

GUSTAVO SATO BARBOSA

**MODELAGEM DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE ENGRANAGENS –  
APLICAÇÃO DO MÉTODO DE SISTEMOGRAFIA AOS PROCESSOS DE  
FORJAMENTO E USINAGEM**

Dissertação apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo para a obtenção do título de  
graduação em Engenheira Mecânica.

Área de Concentração:  
Engenharia Mecânica

Orientador:  
Gilmar F. Batalha

Coordenador:  
Edson Gomes

São Paulo

2001

Aos meus pais, por terem possibilitado e incentivado  
a realização desse trabalho, assim como todo o  
caminho de minha formação acadêmica e como  
pessoa.

## AGRADECIMENTOS

Ao professor e orientador Gilmar F. Batalha, assim como João Paulo Marciano, pelas diretrizes, incentivo e contribuições.

À GM do Brasil e a EATON, empresas que prestaram suporte, tanto com informações técnicas, como em tempo para possibilitar a execução desse trabalho.

À minha companheira e amiga Letícia, pelo estímulo, compreensão e sua presença em minha vida.

Aos meus amigos, Dilson e André, que realizaram o estudo desse trabalho em conjunto, pelo companheirismo e amizade.

Aos meus pais, irmão e avó, por terem possibilitado o suporte, compreensão e incentivo, indispensáveis para a realização desse trabalho.

## SUMÁRIO

### LISTA DE FIGURAS

### LISTA DE TABELAS

### Resumo

### "Abstract"

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 Contexto .....	1
1.2 Objetivos.....	1
<b>2. ORGANIZAÇÃO.....</b>	<b>3</b>
<b>3. PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO .....</b>	<b>4</b>
<b>4. PROCESSOS DE REESTRUTURAÇÃO .....</b>	<b>7</b>
4.1. Controle da qualidade.....	8
4.2 Modelagem Organizacional .....	10
4.3 Reengenharia .....	11
4.4 Análise Comparativa dos Processos de Reestruturação.....	12
<b>5. MÉTODOS DE MODELAGEM ORGANIZACIONAL .....</b>	<b>15</b>
5.1. Método de Estudo de Sistemas – Sistemografia .....	15
5.1.1 Redes de Processadores e Matriz Estrutural do Sistema Geral .....	19
5.1.2 Etapas para Modelagem de Sistemas através da Sistemografia.....	20
5.2 Workflow .....	25
5.2.1 Introdução.....	25
5.2.2 Definições .....	25

5.2.3 Caracterizando Workflows .....	27
5.2.4 Modelagem de processos e especificações de Workflows .....	28
5.2.5 Gerenciamento de Workflows .....	29
5.2.6 Aspectos gerais de workflows.....	30
5.2.7 Representação.....	33
5.3 Comparação entre os Métodos Propostos.....	37
<b>6. PROCESSOS A SEREM MODELADOS.....</b>	<b>38</b>
6.1 Processo de Conformação - Forjamento .....	38
6.1.1 Introdução ao processo de conformação de metais: .....	38
6.1.2 Variáveis no processo de conformação / deformação: .....	39
6.1.2.1 Variáveis Independentes: .....	39
6.1.2.2 Variáveis Dependentes .....	40
6.1.2.3 Conformabilidade e Forjabilidade .....	42
6.1.2.4 Força de deformação.....	44
6.1.2.5 Atrito e Lubrificação nas condições de trabalho do metal.....	45
6.1.2.6 Variações de temperatura durante o processo de conformação.....	47
6.1.3 Trabalho a quente.....	48
6.1.4 Trabalho a frio .....	50
6.1.5 Trabalho a morno.....	52
6.1.6 Forjamento em matriz aberta.....	53
6.1.7 Forjamento em matriz fechada .....	54
6.1.8 Forjamento em prensas .....	56
6.1.9 Forjamento por UPSET .....	57
6.1.10 Forjamento por rolamento.....	60

