- Ovalização.
- Conicidade de furos.

A deformação ocasionada por tratamentos térmicos é um dos fatores a serem considerados quando do estabelecimento de sobremetal da operação posterior, geralmente retificação.

Como a retificação é feita tomando-se como referência os centros, a correção necessária para que não haja falta de sobremetal devido a deformação excessiva do tratamento deve ser feita tomando-se, através de desempenamento da peça entre eixos.

#### → Recuperação dos centros

Devido à deformação sofrida pelos centros durante o tratamento térmico, há necessidade de se fazer uma recuperação no cone de apoio dos pontos de retífica, o que é feita através de uma *operação de lapidação*, eliminando-se as deformações que impossibilitam o contato efetivo do centro com o ponto fixo da retífica.

Note-se que a operação de lapidação de centros não cria uma nova referência de processamento por usinagem dos centros, mas simplesmente possibilita a utilização de referência criada na operação de facear e centrar através da eliminação das deformações introduzidas nos centros pelo tratamento térmico.

A lapidação dos centros é feita por meio de duas fixações, na havendo necessidade de recuperação simultânea devido aos motivos expostos acima (figura 7.3).

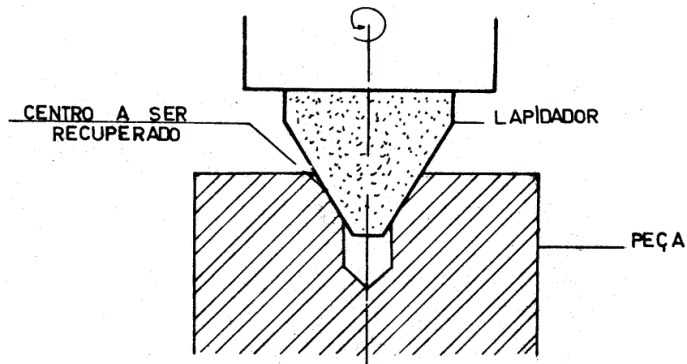


Figura 7.3 - Recuperação de centros  
Fonte: Elaborado pelo autor.

#### → Desempenamento

O desempenamento das peças é feita entre centros para se manter a mesma referência da operação de retificação posterior, através de pressão (geralmente por meio de prensa hidráulica) nos pontos com excentricidade excessiva levantados através de comparação com relógios comparadores (figura 7.4).

O desempenho corrige erros de excentricidade, em diâmetros e faces, porém não corrige ovalização e conicidade de furos previstas no cálculo do sobremetal para operação de retífica.

Após a verificação da excentricidade com relógios comparadores, a peça deve ser pressionada nos pontos excêntricos a fim que a excentricidade fique reduzida à excentricidade admissível.

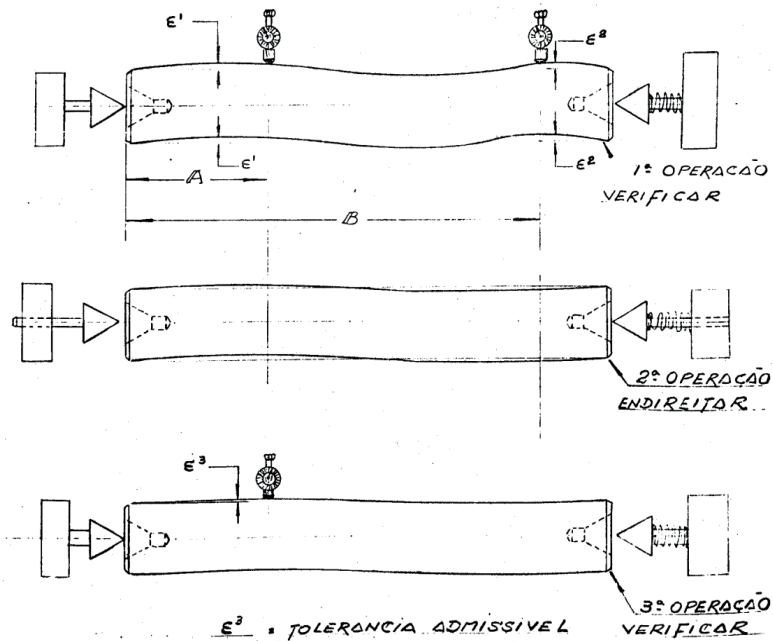


Figura 7.4 – Desempenhamento de peças após tratamento térmico

Fonte: Elaborado pelo autor.

A excentricidade máxima permissível para deformações providas de tratamento térmico não deve ultrapassar 0,07mm LTI (Leitura Total Indicador) para evitar manchas por falta de sobremetal na operação de retífica, após o despenhamento.

O problema torna-se mais complexo quando o eixo, além de diâmetros lisos, tem também diâmetros estriados, com estrias envolventes ou retas. A excentricidade máxima permissível continua sendo da ordem de 0,07 a 0,08mm LTI, porém, devem-se levar em consideração vários fatores, tais como:

- 1) Verificação da excentricidade em estrias envolventes deve ser feita pelo diâmetro primitivo através de pinos porque, visto que o ajuste com a peça par é feito pelos centros e portanto aos outros diâmetros retificados poderá provocar problemas de engrenamento, se a peça for uma engrenagem, com conseqüente aumento de ruído com a engrenagem par (figura 7.5).

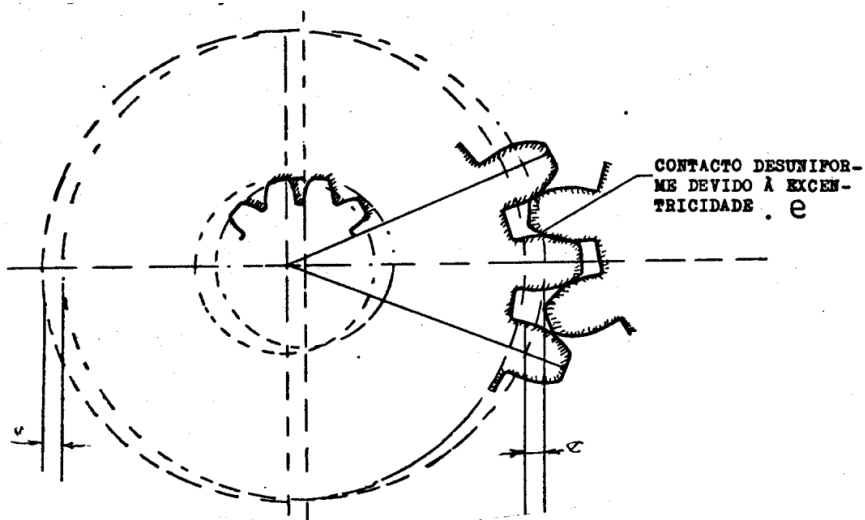


Figura 7.5 – Influência da excentricidade do furo no contato de engrenamento  
Fonte: Elaborado pelo autor.

Exemplificando, a verificação do diâmetro estriado A com relação aos centros deve ser feita pelo diâmetro primitivo através de pinos calibrados, conforme figura 7.6. Levando-se em consideração que a excentricidade da peça par no diâmetro primitivo também é da ordem de 0,07 a 0,08mm LTI, a soma dos dois desvios de posição pode atingir 0,15 a 0,17mm LTI. Em casos extremos este desvio pode ultrapassar o desvio coaxialidade entre os diâmetros mandrilados, provocando, assim, ruído no engrenamento.



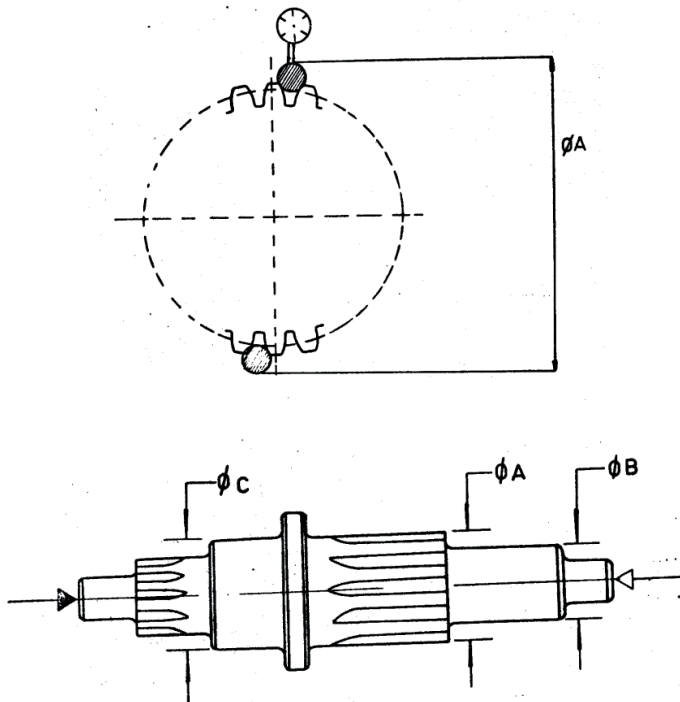


Figura 7.6 – Desempenamento de eixo através de diâmetros retificados  
Fonte: Elaborado pelo autor.

Levando-se em consideração que a excentricidade da peça par no diâmetro primitivo também é da ordem de 0,07 a 0,08mm LTI, a soma dos dois desvios de posição pode atingir 0,15 a 0,17mm LTI. Em casos extremos este desvio pode ultrapassar o desvio coaxialidade entre os diâmetros mandrilados, provocando, assim, ruído no engrenamento.

O ajuste das peças para este caso é feito pelos diâmetros primitivos, havendo folga nos diâmetros de fundo de estria e diâmetro externo, conforme mostrado na figura 7.7.

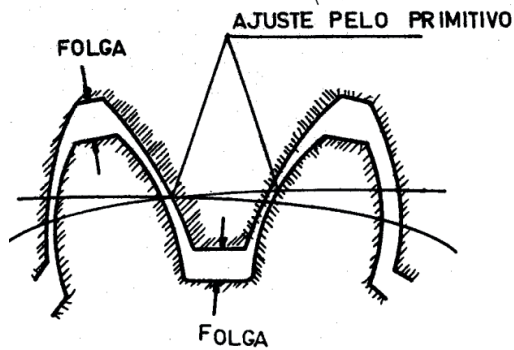


Figura 7.7 – Ajuste de estrias pelo diâmetro primitivo  
Fonte: Elaborado pelo autor.

2) A verificação de excentricidade em estrias retas sempre deve ser verificada no fundo da estria, pois que o ajuste com as peças “par” é sempre feito pelo diâmetro externo da estria externa. Como mostrado na figura 7.8 devido à excentricidade das estrias com relação à linha de centros, em relação a qual é feita a retificação do diâmetro externo, haverá uma remoção de material desigual, provocando por consequência diferentes alturas de estria ( $h_1 \neq h_2$ ).

Quando for feito o ajuste com o fundo das estrias da peça par, haverá provavelmente problemas na montagem devido à interferência das estrias externas da peça par com as estrias ( $h_1$ ) do eixo.

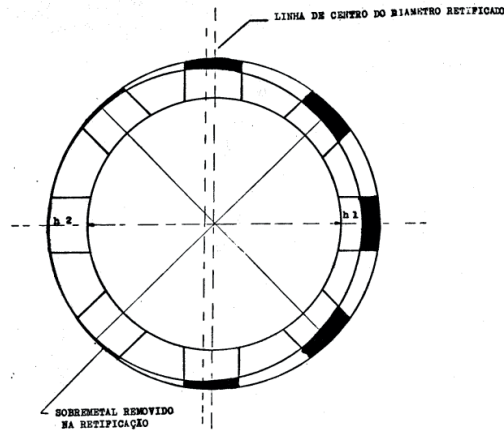


Figura 7.8 – Remoção desigual em retificação devido à excentricidade das estrias com relação ao centro da peça

Fonte: Elaborado pelo autor.

Do mesmo modo, a excentricidade máxima permitida será de 0,07 a 0,08mm LTI.

É preciso notar-se as diferentes existentes empenamento em excentricidade (desvio de planicidade) quando da verificação das faces após tratamento térmico. Quando se tratar, com relação ao caso anterior, de engrenagens que tenham retificação de furo, verifica-se somente o empenamento da face em desempenho.

## 7.5 Conclusões

Este capítulo desenvolveu as principais operações empregadas para peças de revolução e peças não de revolução. Foram desenvolvidos os principais parâmetros para operações de torneamento, fresamento, furação, retificação, brochamento, sempre aplicando-se os conceitos desenvolvidos anteriormente sobre tolerâncias e sobremetals necessários e operacionais.

Foram também desenvolvidos as características das principais operações de tratamentos térmicos e suas influências no dimensionamento de sobremetal, desvios geométricos e tolerâncias dimensionais.

Os conceitos e considerações desenvolvidos devem, na medida do possível, serem aplicados em operações dos roteiros de fabricação de peças que guardam semelhança com as desenvolvidas neste capítulo.

Sendo de caráter geral, os conceitos expostos acima são válidos para peças sujeitas a operações de tratamento térmico, com alterações de suas propriedades metalúrgicas. A variação com relação ao texto desenvolvido nos parágrafos anteriores será de valores numéricos, que devem ser ajustados as dimensões e geometria das peças sendo então analisadas.



## 8 EXERCÍCIO DE APLICAÇÃO

### 8.1 Apresentação

O exercício proposto a seguir tem como objetivo revisar os conceitos desenvolvidos nos textos anteriores, a saber:

Capítulo 3- Dimensionamento de Roteiros de Manufatura

Capítulo 4 - Análise do desenho da peça; Escolha da peça em bruto

Capítulo 5 - Introdução do sistema inicial de referência

Capítulo 6 - Sobremetal de usinagem

Capítulo 7 - Tratamentos térmicos

O planejamento do roteiro e operações, para a peça específica, aplica, em um caso real, os conceitos e parâmetros que foram desenvolvidos.

O caso real apresentado refere-se projeto e dimensionamento do roteiro de manufatura de uma peça denominada Eixo Piloto, um das peças componentes de uma caixa de mudança de marchas de um automóvel de passeio. A caixa de mudança de marchas era manufaturada por uma indústria de Auto Peças especializada neste tipo de componente mecânico, utilizado pela indústria automobilística na produção de auto veículos.

A escolha desta peça deu-se pelo seu grau de complexidade mecânico, com especificações projeto de tolerâncias dimensionais, geométricas e metalúrgicas que levam a um alto grau de refinamento nas especificações necessárias ao seu funcionamento.

Devido a essas especificações, o projeto do roteiro e do detalhamento das operações deve ser bastante cuidadoso e preciso. Devido a esses fatores, o projeto dessa peça desafia a que se aplique praticamente todos os conceitos emitidos nos capítulos de formação teórica. Tem-se também a oportunidade de se desenvolver e aplicar condições de manufatura de dentes de engrenagem, conceitos bastante particulares, mas que enquadram-se na formulação teórica desenvolvida .

## 8.2 Enunciado

Exercício de dimensionamento de roteiros e processos de manufatura:

Projetar o roteiro e operações do processo para manufatura de eixo piloto de câmbio de automóveis, figura 8.1 a) e b), dentro das seguintes características:

1. Especificação do produto contidas no desenho do produto anexo.
2. Especificação do forjado a frio de acordo com o desenho anexo.
3. Material ABNT 1024
4. Produção mensal: 10.000 peças/mês;
5. Equipamentos disponíveis:
  - a. faceadora centradora
  - b. torno CNC
  - c. torno multifuso
  - d. cortadora de dentes tipo “Shaper”
  - e. chanfradora de dentes
  - f. furadeira Radial
  - g. fresadora horizontal
  - h. torno para rebarbação
  - i. conformadora a frio de dentes
  - j. acabadora de dentes “Rotary shaver”
  - k. gravadora de tipos
  - l. lavadora de peças
  - m. forno contínuo para tratamento térmico
  - n. máquina lapidadora de centros
  - o. prensa hidráulica
  - p. retífica externa
  - q. retífica angular
  - r. retífica interna
  - s. torno para polimento e polidora
  - t. testadora de engrenagens tipo “Gear Speeder”

### 8.3 Análise do desenho da peça

A peça para a qual desenvolve-se o roteiro de manufatura e detalha-se as respectivas folhas de processos é mostrada na Figura 8.1 a) e b), e tabela 8.1.

Analisando-se o desenho, verifica-se que a peça a ser manufaturada pode ser enquadrada, em termos de precisão, como produto de precisão alta. A sua aplicação em caixas de câmbio de automóvel também pode ser considerada de alta precisão.

#### a. Diâmetros:

14,986 / 14,973 mm tolerância: 0,013 mm

23,42 / 22,92 mm tolerância: 0,50 mm

29,945 / 29,896 mm tolerância: 0,49 mm

30,01 / 29,997 mm tolerância: 0,013 mm

64,91 / 64,82 mm tolerância: 0,09 mm

44,70 / 44,20 mm tolerância: 0,5 mm

27,72 / 27,43 mm tolerância: 0,29 mm

#### b. Tolerâncias geométricas

Concentricidade de 0,05 mm em vários diâmetros da peça

Rugosidade: Desvio Aritmético Ra — 0,6; 0,8; 0,5; 0,75 micron

#### c. Especificações metalúrgicas

Material ABNT 1024: dureza superficial 58 / 62 RC



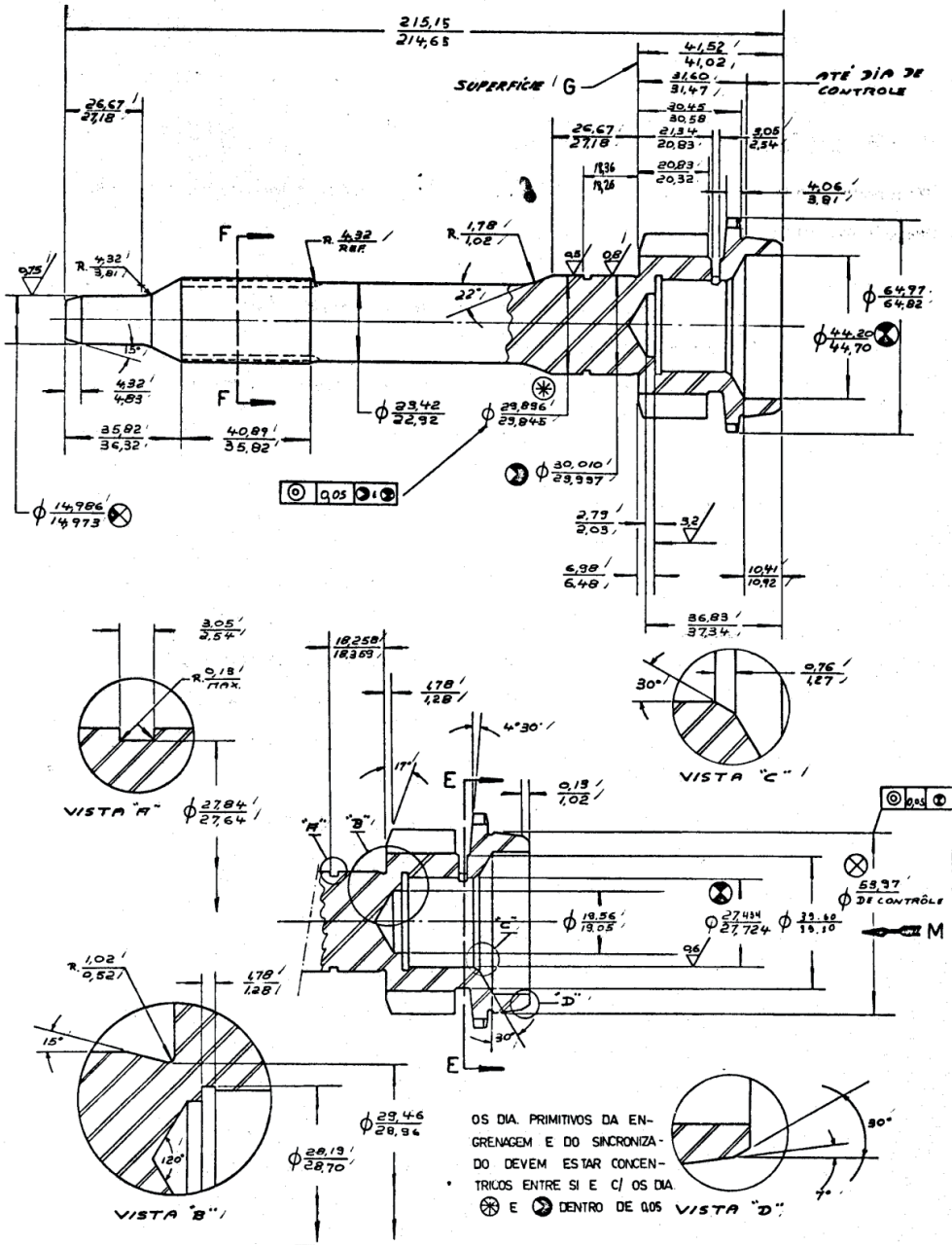


Figura 8.1 (a) - Eixo piloto de caixa de velocidades para automóveis  
Fonte: Elaborado pelo autor.