6.2 Fluxograma do processo de forjamento e comparações .....	62
6.3 Aspectos econômicos do forjamento .....	64
<b>7.0 PROCESSOS DE CORTE E ACABAMENTO – USINAGEM .....</b>	<b>67</b>
7.1 Introdução à manufatura de engrenagens .....	67
7.1.1 Torneamento.....	71
7.1.2 Fresamento.....	71
7.1.3 Hobbing .....	72
7.1.4 Tratamento térmico.....	73
7.1.5 Processo de acabamento abrasivo.....	73
7.1.5.1 Brunimento ( Honing ).....	74
7.1.5.2 Retífica ( Griding ).....	75
7.1.5.3 Shaving .....	77
7.1.5.4 Lapiadação ( Lapping ) .....	78
7.1.5.5 Comparação entre os diversos processos abrasivos.....	79
<b>8. ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>81</b>
8.1 Introdução.....	81
8.2 Processo de forjamento a quente .....	83
8.2.1 Desdobramento e descrição de cada processador.....	87
8.2.1.2 Processador PFQ2 – Corte da Barra .....	88
8.2.1.4 Processador PFQ4 – Forjamento .....	90
8.2.1.5 Processador PFQ5 – Rebarbação e Furação.....	92
8.2.1.6 Processador PFQ6 – Normalização.....	93
8.2.1.7 Processador PFQ7 – Esmerilhamento.....	94
8.2.1.8 Processador PFQ8 – Decapagem mecânica.....	95

8.2.1.9 Processador PFQ9 – Expedição do Forjado.....	97
8.3 Processo de Usinagem e Tratamento Térmico.....	98
8.4 Sistemógrafos do processo de usinagem.....	99
8.4.1 Sistemógrafo do processo à verde .....	100
8.4.2 Sistemógrafo do processo de tratamento térmico.....	102
8.4.3 Sistemógrafo do processo final de usinagem .....	104
8.4.4.1 Processador PFQ 1 - Recebimento .....	105
8.4.4.2 Processador PFQ 2 – Torno 1 .....	107
8.4.4.3 Processador PFQ 3 - Metrologia.....	108
8.4.4.3 Processador PFQ 4 – Torno 2 .....	109
8.4.4.5 Processador PFQ 5 - Corte.....	110
8.4.4.6 Processador PFQ 6 - Fresa.....	111
8.4.4.7 Processador PFQ 7 - Shaver.....	113
8.4.4.8 Processador PFQ 8 - Lavagem.....	115
8.4.4.9 Processador PFQ 9 – Forno 1 .....	116
8.4.4.10 Processador PFQ 10 – Forno 2 .....	117
8.4.4.12 Processador PFQ 12 - Brunimento.....	120
8.4.4.13 Processador PFQ 13 - Metrologia.....	121
8.4.4.14 Processador PFQ 14 – Torno 3 .....	122
8.4.4.15 Processador PFQ 15 - Lapidação.....	123
8.4.4.16 Processador PFQ 16 - Metrologia.....	124
8.4.4.17 Processador PFQ 17 - Lavagem.....	125
8.4.4.18 Processador PFQ 18 - Engrenometro.....	126
<b>9. CONCLUSÕES.....</b>	<b>128</b>

**10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 130**

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Planejamento Estratégico Funcional e sua interrelação com o Planejamento Estratégico Organizacional, [PIVA, 1996] et al [ALTER, 1992].....	4
Figura 2 – Processos de Mudança [MARTIN, 1996].....	7
Figura 3 – Representação Gráfica da Modelagem Organizacional [PIVA, 1996]	
.....	10
Figura 4 – Estrutura para a reengenharia de processos.....	11
Figura 5 - Tempo necessário para Implementação da Reestruturação .....	12
Figura 6 - Tempo necessário para Implementação da Reestruturação .....	13
Figura 7 – Sistemógrafo do Corte da barra.....	22
Figura 8 – Matriz Estrutural do Sistema Geral para o Sistemógrafo “Corte da Barra” .....	23
Figura 9 – Estrutura genérica de um Workflow [TELLES, 1997].....	27
Figura 10 – Estrutura de desenvolvimento de um Workflow.....	29
Figura 11 – Representação gráfica de rotas.....	32
Figura 12 – O marcador indica a estação do ano. Quando ocorrer o início da próxima estação, o marcador transita para a próxima estação. [BARTHELMESS,1996] et al. [REISIG,1982] .....	33
Figura 13 – Exemplo de simbologia [TELLES,1997].....	34
Figura 14 - Exemplo de Workflow de Manutenção de Máquina modelado [TELLES, 1997] .....	36
Figura 15 – Efeito da pressão de contato na resistência por atrito entre duas superfícies [DEGARMO, 1999].....	46