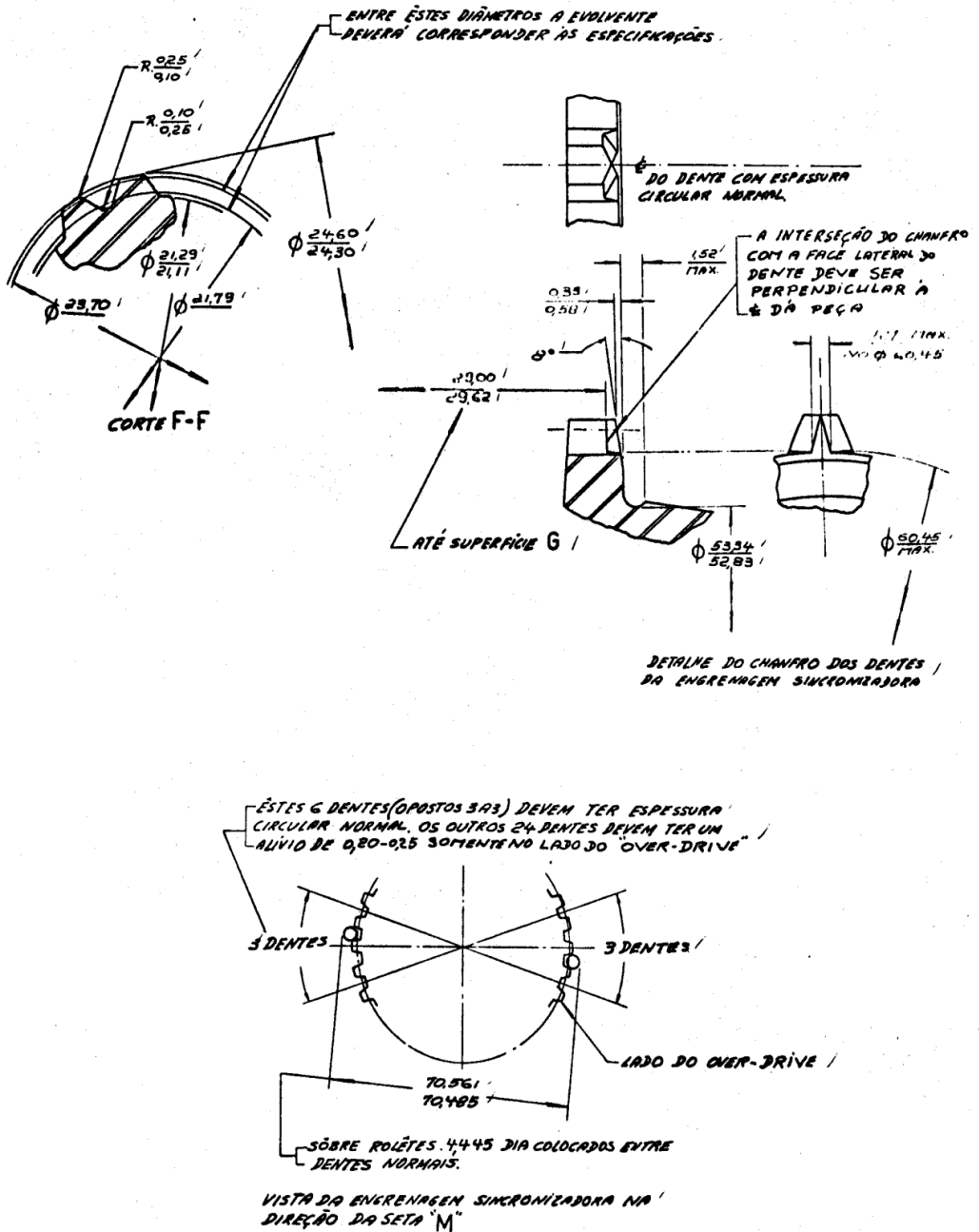


Figura 8.1 (b) - Eixo piloto de caixa de velocidades para automóveis  
 Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 8.1 - Características das engrenagens e estria (dimensões em mm)

Dados das Engrenagens e Serrilhado	Engrenagem Helicoidal	Engrenagem Sincronizadora	Serrilhado
Número de dentes	15	30	14
Passo da Hélice (esquada)	186,3	-	Reto
Diâmetro do círculo de base (ref)	42,175	54,993	19,40
Ângulo de hélice (ref.)	36,77196	-	0°
Diâmetro primitivo (ref.)	44,3186	63,50	22,400
Altura total do dente (ref.)	6,3652	2,16 2,41	22,400
Dimenssão sobre roletes	56,721 56,659	-	27,617 27,618
Jogo entre dentes	0,101 – 0,127	-	-
Erro do passo da hélice /100mm de largura	±0,01	-	-
Módulo normal	2,37	2,117	1,6
Ângulo de pressão normal	14,500°	30°	30°
Espessura circular normal do dente (ref.)	4,474 4,434	3,175 3,089	3,00 3,032
Ângulo início da envolvente	-	-	-
Crown	-	-	-
Diâmetro da esfera	5,556	-	2,997

Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com os dados acima, processar a peça em questão, prevendo:

- 1) sequência de operações, com ordenação crescente ;
- 2) detalhamento das operações estabelecidas acima, estabelecendo:
  - a) amaração de medidas, com especificação de tolerâncias para cada caso;
  - b) especificação de máquinas;
  - c) ferramental de corte para cada operação;

d) ferramental de medição para cada operação.

### **Observação geral**

Como se trata de peça de alta produção, todo o raciocínio de processamento deverá ser conduzido para usinagem em grandes séries. Naturalmente, todo ferramental a ser projetado deve ser orientado para este objetivo.

### **8.4 Seleção da peça em bruto**

Devido ao alto volume de produção mensal, optou-se pela escolha de peça forjada a frio, conforme figura 8.2. A opção pela peça obtida por forjamento a frio, ao invés do forjamento a quente, mis convencional, foi feita devido aos altos volumes produzidos, o que resulta em economia de matéria prima (aço), por volta de 20 %, além de simplificação das operações de usinagem, principalmente torneamento, frezamento, etc. O forjamento a frio permite obtenção de tolerâncias dimensionais IT 9 e IT 8 , em comparação com o forjamento a quente, que permite obtenção de tolerâncias dimensionais de IT 14, IT 15. Dessa maneira, é possível dimensionar-se sobremetais de usinagem bem menores daqueles previstos para forjamento a quente.

### **8.5 Planejamento do processo de manufatura**

**Define-se o planejamento dos processos de manufatura como um conjunto de atividades que determinam sistemicamente os estágios pelos quais o produto será fabricado.**

O processo de manufatura deverá prover o caminho lógico pelo qual, partindo-se das especificações do desenho de produto, obtém-se a peça final, mantendo essas mesmass especificações.

Define-se **Roteiro de Manufatura** como o “**Caminho que leva do desenho da peça até a peça física**”.

Ele deve garantir que a peça física tenha todas as características e especificações do respectivo desenho. O “caminho“ é composto por operações. Estas são ordenadas logicamente para garantir a qualidade dimensional, geométrica e metalúrgica especificada no respectivo desenho de produto.

Define-se **operação de processo**, a uma atividade da sequência ordenada que compõe o roteiro de manufatura, onde se determina as especificações necessárias, tanto tecnológicas como operacionais.

Pode ainda ser definida como fase do processo de manufatura de uma peça (ou grupo de peças) composta de sequência de instruções que permite repetibilidade ao longo das peças fabricadas.

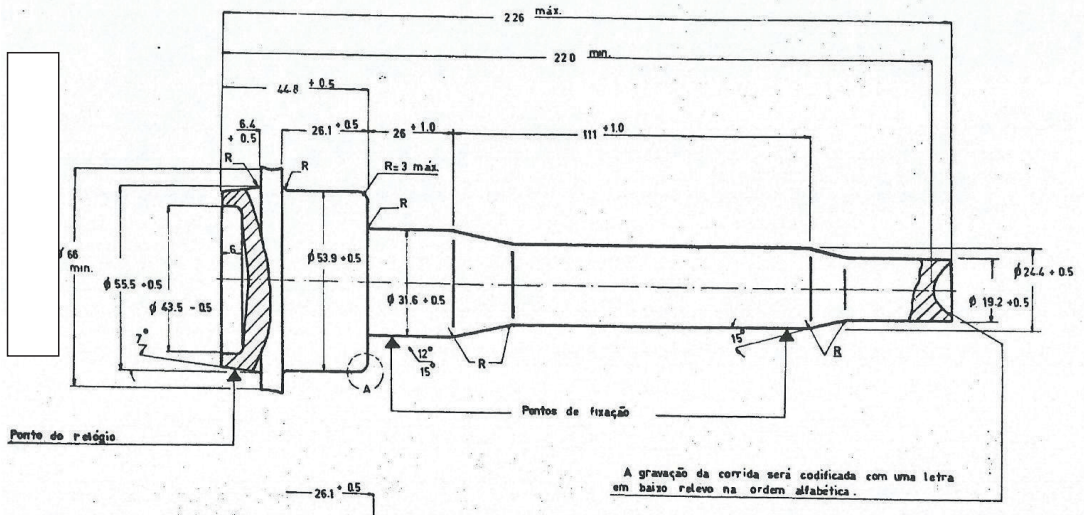


Figura 8.2 – Eixo piloto forjado a frio  
Fonte: Elaborado pelo autor.

### 8.5.1 ROTEIRO FUNDAMENTAL

Define-se roteiro fundamental o conjunto de operações necessárias para obter-se na peça física as especificações explicitadas no desenho da peça.

O roteiro fundamental é composto de operações fundamentais.

#### - Operações fundamentais

Operações indispensáveis ao processamento da peça, e que atendem as especificações contidas no seu projeto de produto. Estas definem:

- Medidas finais das peças;
- Características metalúrgicas;
- Rugosidade superficial e desvios geométricos especificados no desenho da peça.

No caso do exercício sendo desenvolvido, o primeiro passo é determinar o Roteiro Fundamental, composto de operações fundamentais. A tabela 8.2 mostra o roteiro fundamental para o caso proposto.

Tabela 8.2 - Roteiro fundamental

(continua)

Sequência	Operação	Máquina
1°	Facear e centrar	Faceadora Centradora
2°	Tornear cauda	Torno CNC
3°	Tornear cabeça	Torno multifuso
4°	Cortar dentes de sincronizado Z30	Cortadores dentes tipo shaper
5°	Semi acabar 15 dentes	Cortadora de dentes tipo shaper
6°	Chanfrar 30 dentes	Chanfradora de dentes
7°	Frezar rasgo $\frac{3.05}{2.55}$	Frezadora hrizontal
8°	Rolar a frio 14 estrias	Conformadora a frio Roto-Flo
9°	Acabar 15 dentes	Rasqueteadora rotativa Shaver
10°	Tratamento Térmico	Forno contínuo
11°	Retificar diâmetro $\frac{14.986}{14.973}$	Retificadora externa
12°	Retificar $\varnothing \frac{24.32}{24.30}$	Retificadora externa
13°	Retificar $\varnothing \frac{30.010}{30.00}$ e Face $\sqrt[12]{\quad} (\sqrt[63]{\quad})$	Retificadora angular
14°	Retificar $\varnothing \frac{29.90}{29.86}$	Retificadora externa
15°	Retificar cone $7^\circ \pm 0^\circ 3$	Retificadora externa

(conclusão)

16°	Retificar $\varnothing$ interno $\frac{27.70}{27.72}$	Retificadora interna
17°	Polir $\varnothing$ $\frac{29.90}{29.86}$ para $\frac{0,25\sqrt{\quad}}{\sqrt{\quad}}$ a $\frac{0,5\sqrt{\quad}}{\sqrt{\quad}}$	Torno polidor
18°	Polir cone para $\frac{0,25\sqrt{\quad}}{\sqrt{\quad}}$ a $\frac{0,5\sqrt{\quad}}{\sqrt{\quad}}$ ( $\frac{10\sqrt{\quad}}{\sqrt{\quad}}$ a $\frac{20\sqrt{\quad}}{\sqrt{\quad}}$ )	Polidora externa

Fonte: Elaborado pelo autor

O roteiro fundamental, apesar da sua importância, não é suficiente para a manufatura adequada das peças.

Durante a efetivação da manufatura, cria-se a necessidade de se acrescentar outras operações:

- Operações complementares;
- Operações auxiliares;
- Operações opcionais;
- Operações de inspeção.

### - Operações Complementares

São criadas por consequência da execução das operações fundamentais, ou ainda por serem necessárias para que seja possível a execução da operação fundamental. São operações de rebarbação, lavagem, marcação de número, símbolo e data.

Assim, na sequência de usinagem dada anteriormente, tem-se:

#### Operações de rebarbação

Durante a efetivação das operações:

- 4° cortar dentes do sincronizado
- 5° semi acabar 15 dentes
- 6° chanfrar 30 dentes

7º) frezar rasgo  $\frac{3.05}{2.55}$  mm

Há grande formação de rebarbas na saída dos dentes cortados e chanfrados, além das rebarbas formadas pelo corte de rasgo com fresadora de disco.

Inclue-se duas operações de rebarbar, a saber:

c.1 – rebarbar  $\varnothing$  externo e saída de cortadores – torno de rebarbar

c.2 – rebarbar chanfro do sincronizado e fundo do canal – bancada

### Operações de lavar

São operações geralmente incluídas nos seguintes casos:

1) antes da entrada para a operação de rosqueamento rotativo, devido a sujeiras e cavacos que ficam após as operações anteriores e que podem provocar a quebra de cortadores “shaver”. Para o exemplo, devem ser colocadas entre as operações:

8º) rolar a frio 14 derrias

9º) acabar 15 dentes

Sendo:

c.3 – lavar.

2) A necessidade desta operação prende-se à alteração provocada pelo óleo de corte na alteração de atmosfera carburante do forno, com diminuição ou eliminação da camada cementada. Por ser a operação de acabamento de dentes imediatamente anterior à de tratamento térmico, para evitar batidas, temos, que a operação de lavar deverá ficar entre:

9º) acabar 15 dentes;

10º) tratamento térmico

Sendo:

c.4 – lavar

3 – Após a peça pronta, para armazenagem ou montagem. Assim,

c.5 – lavar e passar óleo anti oxidante após a 8ª operação.

→Operação de marcação de números



É uma operação cuja função é determinar a data de fabricação e número de série para futuras referências. Deve ser colocada imediatamente antes da operação de tratamento térmico.

Assim:

10º) tratamento térmico

c.6 – marcar número, símbolo e data

Para o caso específico do exemplo em foco, tem-se 6 operações complementares.

### - Operações auxiliares

São executadas para correção de erros introduzidos por operações fundamentais, ou ainda, para permitir a execução de operações fundamentais posteriores. As operações auxiliares classificam-se em:

→ Retíficas antes de tratamentos térmicos;

→ Lapidação de centros, para correção de deformações introduzidas nos centros devidas a tratamentos térmicos;

→ Desempenamento de eixos após tratamento térmico, para evitar falha de material nas operações de retíficas posteriores, devido a deformações excessivas introduzidas por este. Deve ser feita sempre após a lapidação dos centros.

Para o exemplo sendo desenvolvido citado, tem-se:

1 – Entre as operações

3º) torneiar cabeça

4º) cortar dentes do sincronizado

São introduzidas duas operações de retífica antes do tratamento térmico:

A.1) retificar diâmetro do rolamento para possibilitar referência de corte de dentes;

A.2) retificar o diâmetro de cauda para possibilitar conformação a frio das estrias.

2 – entre as operações

10º) tratamento térmico

11º) retificar  $\varnothing \frac{14.986}{14.973}$

São introduzidas as operações de lapidar:

A.3) lapidar centro maior (recuperar centros)

A.4) lapidar centro maior (recuperar centros)

A.5) desempenhar entre centros

Assim sendo, para o exemplo em estudo, tem-se 5 operações auxiliares.

### **Operações opcionais**

Operações que são necessárias somente em alguns lotes de peças, sendo desnecessárias em outros. Podem-se enquadrar nesta classificação:

- Operações de desempenamento antes da operação de facear e centrar;
- Idem para antes do torneamento;
- Retratamento de peça por problemas de deformação excessiva de tratamento térmico;
- Existem casos onde uma certa operação pode ser feita em duas máquinas diferentes, opcionalmente, dependendo da carga de cada uma das máquinas.

Para o exercício sendo desenvolvido, não foi necessário acrescentar-se operações opcionais.

### **Operações de inspeção**

São operações necessárias para a verificação da qualidade das peças, em fases críticas da usinagem, tais como:

- Antes da operação de “*shaver*”;
- Antes da entrada da peça para tratamento térmico;
- Inspeção de dureza após a peça tratada;
- Inspeção final após a peça pronta;
- Teste de engrenagem, se houver, após a peça pronta.

Assim, tem-se:

**1.** Antes da operação:

**9º** Acabar 15 dentes

Inclui-se:

**I.1** Operação de rolar com engrenagem padrão antes e após a operação

**2.** Na operação:

**10º** Tratamento Térmico

Tem-se:

**I.2** Inspeção dimensional antes do T oT o

**I.3** Inspeção de dureza após T oT o

**3.** Após a operação:

**18°** Polir cone para 0,25 a 0,5 ( 10 a 20 )

Tem-se:

**I.4** Inspeção final

**I.5** Teste de rolamento e ruído

Tem-se, portanto, 5 operações de inspeção.

### 8.5.2 ROTEIRO COMPLETO

Da análise realizada, tem-se:

→ 18 operações fundamentais (**F**)

→ 6 operações complementares (**C**)

→ 5 operações auxiliares (**A**)

→ 5 operações de inspeção (**I**)

Perfazendo um total de 34 operações necessárias para o processamento completo da peça.

Para facilidade de estabelecer sequência lógica de usinagem das peças e evitar-se que uma operação seja feita antes que a outra, o que nem sempre é possível sem o perigo de se comprometer dimensões, é estabelecida sequência cronológica das operações de 10 em 10.

Esta numeração possibilita a introdução de operações complementares, auxiliares e de inspeção que aparecem com a colocação do processo de manufatura em aplicação prática. O roteiro completo é expresso da tabela 8.3:

Tabela 8.3 - Roteiro de manufatura completo

(continua)

Operação N <sup>o</sup>	Tipo	Operação	Máquina
10	F	Facear e centrar	Faceadora centradora
20	F	Tornear cauda	Torno CNC
30	F	Tornear cabeça	Torno multifuso
40	A	Retificar $\varnothing$ rolamento (mole)	Retífica cilíndrica

(conclusão)

50	A	Retificar mole $\varnothing$ da cauda	Retifica cilíndrica
60	F	Cortar 30 dentes dosincronizado	Cortadores dentes tipo shaper
70	F	Cortar em semi acabamento 15 dentes	Cortadora de dentes tipo shaper
80	F	Chanfrar 30 dentes	Chanfradora de dentes
90	F	Frezar rasgo $\frac{3.05}{2.55}$	Frezadora horizontal
100	C	Rebarbar saída e $\varnothing$ externo da engrenagem	Torno rebarbar
110	C	Rebarbar fundo do canal e chanfro sincronizado	Bancada
120	F	Rolar a frio 14 estrias	Conformadora a frio – Roto Flo
130	C	Lavar	Lavadora
140	I	Rolar 15 dentes	Testadora de ruído
150	F	Acabar 15 dentes	Rasqueteadora rotativa Shaver
160	C	Lavar	Lavadora
170	C	Gravar número, símbolo e data	Prensa horizontal
180	I	Inspecionar antes T <sup>q</sup> T <sup>o</sup>	Bancada
190	F	Tratamento térmico	Forno contínuo
200	I	Inspeção de dureza	Rockwell Test
210	A	Lapidar centro maior	Lapidadora centros
220	A	Lapidar centro menor	Lapidadora centros
230	A	Desempenar (endireitar)	Lapidadora centros
240	F	Retificar $\varnothing \frac{14.986}{14.973}$	Retificadora cilíndrica
250	F	Retificar $\varnothing \frac{24.32}{24.30}$	Retificadora cilíndrica
260	F	Retificar $\varnothing \frac{30.01}{30.00}$ e face	Retificadora angular
270	F	Retificar $\varnothing \frac{25.90}{29.86}$	Retificadora cilíndrica
280	F	Retificar cone $7' \pm 3'$	Retificadora cilíndrica

(conclusão)

290	F	Retificar $\varnothing$ interno $\frac{27.70}{27.72}$	Interna
300	F	Polir $\varnothing$ $\frac{29,90}{29.86}$	Torno polidor
310	F	Polir cone para Ra= 0,05mm	Polidora
320	I	Inspecionar totalmente	Bancada
330	I	Testar ruído	Testadora
340	C	Lavar e passar óleo anti-oxidante	Lavadroa

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 8.6 Detalhamento das operações do roteiro de manufatura

Após estabelecido o roteiro de completo de manufatura, detalha-se cada operação do roteiro.