Figura 16 – Representação esquemática da variação da conformabilidade de aços em função da temperatura (TF = Temperatura de Fusão) – [BÔAS,1999] et al [SEMAIATIN,1988].....	48
Figura 17 - Gráfico Tensão x Deformação de metal ductil.....	50
Figura 18 - Gráfico Tensão x Deformação de metal frágil .....	51
Figura 19 – Forjamento em matriz aberta.....	54
Figura 20 – Figura esquema – Forjamento em matriz fechada .....	55
Figura 21 – Prensa de Forjamento .....	57
Figura 22 – Regras para forjamento por UPSET .....	58
Figura 23 – Exemplo de forjamento por UPSET .....	59
Figura 24 – Forjamnto por rolamento.....	60
Figura 25 – Etapas do processo de forjamento por rolamento – Eixo carretel ( primário de um transmissão de veículos de passeio ).....	61
Figura 26 – Fluxograma do processo de forjamento a frio [BÔAS, 1999].....	62
Figura 27 – diagrama “espinha de peixe”de Ichikawa para o processo de forjamento.....	66
Figura 28 – Denominação dos parâmetros de uma engrenagem [DEGARMO, 1999].....	68
Figura 29 – Partes principais de uma engrenagem de uma caixa de transmissão de veículos de passageiro.....	68
Figura 30 – Corte utilizando um hob [INTERNET] .....	72
Figura 31 – Forno de tratamento térmico [INTERNET] .....	73
Figura 32 – Processo de brunimento ( honing ).....	75
Figura 33 – Retificação Abrasiva Cilíndrica .....	76
Figura 34 – Ferramenta de corte – shaver [INTERNET].....	77

Figura 35 – Shaver ( Máquinário ) [INTERNET] .....	78
Figura 36 – Comparação entre o diversos processos abrasivos .....	79
Figura 37 – diagrama “espinha de peixe”de Ichikawa para o processo de usinagem .....	80
Figura 38 – Caixa de transmissão de um veículo de passeio [FIAT] .....	81
Figura 39 – Eixo de entrada, trem de engrenagens e garfos.....	82
Figura 40 - Sistemógrafo completo do processo de forjamento.....	83
( em cinza ) .....	83
Figura 41 – Peças Forjadas.....	87
Figura 42 - Sistemógrafo PFQ-1 – Sistemógrafo de recebimento de matéria prima.....	87
Figura 43 - Sistemógrafo PFQ-2 – Sistemógrafo do corte da barra.....	88
Figura 44 - Sistemógrafo PFQ-3 – Sistemógrafo do aquecimento do tarugo ...	89
Figura 45 - Sistemógrafo PFQ-4 – Sistemógrafo do forjamento .....	90
Figura 46 - Sistemógrafo PFQ-5 – Sistemógrafo de rebarbação / furação .....	92
Figura 47 - Sistemógrafo PFQ-6 – Sistemógrafo de normalização.....	93
Figura 48 - Sistemógrafo PFQ-7 – Sistemógrafo de esmerilhamento .....	94
Figura 49 - Sistemógrafo PFQ-8 – Sistemógrafo de decapagem mecânica....	95
Figura 50 - Sistemógrafo PFQ-9 – Sistemógrafo de expedição do forjado.....	97
Figura 51 – Peças forjadas estocadas em pallets .....	98
Figura 52 - Workflow do processo de Usinagem .....	99
Figura 53 – Sistemógrafo “Processo a Verde” do processo de usinagem de uma engrenagem ( em cinza ) .....	100
Figura 54 – Sistemógrafo Tratamento Térmico do processo de usinagem de uma engrenagem ( em cinza ) .....	102

Figura 55 – Sistemógrafo Usinagem Final ( em cinza ) .....	104
Figura 56 – Sistemógrafo Processador PFQ-1 Recebimento Matéria Prima ..	105
Figura 57 – Peças colocadas no alimentador do Torno 1.....	106
Figura 58 – Sistemógrafo Processador PFQ-2 Torno 1.....	107
Figura 59 – Forjado após processo de torneamento .....	108
Figura 60 – Sistemógrafo Processador PFQ-3 Metrologia .....	108
Figura 61 – Sistemógrafo Processador PFQ-4 Torno 2.....	109
Figura 62 – Sistemógrafo Processador PFQ-5 Corte .....	110
Figura 63 - Peça após processo de corte dos chanfros do sistema de sincronização.....	111
Figura 64 – Sistemógrafo Processador PFQ-6 Fresa.....	111
Figura 65 - Peça após processo de fresa do “Dog Boby” .....	112
Figura 66 – Sistemógrafo Processador PFQ-7 Shaver.....	113
Figura 67 – Peças após processo de corte do dentado no shaver.....	114
Figura 68 – Sistemógrafo Processador PFQ-8 Lavagem 1 .....	115
Figura 69 – Sistemógrafo Processador PFQ-9 Forno 1.....	116
Figura 70 – Sistemógrafo Processador PFQ-10 Forno 2.....	117
Figura 71 – Pallets com engrenagens após saída do forno de tratamento térmico .....	118
Figura 72 – Sistemógrafo Processador PFQ-11 Lavagem II .....	119
Figura 73 – Sistemógrafo Processador PFQ-12 Brunidora.....	120
Figura 74 – Sistemógrafo Processador PFQ-13 Metrologia .....	121
Figura 75 – Sistemógrafo Processador PFQ-14 Torno 3.....	122
Figura 76 – Sistemógrafo Processador PFQ-15 Lapiadação.....	123
Figura 77 – Sistemógrafo Processador PFQ-13 Metrologia .....	124

Figura 78 – Sistemógrafo Processador PFQ-17 Lavagem 3 .....	125
Figura 79 – Sistemógrafo Processador PFQ-18 Engrenômetro .....	126
Figura 80 – Engrenagem acabada .....	127

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Estudo comparativo entre os processos de reestruturação [ MARTIN , 1996].....	14
Tabela 2 - Valores comparativos dos processos de forjamento [BÔAS, 1999] et al [HIRSCHVOGEL & DOMMELEM, 1992] .....	63
Tabela 3 – Parâmetros do processo e sua influência .....	65
Tabela 4 – Dureza e aplicação de materiais abrasivos.....	74

## Resumo

O processo de Planejamento Estratégico é um fator essencial para o sucesso das principais organizações, principalmente no panorama de competitividade e alta tecnologia do mundo atual. Para auxílio do Planejamento estratégico, foi feito um estudo das principais técnicas de reestruturação: TQC, Reengenharia e Modelagem Organizacional, dando maior enfoque à esta última, pois é nela onde é inserido o trabalho proposto, que visa a otimização de processos de fabricação de uma indústria de lapidação. Para esta otimização foram estudadas duas ferramentas de modelagem organizacional: Sistemografia e Workflow, além dos conceitos básicos de administração e planejamento da produção. Por fim, foi feito um estudo comparativo entre estas duas ferramentas, onde concluímos que a sistemografia é a ferramenta mais indicada. Esta ferramenta foi utilizada para a otimização e mapeamento do processo estudado, e os seus resultados foram utilizados para a implementação de um sistema de informação com auxílio das ferramentas de Engenharia de Software.

Palavras-chaves: Planejamento Estratégico, Modelagem Organizacional, Tecnologia de Informação, Sistemografia, Workflow, Lapidação, Engenharia de Software.

## Abstract

The process of Strategic Planning is an essential factor for the success of the major organizations, especially in the context of competitiveness and high technology of nowadays. To auxiliary the Strategic Planning, a study of the principal restructuring processes have been made: TQC (Total Quality Control), Reengineering and Organizational Modeling. Special attention was given to the study of the Organization Modeling due the fact that it is the central theme of this study: optimization in the production processes of a lapping industry. For this optimization, two different tools have been analyzed: Systemography and Workflow. Finally, a comparison of these two tools was made and in conclusion, the systemography should be considered the best tool to study and develop the process above. So, in the next phase of this project, Systemography was used to optimize and map the process and to implement an Information System (with the help of Software Engineering)

**Key Words:** Strategic Planning, Organizational Modeling, Information Technology, Systemography, Workflow, Lapping, Software Engineering

## 1. Introdução

### 1.1 Contexto

O processo de planejamento estratégico continua a ocupar a primeira posição das questões chave para o sucesso das principais organizações.[WARD & GRIFFITHS & WHITMORE, 1990]. Neste contexto, é necessário o conhecimento das principais ferramentas para esse planejamento, entre eles os processos de reestruturação.