Cada folha de operação deverá conter as informações:

- Croqui com as medidas a serem obtidas para aquela operação;
- Máquina a ser utilizada na operação;
- Tolerâncias dimensionais e geométricas;
- Ferramental de corte e fixação;
- Ferramental de inspeção;
- Condições de manufatura (usinagem, conformação, etc.);
- Geração de programas CN, quando for necessário.

A classificação das operações no roteiro é definida:

#### Operações iniciais

- Introduzem o sistema inicial de referência a ser seguido nas operações seguintes do roteiro de manufatura.
- O sistema de referência do roteiro de manufatura deve ser o mesmo que foi adotado no projeto da peça correspondente.
- Em um eixo, o sistema de referência adotado no seu projeto serão os assentos de rolamento, gerando a correspondente linha de centro.

A operação inicial deverá manter esta referência.

### **Operações intermediárias**

Operações do roteiro de fabricação, cujas dimensões, e especificações não são as finais, constantes do desenho da peça. No roteiro de manufatura sendo desenvolvido, as operações de torneamento irão determinar dimensões, desvios geométricos, rugosidade, etc., com variações maiores que as finais constantes no desenho das peças. Essas operações são classificadas como intermediárias. Em dimensões onde a tolerância especificada é compatível com a capacidade do processo de torneamento, a operação de torneamento será final.

### **Operações finais**

Operações do roteiro que determinam as dimensões, tolerâncias e especificações constantes no desenho da peça. As operações finais determinam as especificações pelas quais se estabelece relação biunívoca entre as especificações do desenho da peça e a respectivas especificações da peça física.

A seguir são detalhadas as diversas operações do roteiro completo de manufatura.

### **Operação 10 — Facear e Centrar**

**Classificação:** operação inicial

**Máquina:** faceadora-centradora

**Condição necessária:** Dimensionar as cotas da operação, tal que se viabilize a execução dessas cotas nas operações seguintes do roteiro de manufatura.

Os sobremetais previstos para as operações seguintes serão determinados a seguir. As duas cotas a serem determinadas devem prever sobremetal para as operações de:

**20** F Tornear cauda - Torno CNC

**30** F Tornear cabeça Torno multifuso

Assim, tem-se:

1. Comprimento total

a. Medidas da operação:  $\frac{216.40}{216.15}$  mm

b. Medida da peça pronta:  $214,9 \pm 0,25 = \frac{215.15}{214.65}$  mm

Assim, tem-se:

1. Comprimento total

1.a) medidas de operação:  $\frac{216.40}{216.15}$  mm

1.b) medida da peça pronto:  $214.9 \pm 0,25 = \frac{215.15}{214.65}$  mm

O sobremetal previsto deve ser o da cabeça da peça, visto que o da ponta pode ser considerado como dimensão final, visto não sofrer mais operações.

216,40	216,40	216,15	216,15
<u>215,15</u>	<u>214,65</u>	<u>215,15</u>	<u>214,65</u>
1,25	1,75	1,00	1,50

O sobremetal permitido por esta cota, varia de :

$$S_M = 1,75\text{mm}$$

$$S_m = 1,00\text{mm}$$

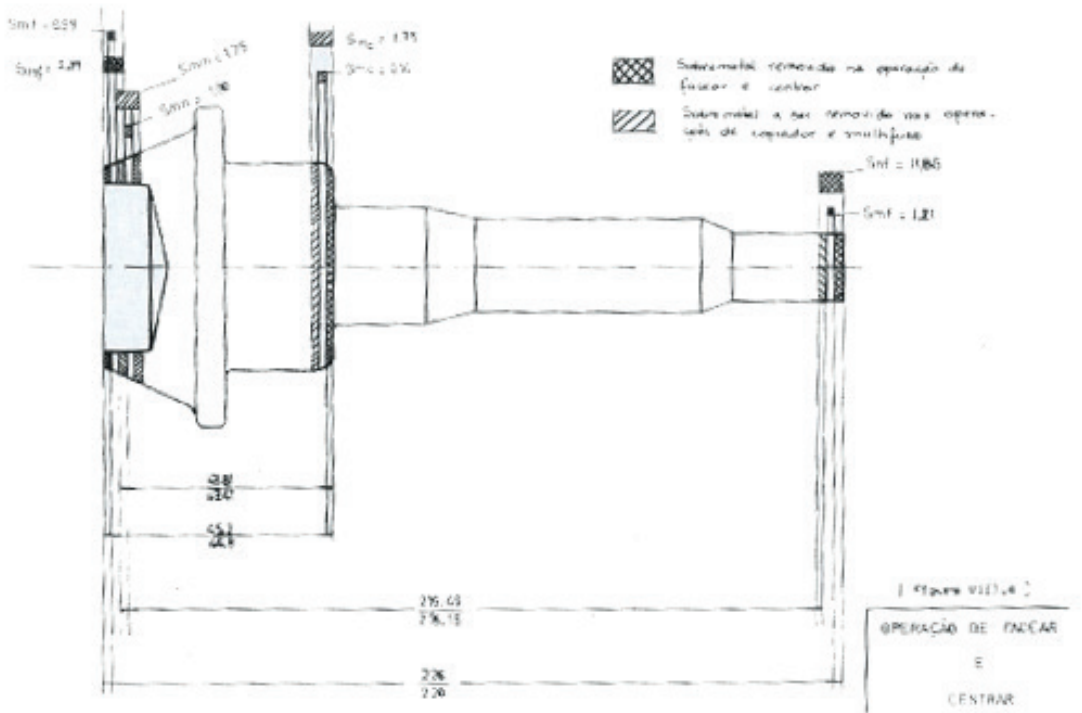


Figura 8.3 – Operação de faciar e centrar  
 Fonte: Elaborado pelo autor.



## 2. Comprimento da cabeça da peça

Para esta cota, as operações subsequentes são:

**20 F** - Tornear cauda: desbaste na face da engrenagem para posterior retífica de face.

Torno CNC

**30 F**- Tornear cabeça: acabamento na face da engrenagem sincronizadora, para posterior retífica de face.

Torno Multifuso

Tem-se:

$$a) \text{ medida da peça pronta : } 41,27 \pm 0,25 = \frac{41,52}{41,02} \text{ mm}$$

$$b) \text{ medida da operação: } = \frac{43,81}{43,31} \text{ mm}$$

Assim, o sobremetal será:

43,81	43,81	43,41	43,41
41,52	41,02	41,52	41,02
2,29	2,79	1,89	2,39

Ou seja, o sobremetal para a face é de

$$S_M = 2,79 \text{ mm}$$

$$S_m = 1,89 \text{ mm}$$

**Condição suficiente:** Dimensionar as cotas da operação, tal que se viabilize a execução da operação sendo executada .Os sobremetais removidos são dimensionados a partir das medidas da peça na operação anterior a ela no roteiro de manufatura . Neste caso, as medidas a serem consideradas são as da peça em bruto, mostradas na figura 8.2.

b) Sobremetais removidos

Os sobremetais retirados a partir da peça forjada nesta operação, foram i:

$$1 - \text{comprimento total: medida do forjado: } 220 + 6,0$$

$$\text{medida de processo: } \frac{216,40}{216,15}$$

Tem-se os valores de sobremetal máximos e mínimos removidos:

226,00	226,00	220,00	220,00
<u>216,40</u>	<u>216,15</u>	<u>216,40</u>	<u>216,15</u>
9,60	9,85	3,60	3,85

$$SmT = 3,60 \text{ mm}$$

$$SMT = 9,85 \text{ mm}$$

2 – Comprimento da cabeça:

$$\text{medida do forjado: } 44,8 + 0,5 = 44,80 / 45,30 \text{ mm}$$

$$\text{medida na operação : } = \frac{43,81}{43,41}$$

Tem-se os valores de sobremetal máximos e mínimos removidos:

45,30	45,30	44,80	44,80
<u>43,81</u>	<u>43,41</u>	<u>43,82</u>	<u>43,41</u>
1,49	1,89	0,99	1,39

$$Smc = 0,99 \text{ mm}$$

$$SMc = 1,89 \text{ mm}$$

### 3 – Sobremetal removido na espiga

O sobremetal na espiga será a diferença entre o sobremetal total e o sobremetal na cabeça, assim:

$$Sme = Smt - SMc = 3,60 - 1,89 = 1,71 \text{ mm}$$

$$Sme = 1,71 \text{ mm}$$

$$SMe = SMt - Smc = 9,85 - 0,99 = 8,86 \text{ mm}$$

$$SMe = 8,86 \text{ mm}$$

A figura 8.3 mostra as cotas da peça em bruto, cotas da operação e cotas finais, com a distribuição de sobremetal previsto para as próximas operações e sobremetal removido na operação de facear e centrar.

A operação deverá ser feita apoiando-se a peça em dois prismas, com encosto na aba indicada.

A folha de operação da figura 8.3 mostra somente as cotas de operação.

#### **Operação 20 — Tornear Cauda**

**Classificação:** Operação intermediária

**Máquina ferramenta:** Torno CNC

**Condição necessária:** Dimensionar as cotas da operação, tal que se viabilize a execução dessas cotas nas operações seguintes do roteiro de manufatura.

— sobremetals previstos para as operações seguintes:

**40** Retificar sem ToTo Ø rolamento- operação auxiliar - Retificadora cilíndrica

**50** Retificar sem T oT o Ø da cauda- operação auxiliar - Retificadora cilíndrica

Nesta operação, tem-se que distinguir as medidas finais e medidas intermediárias.

→ **Medidas finais:** são as que não terão operações posteriores, podendo, portanto, ser iguais às medidas finais do desenho.

→ **Medidas intermediárias:** são as que deverão permitir sobremetal para operações posteriores constantes do roteiro completo.

## 1- Medidas em diâmetro

### 1.a – Engrenagem Z15

Para esta dimensão é possível já nesta operação, colocá-la em dimensão final. Assim:

$$\text{Dimensão de desenho} = \text{dimensão de processo} = \frac{53,00}{52,78} \text{ mm}$$

Para este caso, aplica-se somente a condição suficiente, com determinação dos sobremetals removidos na operação.

$$\text{Dimensão do forjado: } \frac{54,40}{53,90} \text{ mm}$$

$$\text{Dimensão da operação: } \frac{53,00}{52,78} \text{ mm}$$

54,40	54,40	53,90	53,90
<u>53,00</u>	<u>52,78</u>	<u>53,00</u>	<u>52,78</u>
1,70	1,62	0,90	1,12

$$SMR = 1,62 \text{ mm};$$

$$SmR = 0,90 \text{ mm};$$

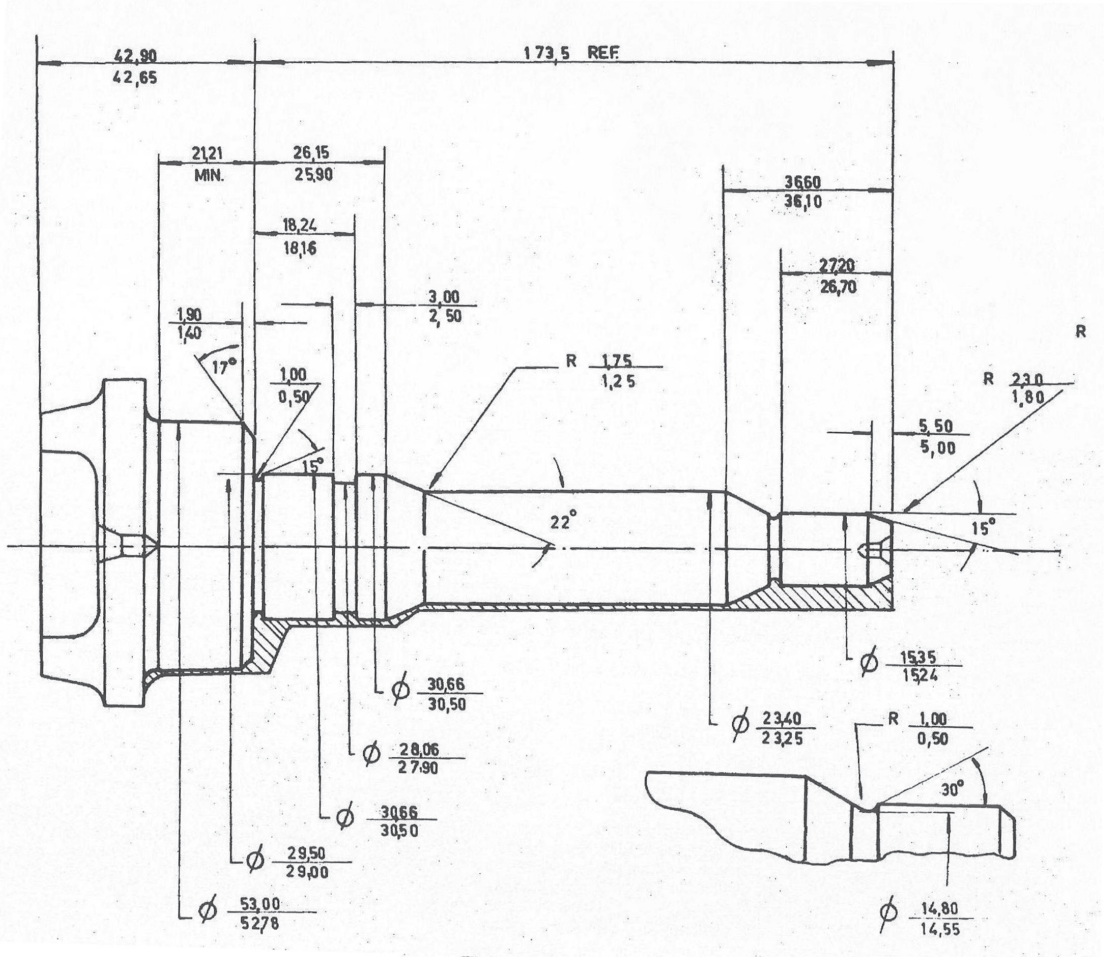


Figura 8.4 - Operação 20 – torneamento

Fonte: Elaborado pelo autor.

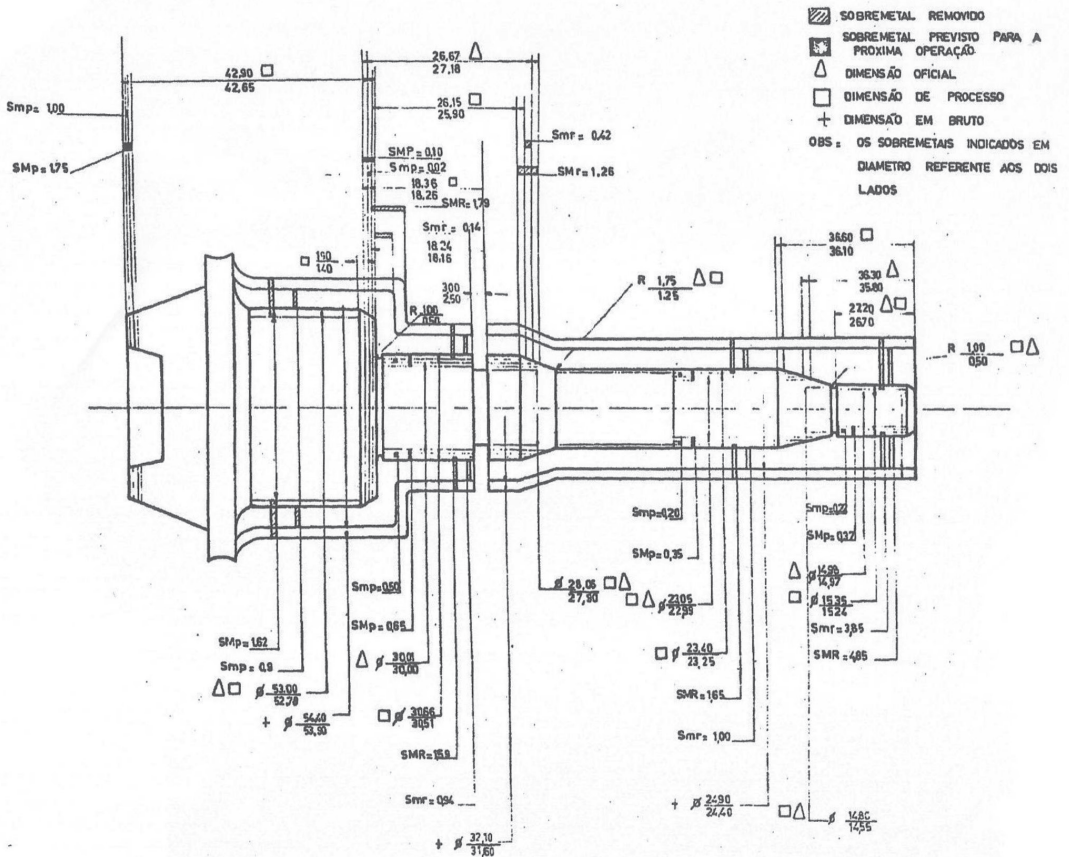


Figura 8.5 - Distribuição de sobremetal – operação 20 – torneiar  
 Fonte: Elaborado pelo autor.

**1.b - Rolamento e retentor**

Para estas dimensões, há necessidade de retífica final para acabamento de superfície, sendo, portanto, dimensões intermediárias.

Assim, tem-se:

$$\begin{aligned} \text{Dimensão final da peça – Rolamento} &= \phi \frac{30,01}{30,00} = \frac{D_{RM}}{D_{Rm}} \\ \text{- Retentor} &= \phi \frac{29,89}{29,84} = \frac{D_{RM}}{D_{rm}} \end{aligned}$$

Como a dimensão do retentor será feita após a retífica do rolamento adota-se uma dimensão comum para esta operação.

$$\text{Medida final} = \frac{30,01}{30,00} = \frac{D_{RM}}{D_{Rm}}$$

$$\text{Dimensão da operação} = D_{PR_m} = D_{RM} + S_m ; D_{PR_M} = D_{PR_m} + T_e$$

Assim,

$$D_{PR_m} = 30,01 + 0,5 = 30,51 \text{ mm (prevendo-se duas operações de retífica)}$$

$$T_{PR_M} = 30,51 + 0,15 = 30,66 \text{ mm}$$

Adota-se para este caso o valor de sobremetal mínimo:  $S_m = 0,25 \text{ mm}$  (para retífica).

$$TC = DPRM - DPRm = 0,15 \text{ mm (Tolerância do torno CNC)}$$

Assim:

$$\text{Dimensão na operação: } \frac{30,66}{30,51} = \frac{D_{PR_M}}{D_{PR_m}}$$

Sobremetal removido- Atendendo a condição suficiente , tem-se :

$$\text{Dimensão do forjado: } 31,6 \frac{+0,5}{+00} = \frac{32,10}{31,60} \text{ mm}$$

$$\text{Dimensão do processo: } \frac{30,86}{30,51} \text{ mm}$$

Determinando-se os sobremetals removidos , tem-se :

32,10	32,10	31,60	31,60
30,66	30,51	30,65	30,51
1,44	1,59	0,95	1,09

Portanto:

$$SMR = 1,59 \text{ mm}$$

$$SmR = 0,95 \text{ mm}$$

### c. Canais

As dimensões dos canais:  $\phi \frac{28,05}{27,90} \text{ mm}$  e  $\phi \frac{29,50}{29,00} \text{ mm}$

Também são dimensões finais, e portanto, as dimensões de processo coincidem com as do produto final.

### d. Corpo principal do piloto.

Tem-se que distinguir duas partes:



1 – Diâmetro cuja estria deverá ser rolada a frio. Portanto, deve-se prever um diâmetro antes de rolar. Teoricamente, devido ao processo de conformação a frio, este deverá ser igual ao diâmetro primitivo da estria. De acordo com experiências, adota-se:

$$\phi \frac{23,05}{22,99} = \frac{D_{R_M}}{D_{e_m}} (\phi_p = 23,70\text{mm} )$$

Sendo o sobremetal para retífica  $S_m = 0,2\text{mm}$ , e a tolerância de torno  $T_c = 0,15\text{mm}$ , tem-se:

$$\begin{aligned} \text{Dimensões da operação: } \quad 23,05 + 0,2 &= 23,25 = D_{PCM} \\ 23,25 + 0,15 &= 23,40 = D_{PRm} \end{aligned}$$

Assim :

$$\text{Dimensões da operação} = \frac{23,40}{23,25} = \frac{D_{PR_M}}{D_{PR_m}}$$

### e. Dimensão da haste

A dimensão final de processo coincide com a dimensão de desenho.