Já, os processos de reestruturação possuem ferramentas próprias nesta tarefa, como por exemplo: Sistemografia e Workflow (item 5.2).

Em paralelo aos processos de reestruturação, um outro fator importante no planejamento estratégico consiste na tecnologia de informação. Essa tecnologia possui como principal ferramenta a engenharia de software, que desenvolve e implementa os sistemas de informação.

### 1.2 Objetivos

Este trabalho visa a modelagem dos processos de fabricação e da administração da produção de uma forjaria que leve a uma melhoria de seu desempenho (eficiência e eficácia), utilizando os modelos de representação concebidos pela Teoria do Sistema Geral. Este estudo será feito também com auxílio das técnicas de Workflow. Como complemento do trabalho, também será estudado o processo de corte e acabamento das peças forjadas em

engrenagens como exemplo de peças constituintes de uma transmissão mecânica para veículos de passeio.

Além disso, propõe-se a utilização destas ferramentas conjuntamente com o desenvolvimento de sistemas de informação, lembrando que a utilização do sistemógrafo independe da metodologia de desenvolvimento deste sistema.

## 2. Organização

A organização pode ser definida como uma associação de pessoas caracterizada pela produção de bens, prestação de serviços à sociedade e atendimento das necessidades de seus próprios participantes. Além disso, possui uma estrutura formada por pessoas que se relacionam colaborando e dividindo o trabalho para transformar insumos em bens e serviços.[BERNAR, 1988].

Esta definição é abrangente, na medida em que envolve tanto a abordagem Clássica quanto a das Relações Humanas, sendo que a primeira é caracterizada pelo padrão de ordem determinado pela administração e a segunda pelas relações interpessoais.

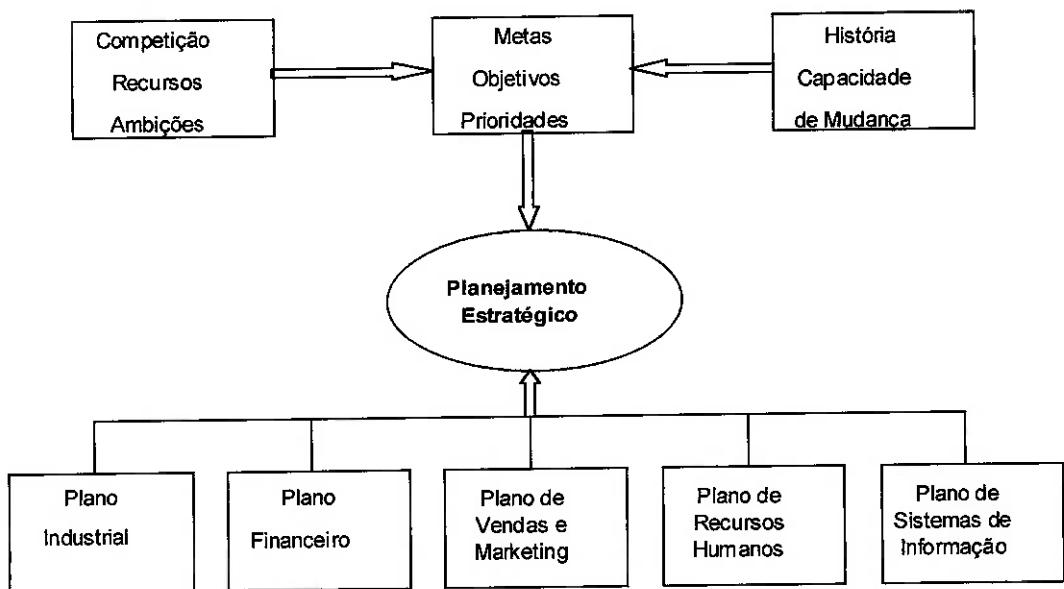
Sob um outro ponto de vista, começa-se a reconhecer a organização como um sistema, concebendo-a como “organização de aprendizagem”, caracterizada pela sua capacidade de auto-renovação. Com isso, as organizações começam a ser tratadas como estruturas mais fluidas e até sem fronteiras, marcadas por mudanças, caos e comportamentos cílicos.[WHITLEY, 1992]

Assim, ao reconhecer a organização como uma entidade consciente, o planejamento estratégico organizacional torna-se fundamental em seus processos de mudanças.