Tem-se:

$$\text{Dimensão de desenho} = 23,25 \pm 0,25 = \frac{23,50}{23,00} = \frac{D_{hm}}{D_{Hm}}$$

Portanto, pode-se adotar, para facilidade de construção a tolerância para a operação de torneamento de 0,15 mm:

$$\text{Dimensão de processo} = \frac{23,40}{23,25} \text{ mm}$$

Sobremetal Removido:

$$\text{Dimensões da peça forjada} = 24,04 + 0,5 = \frac{24,90}{24,40} \text{ mm}$$

$$\text{Dimensões de desenho e da operação} = \frac{23,40}{23,25} = \frac{D_{PRM}}{D_{PRm}} \text{ mm}$$

O sobremetal removido será

24,90	24,90	24,40	24,40
<u>23,40</u>	<u>23,25</u>	<u>23,40</u>	<u>23,25</u>
1,50	1,65	1,00	1,15

$$S_{mR} = 1,65\text{mm}$$

$$S_{MR} = 1,00\text{mm}$$

### f - Dimensão da espiga

Esta dimensão, pela sequência já estabelecida, terá como operação final, uma operação de retífica, que deverá determinar a dimensão do desenho.

Assim, tem-se:

$$\text{Dimensão de desenho} = \frac{14,95\text{mm}}{14,97} = \frac{D_{em}}{D_{Em}}$$

$$\text{Dimensão da operação} = T_{Im} = T_{IM} = S_m$$

$$DPEm = DEM + Sm$$

Adotando-se para este caso:  $Sm = 0,22$  mm (retífica final)

$$Tc = 0,15$$
 mm (torno CNC)

Portanto:

$$DPEm = 14,98 + 0,22 = 15,20$$
 mm

$$DPEM = 15,20 + 0,15 = 15,35$$
 mm

O sobremetal removido é determinado por:

$$\text{Dimensões de forjado: } 19,2 + 0,5 = \frac{19,70}{19,20}$$

$$\text{Dimensões de processo: } \frac{D_{PEM}}{D_{PEm}} = \frac{15,35}{15,20}$$

O sobremetal será removido:

19,70	19,70	19,20	19,20
<u>15,35</u>	<u>15,20</u>	<u>15,35</u>	<u>15,20</u>
4,35	4,50	3,85	4,00

Portanto:

$$S_{M_R} = 4,50$$
 mm

$$S_{m_R} = 3,85$$
 mm

## 2. Medidas longitudinais

Nestas dimensões, tem-se que tomar cuidado principalmente com as cotas que devem permitir usinagem da cabeça da peça. A referência de contagem de cotas para divisão de sobremetal é a face da engrenagem. Assim, pode-se separar:

#### a- medidas finais

As medidas finais coincidem com as medidas de processo.

$$\text{Comprimento de espiga: } 26,92 \pm 0,25 = \frac{27,17}{26,67} = \frac{27,20}{26,70} \text{ mm}$$

$$\text{Largura do canal: } 2,75 \pm 0,25 = \frac{3,00}{2,50} \text{ mm}$$

$$\text{Raio para saída de retíficas: } 0,75 \pm 0,25 = \frac{1,00}{0,50} \text{ mm}$$

$$\text{Raio de concorrência: } 1,50 \pm 0,25 = \frac{1,75}{1,25} \text{ mm}$$

$$\text{Cota 2,95: } 26,95 \pm 0,25 = \frac{27,17}{26,70} \text{ mm}$$

#### b- medidas intermediárias

1 – Largura da engrenagem

A dimensão escolhida deve possibilitar a execução posterior usinagem de torno multifuso no cone sincronizador e retífica na face da engrenagem.

<b>30</b>	F	Tornear cabeça	Torno multifuso
<b>260</b>	F	Retificar Ø 30,01 / 30,00 e face	Retificadora angular

Assim:

$$\text{Medida de desenho} = 41,27 \pm 0,25 = \frac{41,52}{41,02} = \frac{\text{LEM}}{\text{LEm}}$$

Os sobremetals previstos, serão:

→ Sobremetal previsto na **operação 30**:

$$ST_m = 1,00 \text{ mm}$$

$$STM = 1,75 \text{ mm}$$

→ Sobremetal previsto em retífica final (**operação 260**):

$$ST_m = 1,00 \text{ mm}$$

$$STM = 1,75 \text{ mm}$$

Os sobremetals previstos para a retífica de face, são bastante pequenos, visto que esta operação é feita para calibrar a medida final, sem especificação de rugosidade superficial para a face.

Assim, a medida de processo será:

41,52	41,52	41,02	41,02
<u>1,00</u>	<u>1,75</u>	<u>1,00</u>	<u>1,75</u>
42,52	43,27	42,02	42,77

Para o cálculo seguinte, serão adotadas somente as médias, para evitar dispersão de medidas na operação de torno.

42,52	42,52	42,77	42,77
<u>0,02</u>	<u>0,12</u>	<u>0,02</u>	<u>0,12</u>
42,54	42,64	42,79	42,89

Adotando-se novamente as médias:

$$\frac{L_{REM}}{L_{PE_m}} = \frac{42,90}{42,65} \text{ mm}$$

## 2 – Distância do canal à face da engrenagem

$$\text{A dimensão de desenho é } = \frac{18,36}{18,26} = \frac{L_{eM}}{L_{cm}} \text{ mm}$$

Sendo o sobremetal  $S_m = 0,02$  mm, segue-se:

$$LR_{cm} = 18,26 - 0,02 = 18,24 \text{ mm}$$

$$LR_M = 18,24 - 0,08 = 18,16 \text{ mm}$$

A tolerância de torno dentro de 0,08mm, pode ser mantida devido que esta cota é mantida por duas ferramentas.

As dimensões de processo são:

$LR_{CM} = 18,24$  mm ;  $LR_{Cm} = 18,16$  mm conforme mostrado na figura 8.6 .

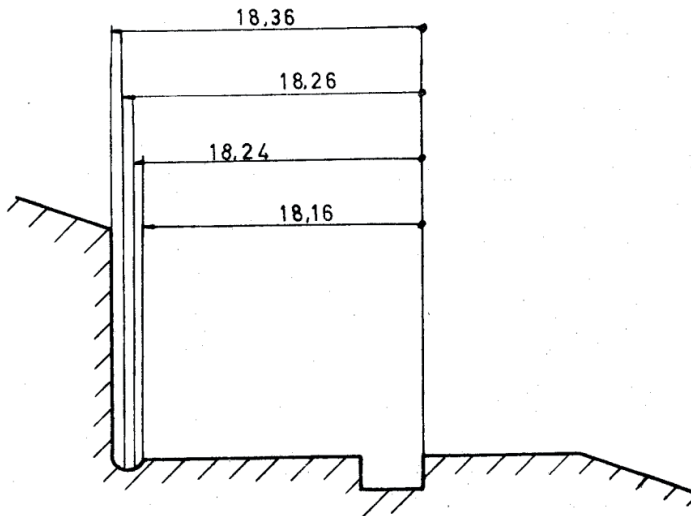


Figura 8.6 - Distância do canal até a face da engrenagem  
Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3 – Distância da face da engrenagem até início do cone

A dimensão do desenho é:  $26,9 \pm 0,26 = \frac{27,15}{26,75} = \frac{L_{TM}}{L_{Tm}}$

Verifica-se que haverá uma retífica antes do tratamento térmico e uma após tratamento térmico no diâmetro 30,00 mm, e uma retífica na face da engrenagem (figura 8.7).

<b>40</b>	A	Retificar sem T oT o no Ø rolamento	Retificadora cilíndrica
<b>260</b>	F	Retificar Ø 30,01 /30,0 e face	Retificadora angular

Portanto, a média da medida da operação será:  $26,90 - 0,75 = 26,15$  mm

Por medida de precaução, adota-se somente metade de tolerância permitida.

Portanto:

$$\text{Medida da operação: } \frac{26,15}{25,90} = \frac{L_{TM}}{L_{Tm}}$$

O sobremetal para a face pode ser desprezado devido à pequena tolerância quando se compara com a tolerância de média. A figura 8.7 mostra essa distribuição de cotas:

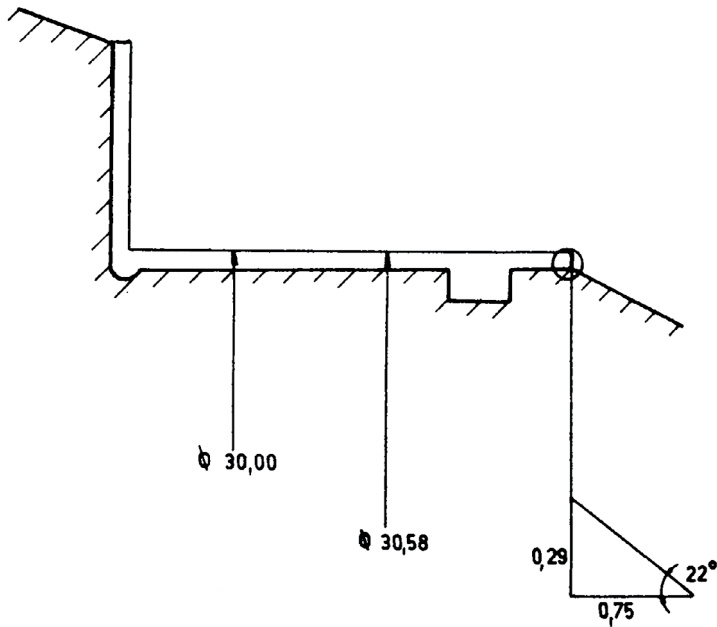


Figura 8.7 – Operação 20 – Cotas no assento de rolamento  
Fonte: Elaborado pelo autor.

### Operação 30 — Tornear Cabeça

**Classificação:** Operação intermediária

**Máquina ferramenta:** Torno multifuso

**Condição necessária:** Dimensionar as cotas da operação, tal que se viabilize a execução dessas cotas nas operações seguintes do roteiro de manufatura — sobremetas previstos para as operações seguintes.

#### 1. Medidas em diâmetro

##### a. Medidas finais

Diâmetro externo do sincronizado

Medida da operação

#### Medidas em diâmetro

Das medidas em diâmetro, podemos destacar as medidas finais.



Assim:

### 1) Diâmetro externo do sincronizado

$$1.a - \text{medida da operação} = \text{Medida de desenho} = \phi \frac{64,97}{64,82} \text{ mm}$$

### 1.b – sobremetal removido

$$\text{Medidas da peça em bruto - forjado} = \frac{67,50}{66,50} = \frac{\text{BSM}}{\text{BSm}}$$

$$S_1 = \text{DBSM} - D_{P_{S_m}} = 67,5 - 64,82 = 2,68$$

$$S_2 = \text{DBSM} - D_{P_{S_m}} = 67,50 - 64,97 = 2,53$$

$$S_3 = \text{DBSm} - D_{P_{S_m}} = 66,5 - 64,82 = 1,68$$

$$S_4 = \text{DBSm} - D_{P_{S_m}} = 66,50 - 64,97 = 1,53$$

donde :

$$S_{MR} = 2,68 \text{ mm}$$

$$S_{mR} = 1,53 \text{ mm}$$

## 2. Diâmetro de saída de retífica no cone sincronizado

$$\text{Dimensão de desenho} = \text{dimensão da operação} = 53,10 \pm 0,25 \text{ mm}$$

$$\frac{D_{cm}}{D_{cm}} = \frac{D_{PCM}}{D_{PCM}} = \frac{53,35}{52,85} \text{ mm}$$

## 3. Diâmetro maior interno

$$\text{Dimensão de desenho} = \emptyset 44,5 \pm 0,25 = 44,70 / 44,20 \text{ mm} = \text{dimensão da operação}$$

### 3.b – Sobremetal removido

Medida do forjado = 43,50 / 43,00 mm

Os valores dos sobremetais máximo e mínimo removidos na operação são:

44,70	44,20	44,70	44,20
43,50	43,50	43,00	43,00
<hr/>			
1,20	0,70	1,70	1,20

Portanto:

$$\frac{S_{mR}}{S_{MR}} = \frac{0,70\text{mm}}{1,70\text{mm}}$$

#### 4. Saída de retífica do diâmetro

##### Medida da operação

Medida de desenho - medida de processo =  $\varnothing 28,45 \pm 0,25$  mm

Onde

$$\frac{DPiM}{DPim} = \frac{DiM}{Dim} = \frac{28,70}{28,20} \text{ mm}$$

#### 5. Diâmetro de ponta de broca

Medida de desenho = medida da operação =  $\varnothing 19,25 \pm 0,25$ mm

ou

$$\frac{DPbM}{DPbm} = \frac{DcM}{Dcm} = \frac{19,50}{19,00} \text{ mm}$$

## 6. Diâmetro de fundo de canal entre sincronizado e engrenagem

Medida de desenho -= medida da operação =  $\varnothing 39,35 \pm 0,25\text{mm}$

Ou:

$$\frac{DPCM}{DPCm} = \frac{DcM}{Dcm} = \frac{39,60}{39,10} \text{ mm}$$

As figuras 8.8, 8.9 e 8.10 mostram as dimensões da operação, distribuição de sobremetal e as diversas sub-operações executadas na operação 30.

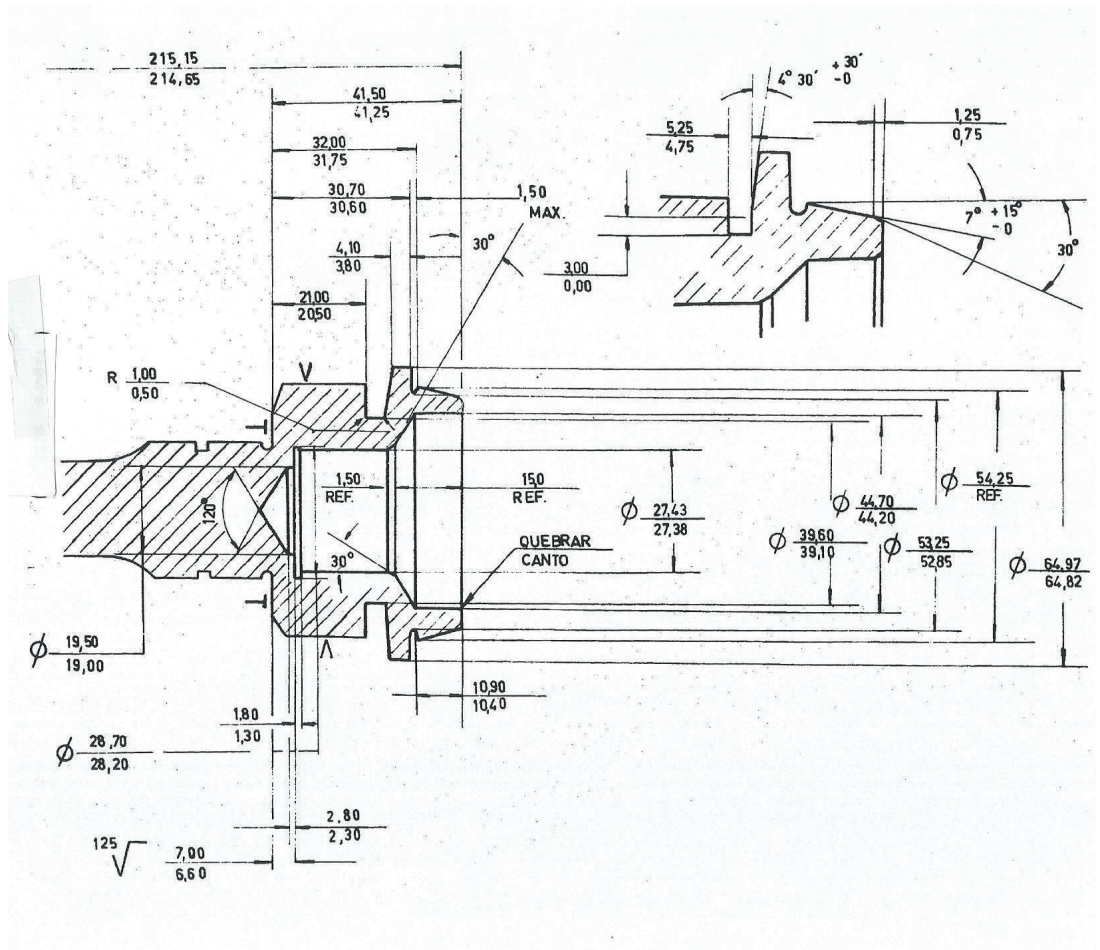


Figura 8.8 – Dimensões a serem respeitadas na operação 30

Fonte: Elaborado pelo autor.

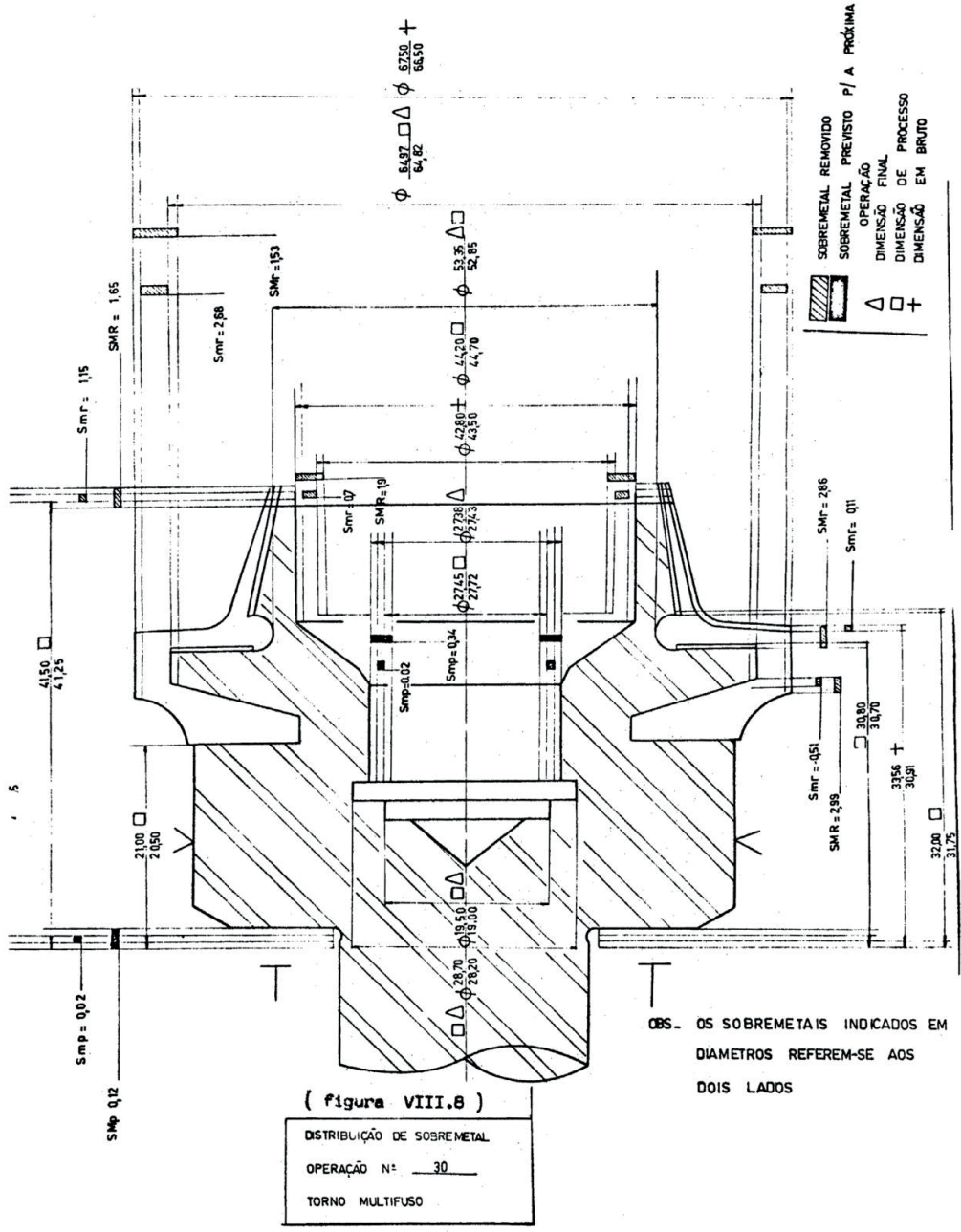


Figura 8.9 - Dimensões a serem observadas e distribuição de sobremetal – operação 30  
Fonte: Elaborado pelo autor.

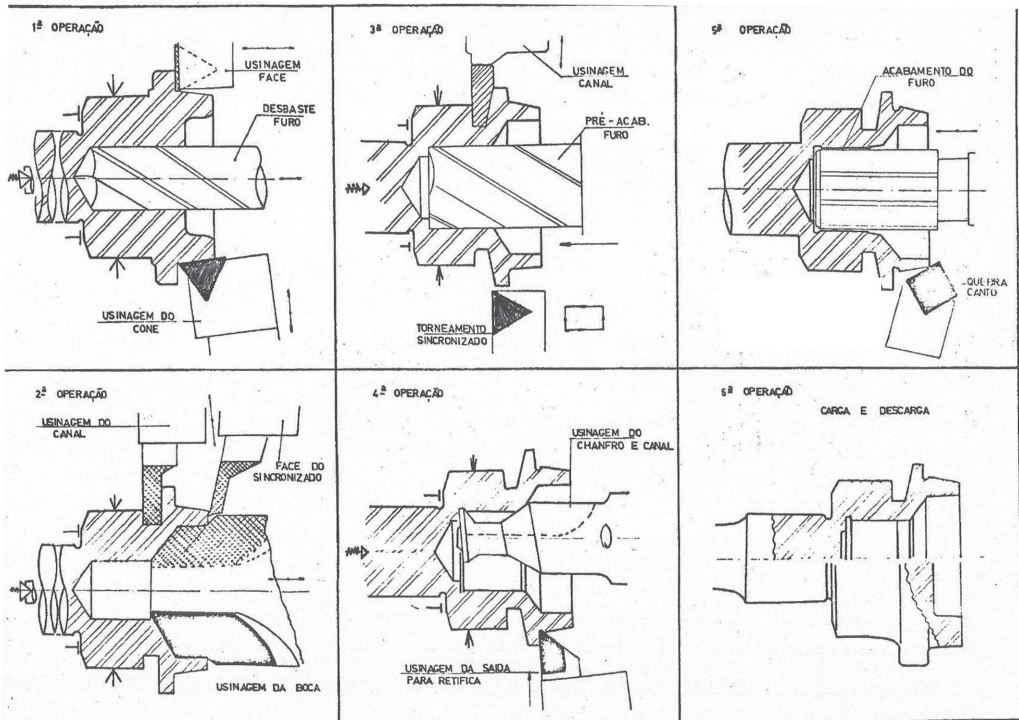


Figura 8.10 - Disposição de ferramentas em torno multifuso  
 Fonte: Elaborado pelo autor.

## b. Medidas Intermediárias

### 1. Diâmetro do rolamento interno

A medida de desenho é  $\phi \frac{DrM}{Drm} = \frac{27,72}{27,45}$  mm

Pela sequência de usinagem mostrada, vê-se este diâmetro é primeiramente desbastado com broca e, posteriormente, terminado com alargador na operação de torno multifuso. Assim sendo, o furo terminado em alargador prevê tolerância bastante apertada e acabamento superficial da ordem de  $Ra = 0,8 \mu\text{m}$ . Com poucos desvios de forma, pode-se adotar como sobremetal para retífica o valor:

$$S_m = 0,02 \text{ mm}$$

Pode-se acrescentar que as deformações de tratamento térmico são praticamente desprezíveis para este furo.

Assim:

$$D_{PrM} = D_{rm} - S_m$$

Portanto:

$$D_{PrM} = 27,45 - 0,02 = 27,43 \text{ mm}$$

$$T_{2M} = 27,43 \text{ mm}$$

Pode-se estabelecer que, com fixação rígida e acabamento bom, a tolerância da operação será:

$$D_{Prm} - D_{PrM} = 0,05 \text{ mm.}$$

As dimensões máxima e mínima para a operação serão:

$$\frac{D_{p_{rM}} = 27,43\text{mm}}{D_{p_{r_m}} = 27,38\text{mm}}$$

### **Sobremetal previsto para a operação de retífica**

Tem-se, a previsão de remoção para a operação de retífica:

$$D_{rM} / D_{rm} = 27,72 / 27,45 \text{ mm -}$$

$$D_{PrM} / D_{Prm} = 27,43 / 27,38 \text{ mm}$$

Assim, com dimensões em mm:

$$S_1 = D_{rM} - D_{Prm} = 27,72 - 27,38 = 0,34$$

$$S_2 = D_{rM} - D_{PrM} = 27,72 - 27,43 = 0,29$$

$$S_3 = D_{rm} - D_{Prm} = 27,45 - 27,38 = 0,07$$

$$S_4 = D_{rm} - D_{PrM} = 27,45 - 27,43 = 0,02$$

Donde, as remoções previstas são:

$$SmP = 0,02 \text{ mm}$$

$$SMP = 0,34 \text{ mm}$$

### Sobremetal de broca para alargador:

$$DPrM / DPrm = 27,43 / 27,38 \text{ mm}$$

$$D'PrM / D'Prm = 26,70 / 26,60 \text{ mm}$$

$$S'1 = DPrM - D'Prm = 27,43 - 26,60 = 0,83 \text{ mm}$$

$$S'2 = DPrM - D'PrM = 27,43 - 26,70 = 0,73 \text{ mm}$$

$$S'3 = DPrm - D'PrM = 27,38 - 26,70 = 0,68 \text{ mm}$$

$$S'4 = DPrm - D'Prm = 27,38 - 26,60 = 0,78 \text{ mm}$$

Donde:

$$S'Pm = 0,68 \text{ mm}$$

$$S'PM = 0,83 \text{ mm}$$

### Sobremetal da primeira broca para a segunda (dimensões em mm)

$$\frac{D'_{PrM}}{D'_{Prm}} = \frac{27,43}{27,38}$$

$$\frac{D'_{PrM}}{D'_{Prm}} = \frac{26,00}{25,00}$$



$$S''_1 = D'_{Prm} - D''_{PrM} = 26,60 - 26,60 = 0,60$$

$$S''_2 = D'_{prm} - D''_{PrM} = 26,70 - 26,00 = 0,70$$

$$S''_3 = D'_{Prm} - D''_{prm} = 26,60 - 25,00 = 1,60$$

$$S''_4 = D'_{PrM} - D''_{prm} = 26,70 - 25,00 = 1,70$$

$$\underline{S''_{Pm} = 0,60 \text{ mm}}$$

$$S''_{PM} = 1,70 \text{ mm}$$

## 2. Diâmetro maior do cone do sincronizado

Medida da operação = Medida de desenho =  $54,00 \pm 0,25$  mm

$$\frac{D_{CSM}}{D_{CSm}} = \frac{54,25}{53,75} \text{ mm}$$

donde

medida média da operação =  $54,00 + 0,25 = 54,25$  mm

Como esta medida, para efeito de funcionamento, não é importante, visto ser mais importante a calibragem da distância da face da engrenagem até o cone sincronizado, tem-se:

$$D_{CSMS} = 54,25 \text{ mm}$$

## 3. Cone do sincronizado: Medidas de face

### a. Medidas finais

$$3.a) \text{ saída da retífica interna: } 2,55 \pm 0,25 = \frac{2,80}{2,30} \text{ mm}$$

$$3.b) \text{ saída de broca interna: } 1,55 \pm 0,25 = \frac{1,80}{1,30} \text{ mm}$$

$$3.c) \text{ largura de engrenagem sincronizadora} = \frac{4,05}{3,80} \text{ mm}$$

## b. Dimensões intermediárias

### 1. Distância da face da engrenagem ao início do sincronizado

Esta cota na peça pronta (desenho da peça) é:

$$LFM \cancel{=} LFm = 31,60 \quad 31,47 \quad \text{mm}$$

Na operação 20, executada no torno CNC, estabelece-se que a remoção da operação de retífica será:

**280 F** Retificar cone  $7^\circ \pm 3^\circ$ . Retificadora cilíndrica

Tem-se:

$$Smc = SM = 0,12 \text{ mm}$$

Portanto, a dimensão da operação será:

$$LPFm = LPM = SmC = SmCone = 31,60 + 0,12 + 0,03 = 31,75 \text{ mm}$$

Sendo:

$$SmR = 0,25 \cos 7^\circ = 0,03 \text{ mm}$$

$$LPFm = 31,75 \text{ mm}$$

Adotando-se:

$$Tt = 0,25 \text{ mm (tolerância de torneamento para face)}$$

Tem-se:

$$LPFM = 31,75 + 0,25 = 32,00 \text{ mm}$$

$$T2M = 32,00 \text{ mm}$$

Portanto:

$$LPFM \quad LPFm = 32,00 \quad 31,75 \text{ mm}$$

Sendo:

$$SmR = 0,25 \cos 7^\circ = 0,03 \text{ mm}$$

$$LPFm = 31,75 \text{ mm}$$

Adotando-se:

$$Tt = 0,25 \text{ mm (tolerância de torneamento para face)}$$

Tem-se:

$$LPFM = 31,75 + 0,25 = 32,00 \text{ mm}$$

$$T2M = 32,00 \text{ mm}$$

Portanto:

$$LPFM / LPFm = 32,00 / 31,75 \text{ mm}$$

A figura 8.11 mostra graficamente essas relações:

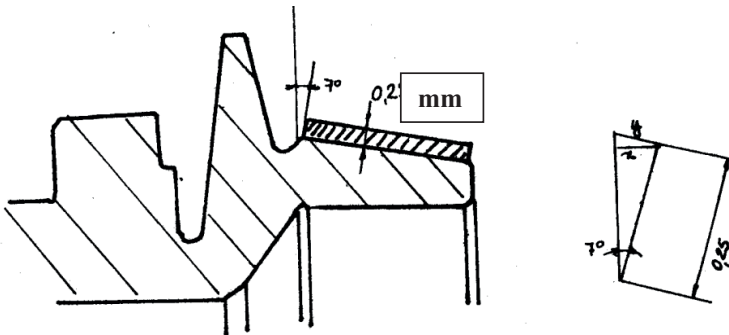


Figura 8.11 - Determinação de sobremetal no cone

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 2. Distância da face da engrenagem à face do sincronizado

Tem-se que a medida de desenho é:

$$\frac{L_{SM}}{L_{SM}} = \frac{30,58}{30,45} \text{ mm}$$

Pelo mesmo raciocínio anterior, tem-se:

$$L_{PSm} = L_{SM} + S_m = 30,58 + 0,12 = 30,70 \text{ mm}$$

Adotando a tolerância de torno de  $T_M = 0,1\text{mm}$ , tem-se:

$$L_{PM} = 30,80\text{mm}$$

Portanto:

$$\frac{L_{PSM}}{L_{PM}} = \frac{30,80}{30,70} \text{ mm}$$

### Sobremetal removido

#### Medida da peça em bruto — forjado:

A medida do forjado é composição de duas cotas em mm:

$$L_1 = 26,30 + 0,5 = \frac{26,80}{26,30}$$

$$L_2 = 6,4 + 0,5 = \frac{6,90}{6,40}$$

A remoção prevista na Operação 20 – torno CNC na face é 1,79 a 0,14mm

$$26,80 - 0,14 = 26,66 \text{ mm}$$

$$26,3 - 1,79 = 24,51 \text{ mm}$$

Donde:

$$L_{BfM} = 6,9 + 26,66 = 33,56 \text{ mm}$$

$$LB_{fm} = 6,4 + 24,51 = 30,91 \text{ mm}$$

Ou:

$$\frac{L_{BfM}}{L_{Bfm}} = \frac{33,56}{30,91} \text{ mm}$$

Sendo as dimensões da operação :

$$\frac{L_{PfM}}{L_{Pfm}} = \frac{30,80}{30,70} \text{ mm}$$

Portanto:

$$S_M = L_{BfM} - L_{Pfm} = 33,56 - 30,70 = 2,86 \text{ mm}$$

$$S_m = L_{Pfm} - L_{Pfm} = 30,91 - 30,80 = 0,11 \text{ mm}$$

$$S_{MR} = 2,86 \text{ mm}$$

$$S_{mR} = 0,11 \text{ mm}$$

Estes são o sobremetal máximo e mínimo a serem removidos simultaneamente nas faces da engrenagem sincronizadora e engrenagem menor. Resta verificar se sobrou sobremetal para a usinagem da largura do sincronizado do outro lado.

Assim, tem-se que:

$$\frac{L_M}{L_m} = \frac{4,05}{3,80} \text{ mm}$$

A dimensão do forjado é:

$$\frac{L_{PM}}{L_{Pm}} = \frac{6,90}{6,40} \text{ mm}$$

Assim, a remoção do sobremetal em ambos os lados será:

$$S_M = L_{PM} - L_m = 6,90 - 3,80 = 3,10 \text{ mm}$$

$$S_m = L_{Bm} - L_M = 6,40 - 4,05 = 2,35 \text{ mm}$$

$$\frac{S_{TMR}}{S_{TmR}} = \frac{3,10}{2,30} \text{ mm}$$

Para a definição da boa distribuição de sobremetal, tem-se que verificar:

### 3. Distância da face da engrenagem à face do cone sincronizado

Medida da peça acabada (desenho) é:

$$41,25 \pm 0,25 = 41,50 / 41,00 \text{ mm}$$

Adota-se redução da tolerância de desenho para efeito de garantia de sobremetal.

Assim:

$$\text{dimensão de processo} = \varnothing 41,50 / 41,25 \text{ mm}$$

#### Sobremetal removido

Tem-se que o sobremetal total removido nas duas faces, é:

$$STMR = 3,10 \text{ mm}$$

$$STmR = 2,30 \text{ mm}$$

O sobremetal removido em uma face é:

$$SMR = 2,86 \text{ mm}$$

$$SmR = 0,10 \text{ mm}$$

Portanto o sobremetal removido na outra face, será:

$$S'MR = STMR - SmR = 3,10 - 0,10 = 3 \text{ mm}$$

$$S'mR = STmR - SMR = 2,30 - 2,86 = - 0,56 \text{ mm}$$

Ou seja, haverá um ponto que haverá falta de sobremetal, havendo necessidade de reestudo das dimensões.

Este caso evidencia quando o processamento de usinagem deve intervir no projeto da peça em bruto.

### Operação 40 — Retificar diâmetro do rolamento

**Classificação:** Operação intermediária

**Máquina:** Retificadora cilíndrica

Como já foi dito anteriormente, é uma operação auxiliar destinada a corrigir desvios de excentricidade no torneamento, afim de permitir o corte e acabamento dos dentes dentro dos desvios permissíveis de passo e perfil (figura 8.12).

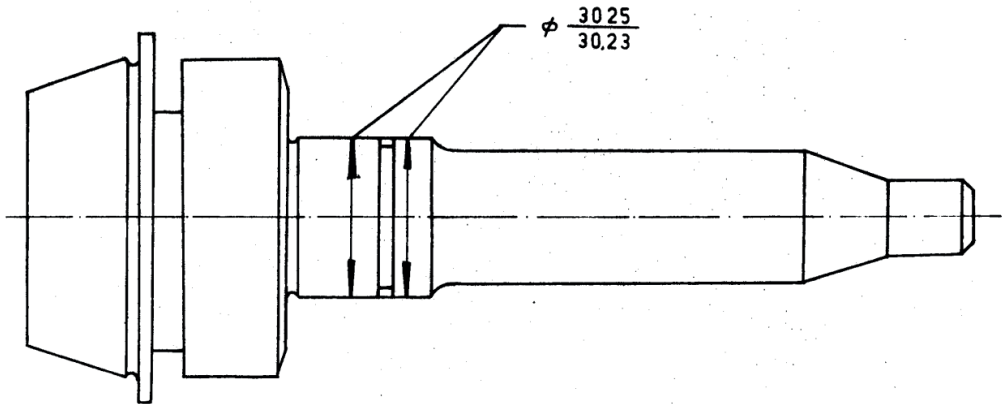


Figura 8.12 - Cotas a serem seguidas na operação.40

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 1. Dimensão da operação

### a. Dimensão final da peça

$$\frac{D_{RM}}{D_{Rm}} = \frac{30,01}{30,00} \text{ mm}$$

Adotando-se:

$$S_m = 0,22 \text{ mm}$$

Tem-se:

$$D_{\text{PRm}} = D_{\text{RM}} + S_m = 30,01 + 0,22 = 30,23 \text{ mm}$$

Adotando:

$$D_{\text{IPRM}} - D_{\text{PRm}} = 0,02 \text{ mm (tolerância de retífica)}$$

Tem-se:

$$D_{\text{IPRM}} = 30,25 \text{ mm}$$

Portanto:

$$\frac{D_{\text{IPRM}}^I}{D_{\text{PRm}}^I} = \frac{30,25}{30,23} \text{ mm}$$

### **b. Sobremetal removido**

Tem-se:

$$D_{\text{PRM}} / D_{\text{PRm}} = 30,65 / 30,50 \text{ mm}$$

(Dimensões previstas na Operação 20 — torneamento de cauda)

Dimensões na Operação 40 — retificar diâmetro

$$\frac{D_{\text{PRM}}'}{D_{\text{PRm}}'} = \frac{30,25}{30,23} \text{ mm}$$

Donde:

$$S_M = D_{\text{PRM}} - D_{\text{PRm}}' = 30,66 - 30,23 = 0,43 \text{ mm}$$



$$S_m = D_{PRm} - D'_{PRM} = 30,50 - 30,25 = 0,25\text{mm}$$

$$S_{MR} = 0,43\text{mm}$$

$$S_{mR} = 0,25\text{mm}$$

### **Operação 50 — Re tificar antes do tratamento térmico diâmetro da cauda**

**Classificação:** Operação intermediária

**Máquina:** Retificadora cilíndrica

Operação auxiliar destinada a calibrar dimensão necessária para a conformação a frio (sistema Roto-Flo) das estrias da cauda.

**120** F Rolar a frio 14 estrias Conformadora a frio – Roto Flo

#### 1. Dimensão da operação

Neste caso, a dimensão a ser usinada nesta operação, é determinada pelas necessidades do processo de conformação a frio. O diâmetro antes da operação de rolar representa aproximadamente o diâmetro primitivo da estria, se considerar o volume de material que é comprimido para os vazios como constante. O diâmetro primitivo da estria é de  $\varnothing 23,70$  mm, porém, como se trata de estria truncada (*adendum dedendum*), a dimensão de processo é:

$$DCM/DCm = 23,05/ 22,99 \text{ mm}$$

#### **a. Sobremetal removido**

Tem-se:

$$DPCM/DPCm = 23,40/ 23,25\text{mm (operação de torno)}$$

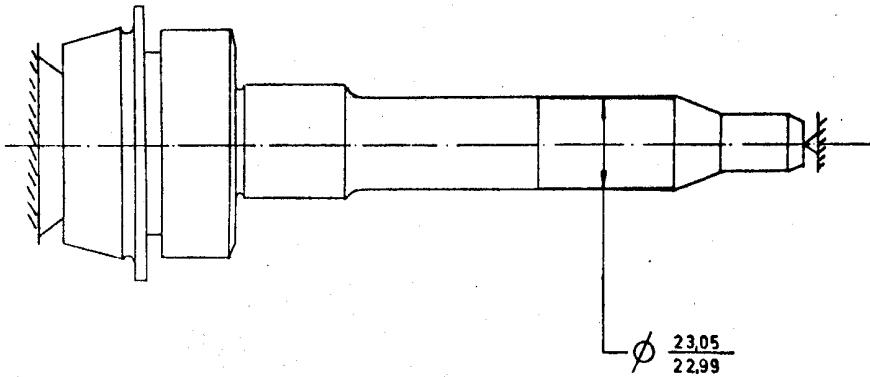


Figura 8.13 – Cotas a serem seguidas na operação 50  
Fonte: Elaborado pelo autor.

Tem-se:

$$S_M = D_{PCM} = 23,40 - 22,99 = 0,41 \text{ mm}$$

$$S_m - D_{PCm} = 23,25 - 23,05 = 0,20 \text{ mm}$$

Donde:

$$\frac{S_{MR}}{S_{mR}} = \frac{0,41 \text{ mm}}{0,20 \text{ mm}}$$

### Operação 60 — Cortar 30 dentes do sincronizador

**Classificação:** Operação final

**Máquina:** Cortadora de Dentes “Fellows 74”

**Fixação e referência:**

Contrapontos na parte menor da peça e diâmetro retificado na Operação 40.

A figura 8.14 mostra a fixação e localização pela linha de centro.