### 3. Planejamento Estratégico

O conjunto de medidas da organização, para alcançar seus objetivos frente as mudanças de mercado, é definido por planejamento estratégico organizacional. Este conjunto de medidas é tomado, para que a organização, a médio e longo prazo, desenvolva e mantenha uma adequação razoável entre seus os objetivos e recursos.[KOTLER, 1993]

O Planejamento Estratégico Organizacional é composto por Planejamentos Estratégicos Funcionais, os quais preocupam-se com as disposições de recursos que dizem respeito àquela função na organização. Estes planejamentos funcionais devem ser coerentes com o planejamento estratégico, uma vez que são partes do mesmo. A figura 1, abaixo, ilustra o conceito do Planejamento Estratégico Funcional como sendo uma parte do Planejamento Estratégico Organizacional [ALTER, 1992].



**Figura 1 – Planejamento Estratégico Funcional e sua interrelação com o Planejamento Estratégico Organizacional, [PIVA, 1996] et al [ALTER, 1992]**

Exemplos desta figura são o Planejamento Estratégico Industrial e de Sistemas de Informação. O primeiro é a soma total de decisões relacionadas com a produção, armazenamento e distribuição de bens e serviços. Esta soma envolve desde localização de fábricas, projeto de plantas, automação de processos e que tipo de empregados contratar. O segundo deve refletir as funções e dados necessários para suportar o negócio, os objetivos, fatores críticos de sucesso e as necessidades de informação da alta administração. Além disso, ambos devem retratar como a tecnologia pode ser utilizada para criar novas oportunidades ou vantagens competitivas.

Assim, a afirmação que a tecnologia gera vantagens competitivas e torna uma organização mais produtiva e lucrativa, parece ser uma afirmação um tanto óbvia. No entanto, na década de 90, esta afirmação foi questionada quando perguntas com relação a estes mesmos indicadores de desempenho organizacional foram feitas: produtividade ("Os investimentos em tecnologia aumentam a produtividade ?"), competitividade ("Os investimentos em tecnologia agregam valor para os consumidores ?") e lucratividade ("Os investimentos em tecnologia melhoraram a performance do negócio?"). Mesmo assim, as organizações continuam a investir enormes somas de dinheiro em tecnologia, esperando um retorno considerável, mesmo existindo algumas contradições quanto aos benefícios esperados [BRYNJOLFSSON, 1994].

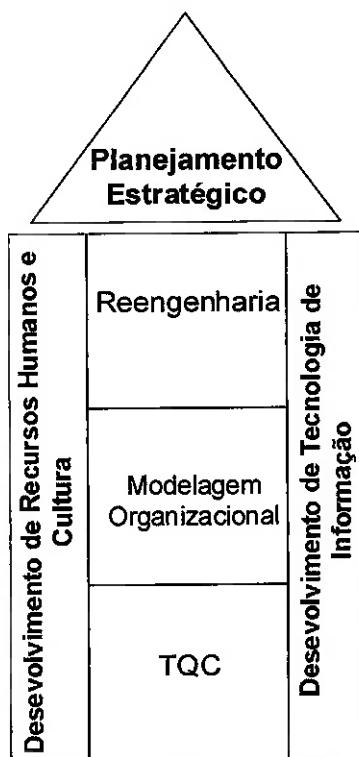
Isto ocorre, porque as organizações não levam em conta o fato que o grande potencial da tecnologia é a substituição do que existe por algo diferente e fundamentalmente melhor ,e não como a solução dos problemas que possuem hoje.

Portanto, as organizações, através do planejamento estratégico, devem reestruturar seus processos para tirarem um melhor proveito da tecnologia e “transformar a tecnologia em uma arma competitiva, e não em uma curiosidade científica.”[PORTER, 1992].

#### 4. Processos de Reestruturação

Os métodos utilizados para reestruturar uma empresa devem ser focados em dois pontos: nos recursos humanos e na tecnologia da informação. O primeiro desenvolve e mantém a estrutura e a organização necessárias para sustentar os processos de reestruturação, e o segundo desenvolve e mantém a infra-estrutura do conhecimento.