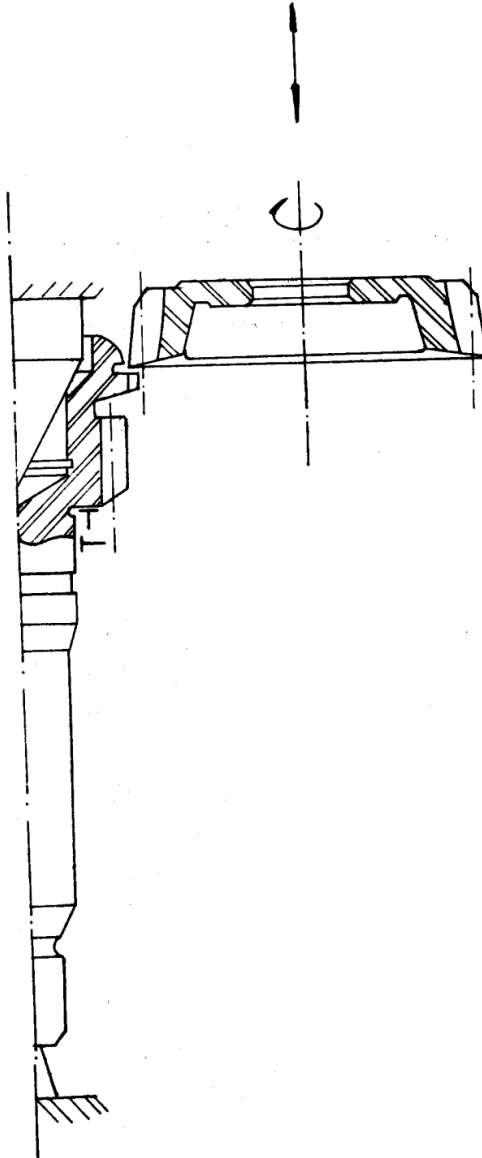


Figura 8 14 - Fixação e referência para corte de dente  
Fonte: Elaborado pelo autor.

**- Especificação da operação:**

A operação de corte de dentes é detalhada conforme figura 8.15.

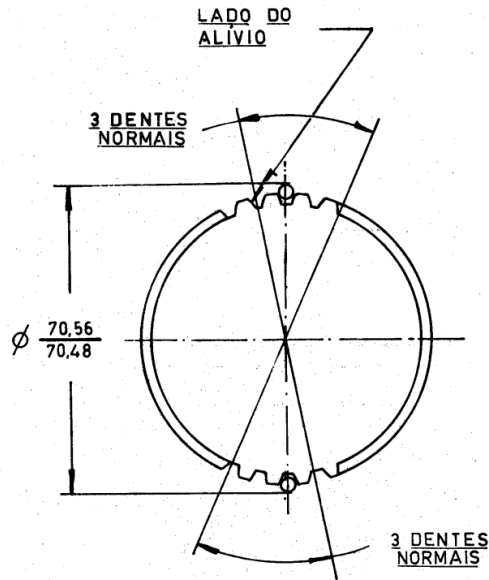


Figura 8.15 – Especificação de corte dos dentes de sincronização  
Fonte: Elaborado pelo autor.

Deve-se tomar cuidado nesta operação que o alívio dos dentes saia exatamente do lado indicado pelo desenho (vide figura 8.16). O alívio nos dentes é representado pela figura 8.16.

A dimensão a ser controlada nesta operação é dimensão sobre pinos em dentes não aliviados, para se controlar a espessura circular do dente. Os erros de espaçamento são controlados através de um calibrador estriadoque controla o erro efetivo de corte.

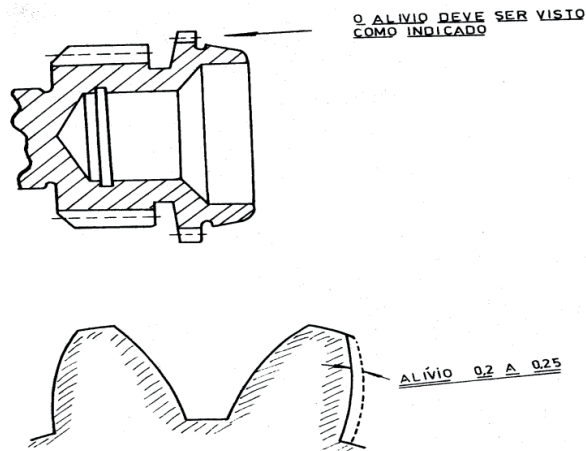


Figura 8.16 - Determinação do lado do alívio  
Fonte: Elaborado pelo autor.

São dados ainda, como complementação de informação para o corte dos dentes as informações da engrenagem sincronizadora.

Dimensão sobre pinos : 70,56 / 70,48

Diâmetro dos pinos: 4,445 mm

Número de dentes: 30

Pitch normal: 12

Ângulo de pressão normal: 12

Excentricidade máxima LTI: 0,075 LTI (mm)

Altura total do dente: 2,16 – 2,41

Ângulo de início envolvente : 27°

Sentido da hélice: reta

### **Operação 70 — Cortar em semi acabamento 15 dentes**

**Máquina:** Cortadora de dentes “Lorenz SN-4”

Fixação e Referência: (figura 8.17)

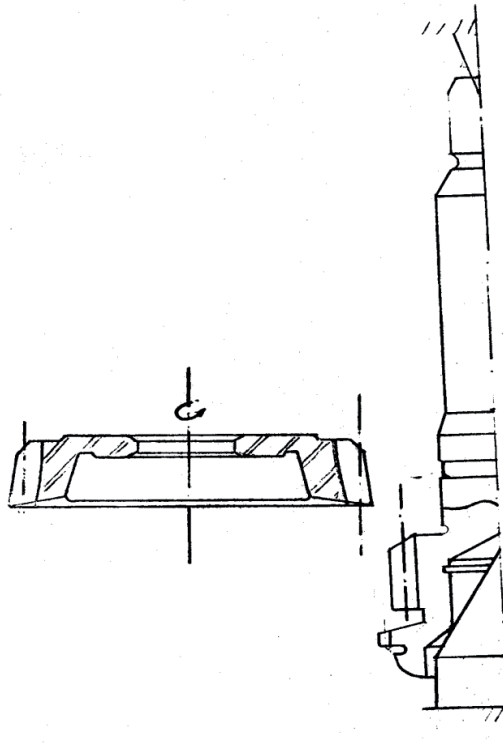


Figura 8.17 - Localização referência para operação de corte – operação 70  
Fonte: Elaborado pelo autor.

### Especificações da operação

A principal especificação na operação de corte de dentes, é garantir sobremetal para a operação de acabamento dos dentes (shaving).

Os sobremetais normalmente deixados para a operação de acabamento, são os já especificados no capítulo correspondente à sobremetal.

Para facilidade de controle, a dimensão da espessura circular é controlada pela dimensão sobre pinos.

A dimensão sobre pinos está diretamente relacionada à espessura circular através do ângulo da pressão da engrenagem.

A variação da dimensão sobre pinos com relação à espessura circular é calculada de acordo com o desenvolvimento a seguir.

Chamando-se:

$D_{sp}$  = dimensão sobre pinos

$s$  = espessura circular

$\Delta d_{sp}$  = variação da dimensão sobre pinos

$\Delta e$  = variação da dimensão sobre pinos

$\alpha$  = ângulo de pressão da engrenagem

$\Delta e_f$  = variação da espessura circular por flanco.

$$1) \operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta e_f}{\frac{d_{sp}}{2}}$$

$$2) \operatorname{tg} \alpha = \frac{2\Delta e}{d_{sp}}$$

$$3) \Delta d_{sp} = 2\Delta e_f$$

Onde  $k$  = constante função do ângulo de pressão =  $\frac{1}{\operatorname{tg} \alpha}$

Assim:

$$\alpha = 45^\circ \quad K = 1$$

$$\alpha = 30^\circ \quad K = 1,73$$

$$\alpha = 20^\circ \quad K = 2,74$$

$$\alpha = 14^\circ \quad K = 3,87$$

A variação da dimensão sobre pinos ( $\Delta d_{sp}$ ) relacionada com a variação da espessura circular e dada pela expressão abaixo:

$$\Delta e = \frac{e_c - e_f}{2}$$

Onde:  $e_f$  = espessura circular final,  $e_c$  = espessura circular de corte por flanco para um pino de diâmetro  $d_p$ .

Assim, conforme a inclinação de curva evolvente, definida pelo ângulo de pressão, haverá uma variação correspondente à dimensão sobre pinos. A variação da dimensão sobre pinos será tão mais sensível quanto menos for o ângulo da pressão.

A variação da dimensão sobre pinos deverá ser:

$$\Delta dsp_m = 0,15 \text{ mm}$$

$$\Delta dsp_M = 0,23 \text{ mm}$$

Pois  $e \alpha = 14$  e  $30'$

Assim sendo,

$$\frac{d_{sPMs}}{d_{sPms}} = \frac{56,69}{56,62} (\text{shaving}) \text{ mm}$$

Para pinos com  $dp = 5,56$  mm, temos que a dimensão sobre pinos para corte será definida por:

$$d_{spmc} = d_{spms} + \Delta dsp_m = 56,62 + 0,15 = 56,77 \text{ mm}$$

$$d_{spmc} = d_{spms} + \Delta dsp_m = 56,62 + 0,15 = 56,77 \text{ mm}$$

Assim:

$$\frac{d_{sPMc}}{d_{SPmc}} = \frac{56,85}{56,77} \text{ mm}$$

Onde:

$d_{SPMs}$  – dimensão sobre pinos máxima de shaver

$d_{SPms}$  – dimensão sobre pinos mínima de shaver

$d_{SPMc}$  – dimensão sobre pinos máxima de corte



$d_{SPmc}$  – dimensão sobre pinos mínima de corte

Portanto, os dados da operação serão:

Dimensão sobre pinos:	$\frac{56,84}{56,77}$ mm
Dimensão do pino:	5,557mm
Número de dentes:	15
Pitch normal:	10.732,30
Ângulo de pressão normal:	14°30'
Excentricidade máxima:	0,075 LTI
Altura total do dente:	6,35 / 6,60 mm
Ângulo início de evolvente:	10°
Sentido da hélice:	esquerda

### **Operação 80 — Chanfrar 30 dentes**

**Classificação:** Operação final

**Máquina:** Chanfradora

#### **Dados da operação — Especificações**

O chanframento dos dentes de sincronizados é feito para facilitar-se o engrenamento com o anel sincronizador. O perfil é conseguido através de uma ferramenta de aço rápido (chanfrador) rotativa, que percorre a curva necessária para a formação do chanfro. Este pode ainda ser conseguido através de um chanfrador que usine de topo através de um processo de formação do chanfro, ao invés do processo anterior de geração. As especificações da operação são dadas na figura 8.18, com dimensões em mm.

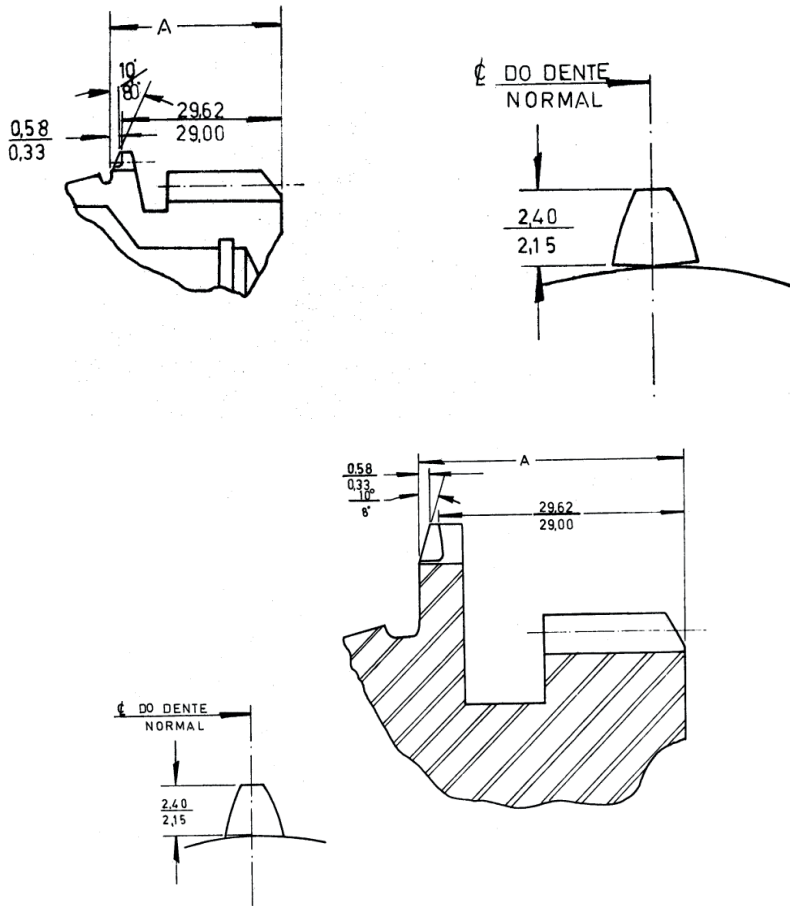


Figura 8.18 - Operação 80 –Chanframento de dentes – especificações  
 Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 8.19 mostra as características dimensionais do chanfro a ser usinado.

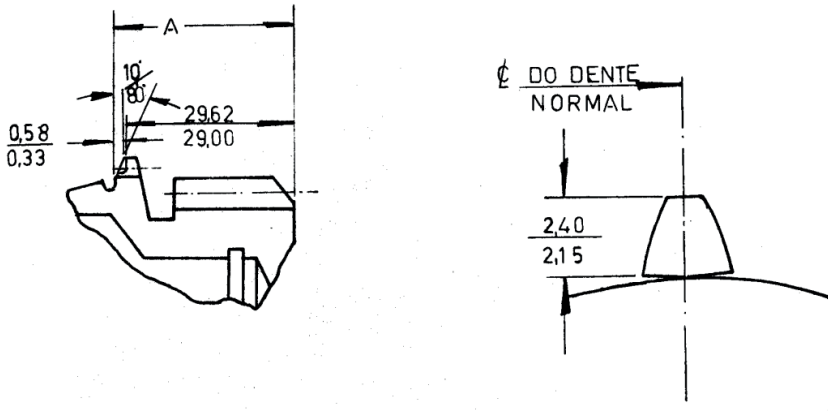


Figura 8.19 - Operação 80 - Características do chanfro  
 Fonte: Elaborado pelo autor.

**Operação 90 — Fresar Rasgo 3,05/2.50**

**Classificação:** Operação fundamental

**Máquina:** Fresadora Universal

A figura 8.20 mostra as especificações da operação, assim como as referências de fixação:

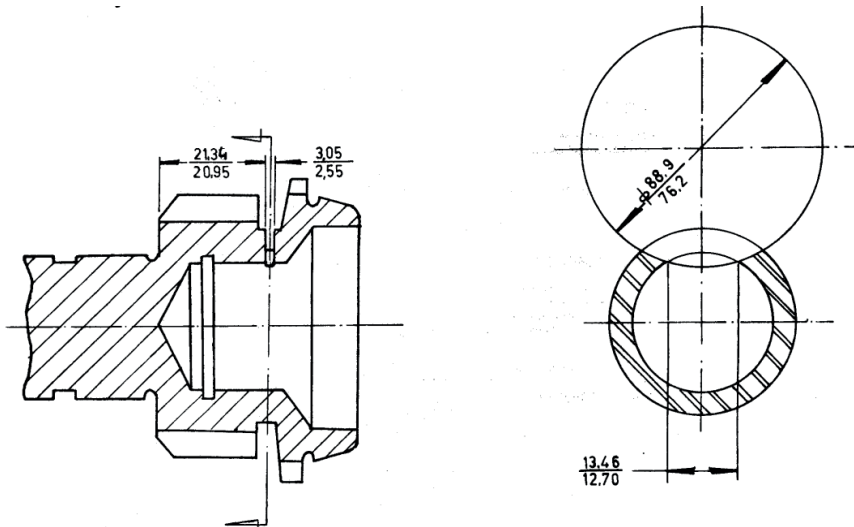


Figura 8.20 - Fixação, referência, especificações da operação 90  
 Fonte: Elaborado pelo autor.

**Especificações da operação:**

As dimensões especificadas para o fresamento são todas coincidentes com as do desenho, a menos da medida da face da engrenagem até o rasgo, obtidas na operação 260:

**260 F** Retificar  $\varnothing 30,01 / 30,0$  e face Retificadora angular

LRM / RRm = 21,34 / 29,89 mm (dimensão de desenho  $21,08 \pm 0,25$ )

A engrenagem terá retífica da face, com remoção de:

$SM = 0,12$  mm

$Sm = 0,040$  mm

### **Operação 100 — Re barbar saída em $\varnothing$ externo da engrenagem**

**Classificação:** Operação intermediária

**Máquina:** Torno de rebarbar

**Fixação:**

Entre centros.

**Especificação da operação:**

Operação complementar, como já foi definido anteriormente, destinada a evitar rebarbas que poderiam prejudicar a operação de acabamento das engrenagens (Figura 8.20).

**150 F** Acabar 15 dentes antes do tratamento térmico

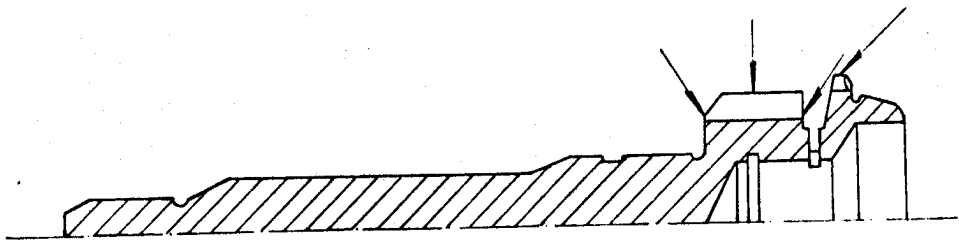


Figura 8.21 - Indicação das partes da peça a serem rebarbadas  
Fonte: Elaborado pelo autor.

### **Operação 110 — Rebarbar fundo do canal e chanfro do sincronizado**

**Classificação:** Operação intermediária

**Local de operação:** Bancada

Operação complementar destinada a eliminar rebarbas provenientes das operações 80 e 90, feita com lima ou rasquete.

80	F	Chanfrar 30 dentes	Chanfradora de dentes
90	F	Fresar rasgo 3,05 / 2,55	Fresadora horizontal

As especificações da operação são dadas na figura 8.21.

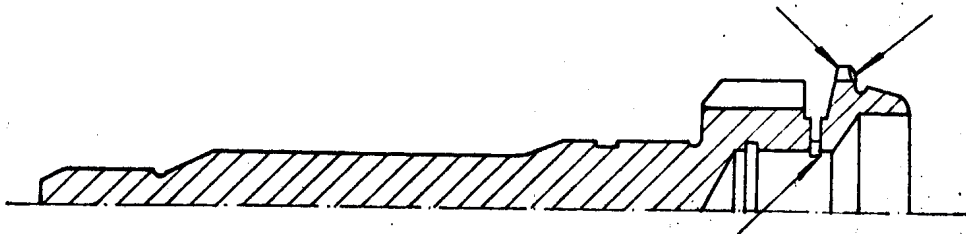


Figura 8.22 - Rebarbar nos lugares indicados pelas setas  
Fonte: Elaborado pelo autor.

### Operação 120 — Rolar a frio 14 estrias

**Classificação:** Operação final

**Máquina:** Conformadora a frio

**Fixação e referência:**

A fixação da peça é feita através dos centros, que também são referência de usinagem (figura 8.22).

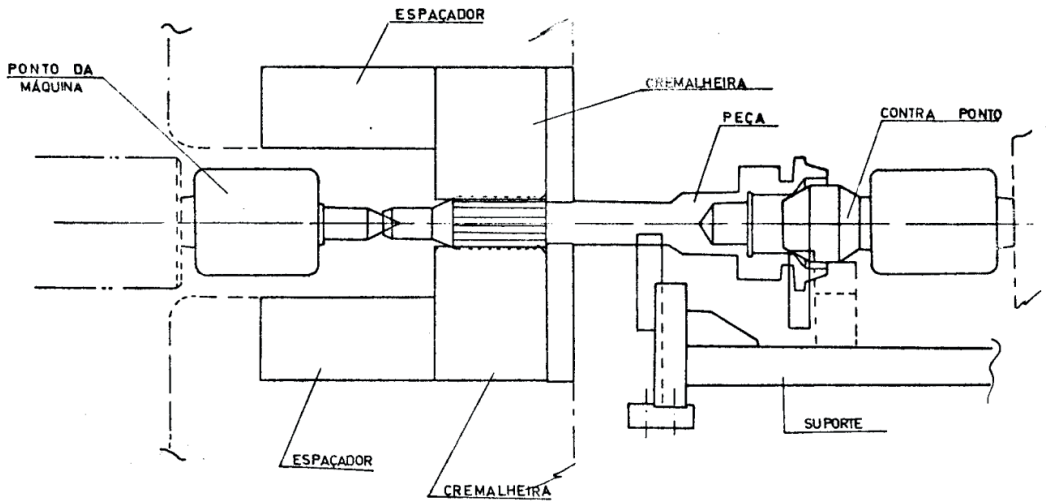


Figura 8.23 - Operação 120 - Fixação e referência para rolagem a frio  
Fonte: Elaborado pelo autor.

### Especificação da operação:

O processo de conformação a frio consiste na formação dos dentes através do fluxo de material pelo esmagamento ocasionado pelo movimento longitudinal das cremalheiras (figura 8.23). O espaçamento entre os dentes, assim como a dimensão da espessura circular, devem ser mantido dentro das características exigidas pelo desenho do produto.

As especificações da estria são detalhadas abaixo:

Dimensão sobre pinos: 27,69mm

Dimensão dos pinos: 3,05mm

Número de dentes: 14

Pitch normal: 15.875

Ângulo de pressão normal: 30°

Excentricidade máxima LTI: 0,05 mm

Altura total do dente: 1,50 / 1,75mm

Sentido da hélice: reta

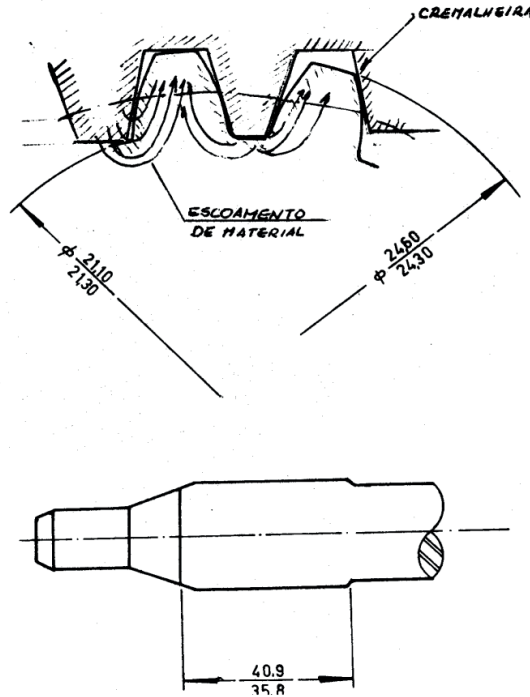


Figura 8.24 - Princípio de funcionamento da rolagem a frio  
 Fonte: Elaborado pelo autor.

### Operação 130 — Lavar

**Classificação:** Operação intermediária

**Local de execução:** Bancada

Operação complementar necessária à execução da operação de “Shaving”, para eliminação de rebarbas.

**150**            F        Acabar 15 dentes antes do tratamento térmico

### Operação 140 — Rolar 15 dentes

**Classificação:** Operação intermediária

**Local de execução:** Bancada

Nesta operação de inspeção, verifica-se o contato juntamente com uma engrenagem padrão, para ser executada o acabamento dos dentes através da operação 150 de acabar 15 dentes. É uma operação necessária para evitar que sobremetal maior que o previsto possa prejudicar a

operação de acabamento de dentes, com quebra de ferramentas, ou ainda ocasionado problemas de qualidade, tais como deformação de perfil, de passo ou ainda excentricidade.

### Operação 150 — Acabar 15 dentes

**Classificação:** Operação final

**Máquina:** Acabadora de dentes tipo Rotary Shaver

**Fixação e referência:**

Por se tratar de operação final de acabamento de engrenagem, a fixação e a referência é sempre feita entre pontos, conforme figura 8.24.

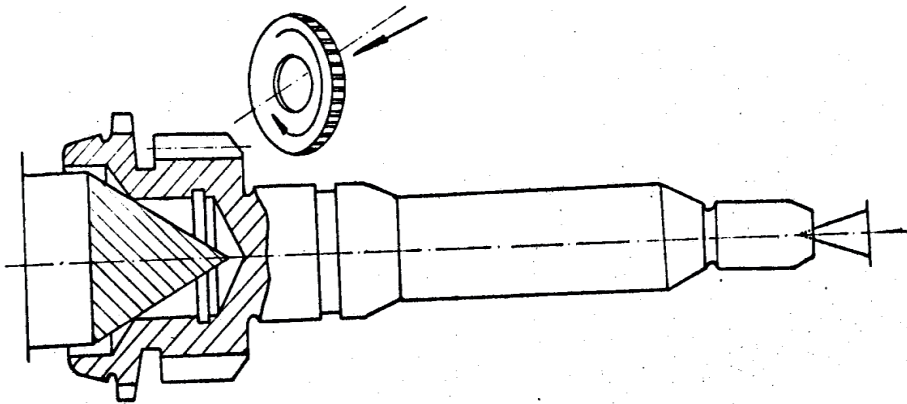


Figura 8.25 - Operação 150 - Fixação e referência para acabamento dos dentes antes do tratamento térmico

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quando não for possível o corte entre centros, será necessária uma retífica antes do tratamento térmico no diâmetro de encosto da peça para reduzir excentricidade de corte. Além disso, visto que a referência será uma face de encosto, esta deverá ser retificada, para evitar erros de perpendicularismo, que implicariam em erros de passo (embaralhamento) e perfil após o acabamento do dente. Tal problema ocorre quando a peça é suficientemente rígida para suportar a pressão de corte do “shaver”.

### Especificação da operação



Dentro das especificações a serem fornecidas para a execução da operação de acabamento dos dentes, duas devem ser seguidas cuidadosamente:

### 1. Dimensão sobre pinos

A dimensão de desenho específica:

$D_{sp} = 56,72 / 56,63 \text{ mm}$ , para rolete (pino) de  $d_p = 5,557 \text{ mm}$

Devido à deformações do tratamento térmico, já levadas em consideração no capítulo referente as influências do tratamento térmico nas operações de usinagem, ocorrem deformações no perfil que tendem a diminuir a espessura circular (figura 8.25).

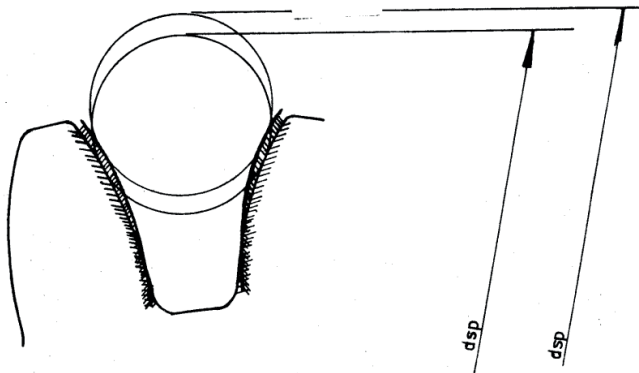


Figura 8.26 - Deformação do perfil da envolvente devido ao tratamento térmico  
Fonte: Elaborado pelo autor.

Por esse motivo, a dimensão sobre pinos deve ser mantida, (sempre de acordo com experiências) cerca de 0,01 mm abaixo da dimensão mínima de desenho. A dimensão máxima pode ficar até 0,03 mm abaixo da dimensão máxima pois que o processo de “shaver” permite uma tolerância de trabalho de 0,07 mm para este tamanho de dente.

Portanto, a dimensão a ser adotada será:

$$\frac{ds_{PMs}}{dS_{Pms}} = \frac{56,69}{56,62} \text{ mm} \quad (dp = 5,557 \text{ mm})$$

### Sobremetal removido na operação de acabamento dos dentes por “Shaver”

Tem-se que, da operação de corte, a dimensão sobre pinos foi estabelecida:

$$\frac{d_{SPMc}}{d_{SPmc}} = \frac{56,85}{56,77} \text{ mm}$$

Na operação de acabamento por “shaver”, a dimensão sobre pinos é estabelecida em:

$$\frac{d_{SPMS}}{d_{SPms}} = \frac{56,69}{56,62} \text{ mm}$$

Portanto, os sobremetais removidos são:

$$S_{Msp} = D_{SPMc} - D_{SPms} = 56,85 - 56,62 = 0,23 \text{ mm}$$

$$S_{msp} = d_{SPmc} - d_{SPms} = 56,77 - 56,69 = 0,08 \text{ mm}$$

Como o ângulo da pressão é de  $14^{\circ} 30'$ , tem-se que o sobremetal na espessura circular é:

$$S_{Me} = \frac{1}{3,84} S_{Msp} \quad S_{Me} = 0,06 \text{ mm}$$

e

$$S_{Me} = \frac{1}{3,84} S_{msp} \quad S_{Me} = 0,021 \text{ mm}$$

o que corresponde a uma remoção por flanco de:

$$S_{Mf} = \frac{1}{2} S_{Me} \quad S_{Mf} = 0,03 \text{ mm}$$

$$S_{mf} = \frac{2}{3} S_{me} \quad S_{mf} = 0,011 \text{ mm}$$

$$S_{Mf} = 0,03 \text{ mm}$$

$$S_{mf} = 0,011 \text{ mm}$$

### Operação 160 — Lavar

**Classificação:** Operação intermediária

**Máquina:** Máquina de lavar

Operação complementar, destinada a eliminar rebarbas e óleo de corte do da operação de acabamento dos dentes da engrenagem por shaver que podem influir na atmosfera carburante do forno de cementação, prejudicando as qualidades metalúrgicas da peça na operação do tratamento térmico.

**190**    F      Tratamento térmico                                      Forno contínuo

### Operação 170 — Marcar número, símbolo e data

**Classificação:** Operação intermediária

**Máquina:** Prensa

Operação complementar na qual são marcados o número da peça, símbolo da empresa responsável pela fabricação da peça e a data de fabricação para permitir rastreamentos futuros, se necessário.

### Operação 180 — Inspeção antes do tratamento térmico

**Classificação:** Operação intermediária

**Local:** Bancada

Com esta operação de inspeção, última antes da peça sofrer tratamento térmico, procura-se evitar que as peças sejam introduzidas no forno sem operações que deveriam ser feitas ou com

algumas dimensões fora da especificação de processo. Para isso, são usados todos os calibradores das operações anteriores, com os quais é possível determinar alguma falha ou engano, como por exemplo a falta de execução de operações ou operações parcialmente executadas.

### **Operação 190 — Tratamento térmico**

**Classificação:** Operação final

**Máquina:** Forno contínuo

**Material:** SAE 1524

#### **Especificações da operação:**

Como especificações de tratamento, são definidas as profundidades de casca e especificação do tratamento térmico.

→ Cementar a prof. (0,63–0,90) mm de profundidade;

→ Temperar e revenir para dureza de RC-38-63;

→ A dureza do núcleo na linha de reta do pé de dente deve ser RC-28-38.

### **Operação 200 — Inspeção de dureza**

**Classificação:** Operação final

**Máquina:** Aparelho de medição de dureza

São verificadas as durezas especificadas na operação anterior.

### **Operação 210 — Lapidação do centro maior**

**Classificação:** Operação intermediária

**Máquina:** Lapidadora de centros

Operação auxiliar destinada a recuperar o centro maior eliminando as distorções provocadas pelo tratamento térmico da peça, visto que este centro servirá para as retíficas posteriores.

<b>240</b>	F	Retificar Ø 14,986 / 14,973	Retificadora cilíndrica
<b>250</b>	F	Retificar Ø 24,32 / 24,30	Retificadora cilíndrica
<b>260</b>	F	Retificar Ø 30,01 / 30,0 e face	Retificadora angular
<b>270</b>	F	Retificar Ø 29,90 / 29,86	Retificadora cilíndrica

280	F	Retificar cone $7^\circ \pm 3^\circ$	Retificadora cilíndrica
290	F	Retificar $\varnothing$ interno 27,70 / 27,72	Retificadora Interna

A recuperação do centro, devido a área pequena de contato, é feita através de um dispositivo para fixação da lixa grana 100, a qual é usado para se eliminar as imperfeições introduzidas no chanfro pelo tratamento térmico. A figura 8.26 mostra esquematicamente esta operação.

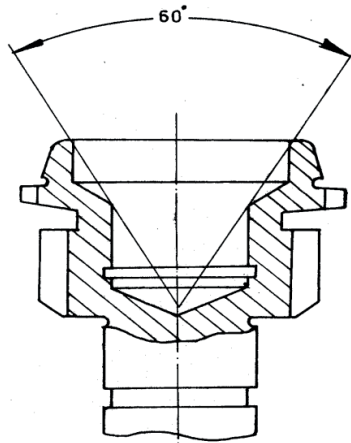


Figura 8.27 - Operação 210 - Lapidação do centro maior  
Fonte: Elaborado pelo autor.

### Operação 220 — Lapidar centro menor

Valém as mesmass considerações da operação anterior, somente ressaltando-se que a recuperação é feita com bastão da ponta de metal duro (figura 8.27). Após a recuperação dos centros das peças, serão feitas a seguir as operações de retífica e lapidação que colocarão as peças em suas dimensões finais. Antes, porém, é necessário prever operação auxiliar de esbamento.

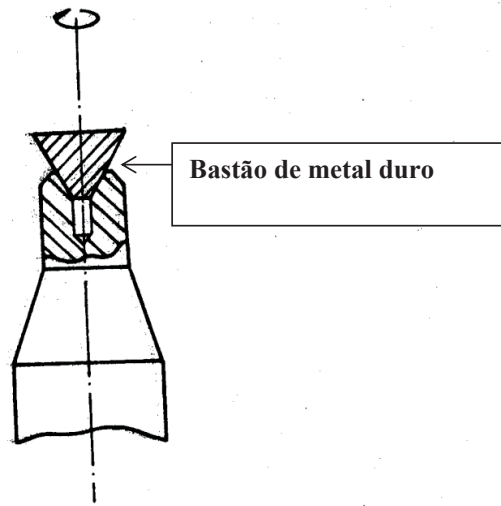


Figura 8.28 - Operação 220 - Lapidação do centro menor  
Fonte: Elaborado pelo autor.

### **Operação 230 — Desempenamento**

**Classificação:** Operação intermediária

**Máquina:** Prensa hidráulica

As operações de desempenamento são normalmente empregadas para o endireitamento das peças cujo comprimento é grande com relação aos diâmetros, para evitar falha de material nos diâmetros retificados, além de excentricidade excessiva entre engrenagens e estrias com a respectiva linha de centros. Todo desempenamento deve ser feito entre centros, fazendo-se a fixação pelos centros e verificação através de relógios comparadores. A pressão é exercida através da prensa hidráulica.

A figura 8.28 detalha as ações de desempenamento necessárias.

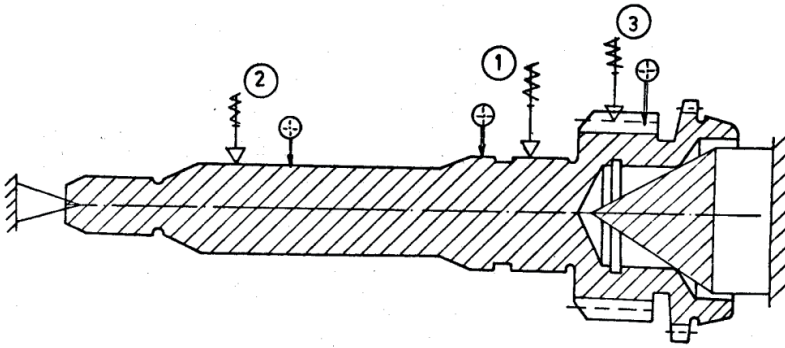


Figura 8.29 - Operação 230 - Desempenamento após tratamento térmico  
Fonte: Elaborado pelo autor.

### Especificações da operação:

O desempenamento, tanto nos diâmetros a serem retificados (1) como no diâmetro primitivo das estrias (2), ou da engrenagem (3), não deve ultrapassar 0,075mm LTI para evitar manchas por falta de sobremetal na retificação, além de concentricidade prevista entre o diâmetro de assento do rolamento e os diâmetros primitivos da engrenagem e estria.

### Operações de retificação interna

As operações de retificação externa previstas são:

240	F	Retificar $\varnothing$ 14,986 / 14,973	Retificadora cilíndrica
250	F	Retificar $\varnothing$ 24,32 / 24,30	Retificadora cilíndrica
260	F	Retificar $\varnothing$ 30,01 / 30,0 e face	Retificadora angular
270	F	Retificar $\varnothing$ 29,90 / 29,86	Retificadora cilíndrica
280	F	Retificar cone $7^\circ \pm 3^\circ$	Retificadora cilíndrica

**Classificação:** Operações finais

**Máquinas:** Retificadora cilíndrica / Retificadora angular

**Fixação e referência:**

A figura 8.29 mostra a fixação e referência para todas as operações de retificação externa será feita entre centros, com arraste da peça feita com arrastador pelos dentes do sincronizador. A fixação entre centros é fundamental para se garantir qualidade na peça pronta, visto ser a única

maneira de evitar erros de excentricidade entre os diâmetros retificados primitivos das engrenagens e estrias que compõem a peça. Para todos os diâmetros retificados:

- a- a excentricidade entre elas e a linha de centro não deve ultrapassar 0,025 mm LTI.
- b- os erros de ovalização e conicidade não devem ultrapassar metade da tolerância especificada para o diâmetro correspondente.

### Especificações das operações

#### Operação 240

Retificar diâmetro  $\phi \frac{14,985}{14,973}$ , mantendo acabamento  $0,8\sqrt{\text{mm}}$

#### Operação 250

Retificar diâmetro  $\phi \frac{24,320}{24,297}$  mm

#### Operação 260

Refitificar diâmetro  $\phi \frac{30,01}{30,00}$ , mantendo acabamento  $0,8\sqrt{\text{mm}}$  ao longo de todo o comprimento, além de se fixar a distância  $\frac{18,258}{18,960}$  mm, através de retífica na face com acabamento de  $1,2\sqrt{\text{mm}}$

#### Operação 270

Retificar diâmetro  $\phi \frac{29,896}{29,856}$ , mantendo acabamento  $0,8\sqrt{\text{mm}}$  no comprimento o indicado.



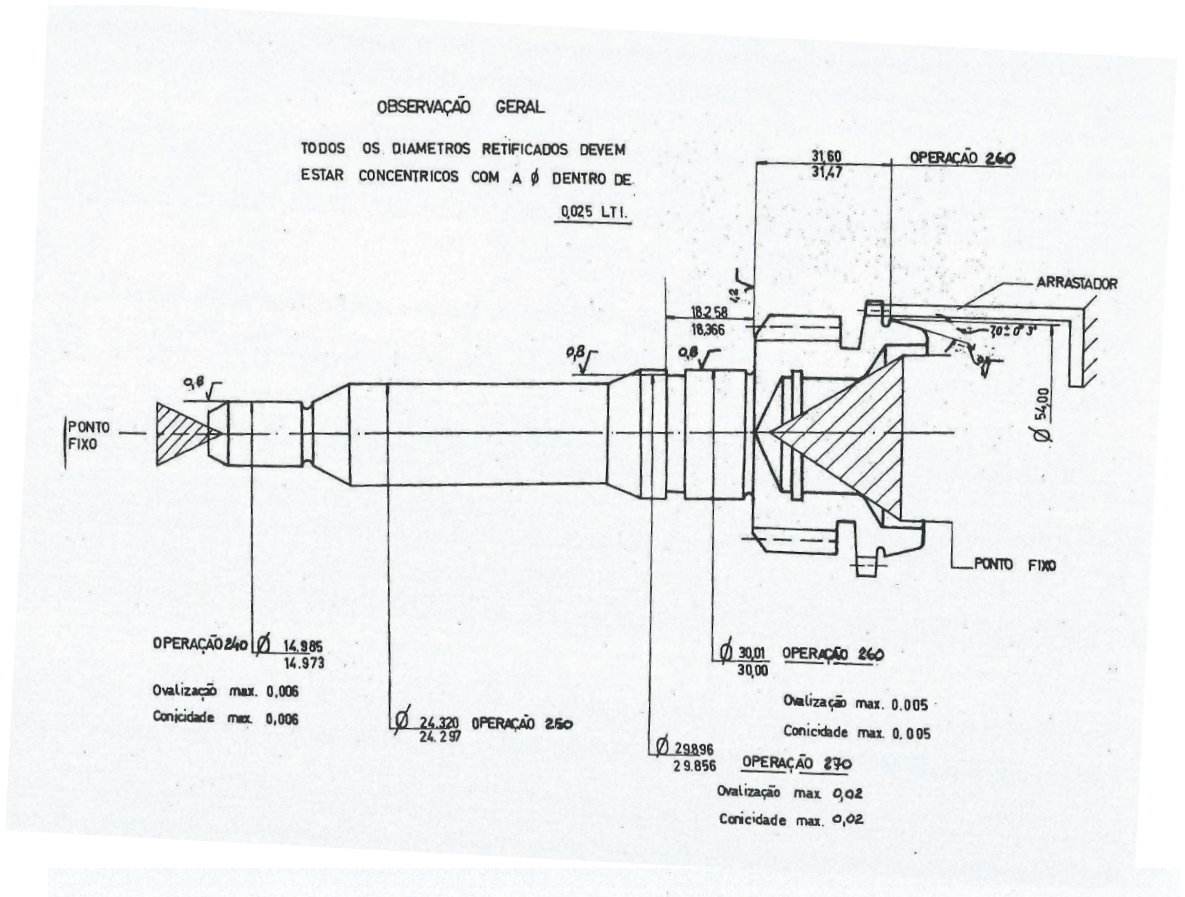


Figura 8.30 - Operações de retífica externa  
Fonte: Elaborado pelo autor.

### Operação 280

Retificar cone sincronizador para diâmetro de referência  $\phi$  54,00 mm, dentro de  $7^\circ \pm 3^\circ$ , mantendo-se a dimensão 34,60/34,47 mm.

**Classificação:** Operação final

**Máquina:** Retificadora cilíndrica

Esta dimensão é controlada através de um calibrador cônico que se assenta no cone e mede a distância a ser calibrada através de um calibrador de profundidade. A montagem dos rebolos para as várias operações pode ser esquematizada na figura 8.30.

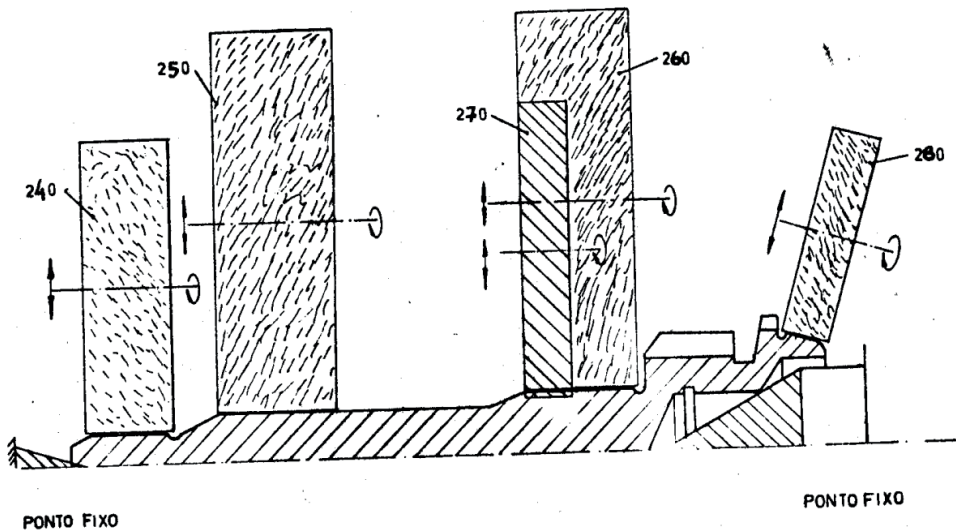


Figura 8.31 - Disposição dos rebolos para as operações de retífica externa  
Fonte: Elaborado pelo autor.

### Operação 290 — Retificar diâmetro interno $\varnothing 27,70/27,72$ mm

**Classificação:** Operação final

**Máquina:** Retificadora interna

**Fixação e referência:** (figuras 8.31 e 8.32)

A fixação e referência são feitas pelo ponto menor e por 3 (três) pinos no diâmetro primitivo da engrenagem, para evitar excentricidade entre o diâmetro interno retificado e o diâmetro primitivo da engrenagem.

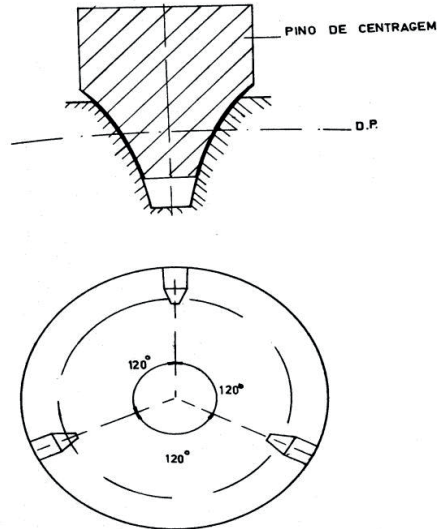


Figura 8.32 - Fixação e referência pelo Diâmetro Primitivo para retificação interna  
 Fonte: Elaborado pelo autor.

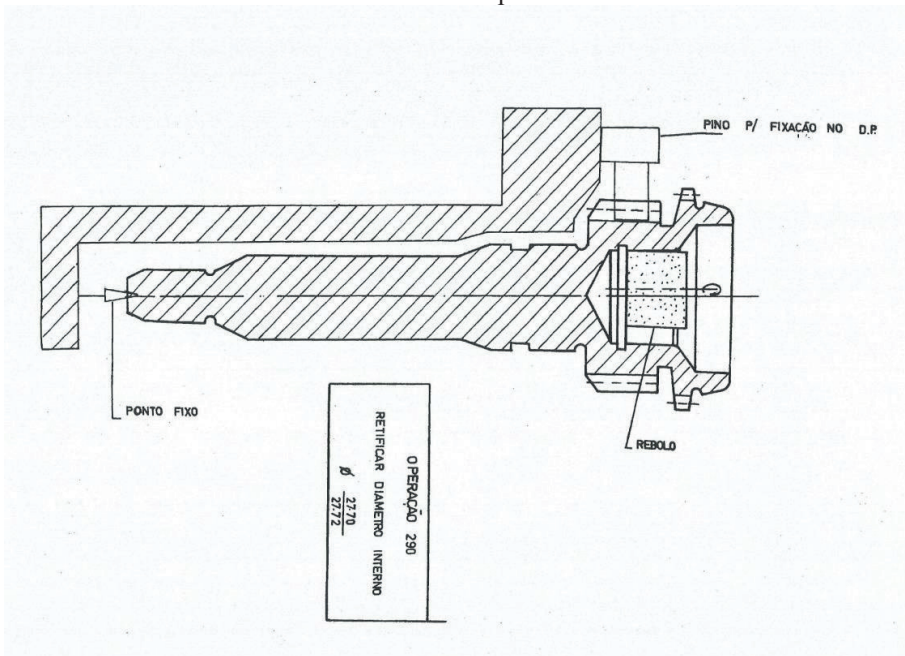


Figura 8.33 - Localização entre pontos e pelo diâmetro primitivo da engrenagem na retificação do furo interno  
 Fonte: Elaborado pelo autor.

**Especificações da operação:**

A figura 8.34 mostra a dimensão a ser seguida na operação 290 de retificação interna.

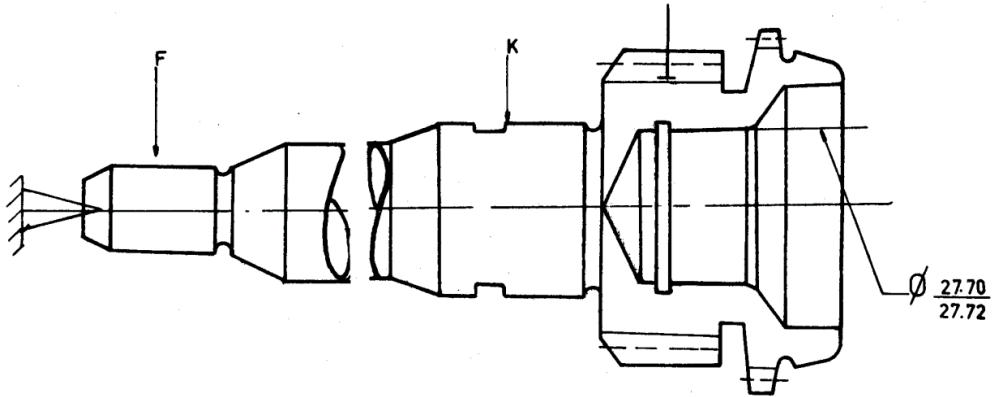


Figura 8.34 - Operação de retificação interna

Fonte: Elaborado pelo autor.

A dimensão a ser seguida é  $\varnothing \frac{27,70}{27,72}$  enquanto que:

1. O diâmetro interno deve ser concêntrico com o cone dentro de 0,025 mm LTI (especificação de desenho);
2. O diâmetro interno deve ser concêntrico com os diâmetros K e F dentro de 0,05 mm LTI (especificação de desenho);
3. O acabamento superficial não deve ultrapassar 0,8 microns (especificação de desenho).

**Operação 300 — Polir diâmetro Ø 29,89/29,85 mm**

**Classificação:** Operação final

**Máquina:** Torno mecânico

**Fixação e referência:**

Entre pontos

**Especificação da operação:** (figura 8.34)

**Operação 310 — Polir cone**

**Classificação:** Operação final

**Máquina:** Polidora

Nesta operação, o sobremetal removido é desprezível em relação às cotas já amarradas em retífica anterior. É importante o movimento do brunidor que, composto com a rotação da peça não forma linha circulares que são prejudiciais ao bom funcionamento do cone (figura 8.35).

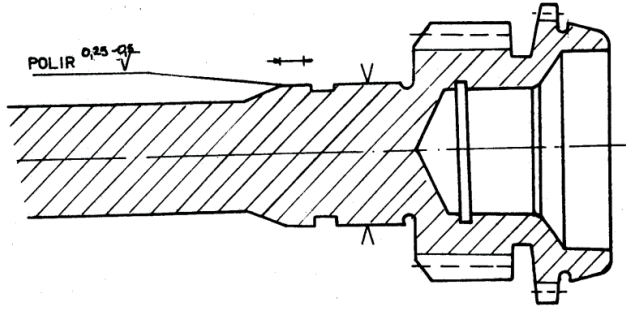


Figura 8.35 - Polir diâmetro  
Fonte: Elaborado pelo autor.

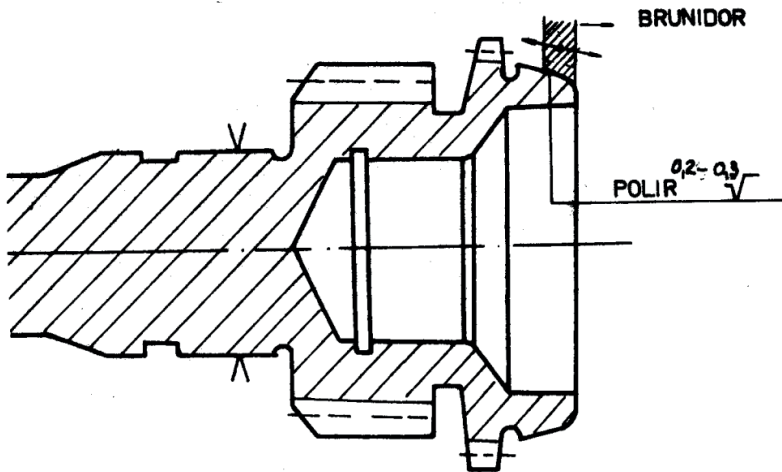


Figura 8.36 - Polir cone  
Fonte: Elaborado pelo autor.

**Operação 320 — Inspeção final**

**Classificação:** Operação final

**Local:** Bancada e instrumentos de medição

Nesta operação são inspecionadas dimensões e especificações de tolerâncias dimensionais, geométricas e metalúrgicas. Nesta operação deve--se atender ao princípio:

**Existência da relação biunívoca entre especificações da peça pronta e especificações constantes do respectivo desenho da peça.**

#### **Operação 330 — Testar ruído**

**Classificação:** Operação final

**Máquina:** Testadora de ruído “*Gear Speeder*”

#### **Fixação e referência:**

Entre centros.

A máquina possui dois (2) eixos paralelos, um motor, e outro movido (com uma ligeira ação de frenagem), que permitem a regulagem da distância entre centros. Um destes eixos é o eixo piloto e no outro a peça par (no caso a engrenagem maior do contra eixo). Ajusta-se a distância entre centros e aciona-se a máquina. Pelo ruído produzido pelo engrenamento, pode-se saber se há “batidas”, excesso ou falta de folgas entre dentes (“*back lash*”), erros na peça real quando confrontada com a especificação de tolerâncias dos ângulos de hélice das engrenagens, etc.

#### **Operação 340 — Lavar e passar óleo antioxidante**

**Classificação:** Operação final

**Máquina:** Máquina de lavar

Após a peça ser considerada aprovada, ela é lavada e borrifada com óleo antioxidante, sendo encaminhada para o almoxarifado de peças prontas, onde permanece até ser requisitada para a linha de montagem.



## REFERÊNCIAS

- [1] AGOSTINHO, O. L. **Tolerâncias, ajustes, desvios e análise de dimensões**. São Paulo: Blucher, 2007.
- [2] VEILLEUX, R. F.; PETRO, L. W. **Tool and manufacturing engineers handbook – tolerance control**. Dearborn: Society of Manufacturing Engineering, 1990. cap.2.
- [3] KOVAN, V. **Fundamentals of process engineering**. Moscow: Foreign Languages, 1958.
- [4] BALAKSHIN, B. **Fundamentals of manufacturing engineering**. Moscow: MIR, 1971.
- [5] GADZALA, J. L. **Dimensional control in precision manufacturing**. New York: McGraw Hill, 1959.
- [6] GUNN, T. G. **Manufacturing for competitive advantage**. New York: Ballinger, 1995.
- [7] GUIDI, P. **Intercambiabilità e lavorazioni in serie**. Milano: Sperling & Kupfer, 1947.
- [8] WADE, O.R. **Tolerance control in design and manufacturing**. New York: Industrial Press, 1985.
- [9] AGOSTINHO, O. L.; RODRIGUES, A. C.; LIRANI, J. **Princípios de engenharia de fabricação – processos de fabricação**. São Carlos: EESC/USP, 1995. v.1.
- [10] CHANG, C.M. **Engineering management**. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2005.
- [11] SUBRAMANIAN, K. **The System approach**. Cincinnati: Hanser Gardner, 2000.
- [12] HARVARD BUSINESS REVIEW. **Knowledge management**. Boston: Harvard Business School Publishing, 2002.
- [13] JURAN, J. M. **Quality control handbook**. New York: McGraw Hill, 1980.



- [14] JOHNSON, E. **Process engineering**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1963.
- [15] AGOSTINHO, O. L. **Sistemas de manufatura**. São Carlos: EESC/USP, 2011.
- [16] AGOSTINHO, O. L. **Competitividade**. São Paulo: UNICAMP; Faculdade de Engenharia Mecânica, 2011.
- [17] ROSS, J.W. et al. **Enterprise architecture as strategy**. Boston: Harvard Business School Press, 2006.
- [18] SAVAGE, C. M. **Fifth generation management, integrating enterprises through human networking**. Bedford: Digital Press, 2006.
- [19] JOHANSON, H. et al. **Business process reengineering**. New York: John Wiley, 2001.
- [20] SMITH, A. **An Enquiry into the nature and causes of wealth of nations** – portuguese edition. São Paulo: Nova Fronteira, 1996.
- [21] AMERICAN PRODUCTION AND QUALITY CONTROL. **Process clarification framework**. Houston, 2009.
- [22] BYRNE, J. A. The Horizontal corporation. **Business Week**, n. 3351, p. 78, Dec.1993.
- [23] KHALIL, T. **Management of technology**. New York: McGraw Hill, 2003.
- [24] AGOSTINHO, O. L. Technology and business strategies: methodology for correlation using knowledge management. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON MANAGEMENT OF TECHNOLOGY “CREATING AND MANAGING A KNOWLEDGE ECONOMY”, 17, 2008, France. **Proceedings...** Greece: CERTH, 2008.
- [25] HAMEL, G.; PRAHALAD, C. K. **Competing for the future**. New York: McGraw Hill, 1999.

- [26] BITTAR, R.; AGOSTINHO, O. L.; FERNANDES, G. Extended enterprise integration model associated with automation index. In: INTERNATIONAL MULTI-CONFERENCE ON COMPUTING IN THE GLOBAL INFORMATION TECHNOLOGY, 7., 2012, Venice. **Proceedings...** Copenhagen: IARIA XPS, 2012.
- [27] AGOSTINHO, O. L.; BATOCCHIO, A.; SILVA, I. B. Proposal of methodology to balance, correlate, and align technology and business strategies to competitiveness organization attributes. PMA Conference, 2012, Cambridge. **Proceedings...** [S.l.: s.n], 2012.
- [28] GUNN, T. G. **Manufacturing for competitive advantage**. New York: Ballinger, 1995.
- [29] GUIDI, P. **Intercambiabilità e lavorazioni in serie**. Milano: Sperling & Kupfer, 1972.
- [30] VEILLEUX, R. F.; PETRO, L. W. **Tool and manufacturing engineers handbook** – tolerance control. Dearborn: Society of Manufacturing Engineering, 1990. cap. 2.
- [31] WADE, O. R. **Tolerance control in design and manufacturing**. New York: Industrial Press, 1985.
- [32] JOHNSON, E. **Process engineering**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1963.
- [33] CHANG, C. M. **Engineering management**. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2005.
- [34] HARVARD business review, knowledge manangement. Boston: Harvard Business School Publishing, 2002.
- [35] SUBRAMANIAN, K. **The System approach**. Cincinnatti: Hanser Gardner, 2000.
- [36] ZAMPIERI, P.; AGOSTINHO, O. L. Proposta de modelagem dos processos de negócio de engenharia como parte do conjunto de processos do sistema de negócio. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - perspectivas globais para a engenharia de produção, 35., 2015, Fortaleza. **Anais...** Rio de Janeiro: ABEPRO, 2015.

[37] ELMARAGHY, W. H.; URBANIC, R. J. Modelling of manufacturing systems complexity. **CIRP Annals**, v. 52, n. 1, p. 363-366, 2003.

[38] SUH, N. P. Complexity in engineering. **CIRP Annals**, v. 54, n. 2, p. 46-63, 2005.

[39] MADAPUSI, A.; MILES, G. Routines in enterprise application systems. **Management Research Review**, v. 34, n. 1, p. 75-97, 2011.

[40] JESTON, J.; NELIS, J. **Business process management**. New York: Elsevier, 2008.

[41] LAUDON, K. C.; LAUDON, J. P. **Management information systems**. New Jersey: Prentice Hall, 2006.

[41] AGOSTINHO, O. L. Proposal of organization framework model, using business processes and hierarchical patterns to provide agility and flexibility in competitiveness environments. **Procedia Engineering**, v. 131, p. 401-409, 2015.

[42] AGOSTINHO, O. L.; BATOCCHIO, A.; SILVA, I. B. Rules of precedence as basis to generate manufacturing routes and process planning. **Key Engineering Materials**, v. 502, p. 115-120, 2012.

[43] AGOSTINHO, O. L. Proposta de modelo de sistema de fabricação configurado por processos de fabricação. In: CONGRESSO IBERO AMERICANO DE ENGENHARIA MECÂNICA, 13., 2017, Lisboa. **Anais...** Lisboa: RNC, 2017.

[44] AGOSTINHO, O. L.; BATOCCHIO, A.; SILVA, I. B. Methodology to generate manufacturing routes using rules of precedence. In: MANUFACTURING ENGINEERING SOCIETY INTERNATIONAL CONFERENCE, 4., 2011, Cadiz. **Proceedings...** New York: AIP, 2012. (AIP Conference Proceedings, 1431).

[45] AGOSTINHO, O. L.; RODRIGUES, A. C.; LIRANI, J. **Princípios de engenharia de fabricação** – processos de fabricação. São Carlos: EESC/USP, 1995. v. 2.

[46] TRUCKS, H. E. **Designing for economical production**. Dearborn: Society of Manufacturing Engineers, 1995.

- [47] GADZALA, J. L. **Dimensional control in precision manufacturing**. New York: McGraw Hill Book, 1997.
- [48] BENEDICT, J. T. et al. (Ed.). **Tool and manufacturing engineers handbook**. Dearborn: Society of manufacturing Engineers, 2003. v. 5: Manufacturing management.
- [49] NIEBEL, B. W.; DRAPER, A. B. **Product design and process engineering**. New York: McGraw Hill Book, 2005.
- [50] GUNN, T. G. **21st Century manufacturing** – creating winning for business performance. Local: Harper Collins, 1999.
- [51] BOLZ, R. B. **Production processes: the productivity handbook**. New York: Conquest, 1997.
- [52] AGOSTINHO, O. L. **Algumas considerações sobre a formação da dispersão de características de qualidade em operações de usinagem**. 1979. 576 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1979.
- [53] AGOSTINHO, O. L.; RODRIGUES, A. C. S.; LIRANI, J. **Tolerâncias, ajustes, desvios e análise de dimensões**. São Paulo: Blucher, 1978.