A figura 2, abaixo, exemplifica estes métodos, mas também ressalta a importância dos recursos humanos e da tecnologia de informação:



**Figura 2 – Processos de Mudança [MARTIN, 1996]**

Normalmente, quanto mais próximo da cabeça da seta, maior a mudança contemplada. Além disso, todos esses processos de mudança devem envolver o aprendizado contínuo, bem como a transformação dos processos atuais em processos eficazes em termos de custos e satisfação do cliente. A meta é fazer uma transição multidirecional estável para uma organização na qual o aprendizado ocorre em todos os níveis [MARTIN, 1996].

#### 4.1. Controle da qualidade

Este sistema é conhecido pela sigla TQC (Total Quality Control), que baseia-se na participação de todos os setores da empresa, principalmente dos empregados, no estudo e na condução do controle da qualidade.

Qualidade possui diferentes significados para os mais variados contextos. Segundo [FALCONI, 1994], "um produto ou serviço de qualidade é aquele que atende perfeitamente, de forma confiável, de forma acessível, de forma segura e no tempo certo às necessidades do cliente". Já no contexto de manufatura de bens, "um produto de qualidade é aquele que tem a performance para o qual foi projetado".[NAHMIAS, 1997]

Controle da qualidade total é um método preocupado com a criação de uma cultura de melhoria contínua. Os mestres japoneses desse método chamam-no *kaizen*. A tradução deste termo é "todos melhoraram tudo, o tempo todo". Com isso, o *kaizen* é um modo de aprendizado vital para a empresa moderna, uma vez que os resultados de todos aprenderem a fazer melhor seu trabalho o tempo todo são registrados para que outros possam ser treinados e habilitados a usar estas técnicas.

O controle de qualidade utiliza uma linha de técnicas que inclui círculos da qualidade, esquemas de sugestões, controle estatístico da qualidade e diagramas utilizados na análise de problemas.

A seguir segue os princípios básicos do controle da qualidade total, de acordo com [FALCONI, 1994]:

- O cliente é o rei. Assim, deve-se produzir e fornecer produtos ou serviços que atendam concretamente às necessidades do cliente;
- Garantir a sobrevivência da empresa através do lucro contínuo adquirido pelo domínio da qualidade;
- Identificar o problema mais crítico e solucioná-lo pela mais alta prioridade;
- Falar, raciocinar e decidir com dados e com base em fatos;
- Gerenciar a empresa ao longo do processo e não de resultados;
- Procurar prevenir a origem de problemas de implantação cada vez mais a montante;
- Nunca permitir que o mesmo problema se repita pela mesma causa;
- Definir e garantir a execução do planejamento estratégico da empresa.

A partir destes princípios, a empresa deve ser capaz de mudar seus procedimentos computadorizados da mesma forma como muda seus procedimentos humanos. Isto significa que o software precisa ser desenvolvido visando à capacidade de adaptação, ou seja, o software deve ser mais fluido para permitir o kaizen na empresa.

#### 4.2 Modelagem Organizacional

A modelagem organizacional é uma abordagem que se utiliza de um conjunto de princípios da engenharia, para modelá-la, identificando pontos fortes e fracos, para que, assim, se elimine os pontos fracos da empresa. Este redesenho promove uma mudança descontínua, diferente da melhoria contínua característica do kaizen ou da TQC, embora não seja uma substituição fundamental das atividades de trabalho e da estrutura gerencial geradas pela reengenharia. Além disso, ela envolve a agilização do fluxo de trabalho, a automação de atividades ou a introdução de redes de computadores para que se possam obter melhores informações.

Com isso, a modelagem organizacional consiste de duas fases: a engenharia reversa e a engenharia evolutiva. A primeira é a modelagem da situação atual do negócio e a segunda é o reprojeto do negócio, através da substituição ou eliminação dos pontos fracos identificados no modelo.



**Figura 3 – Representação Gráfica da Modelagem Organizacional [PIVA, 1996]**

#### 4.3 Reengenharia

A reengenharia segundo [Hammer & Champy, 1994] é o “repensar fundamental e a reestruturação radical dos processos empresariais que visam alcançar drásticas melhorias em indicadores críticos e contemporâneos de desempenho tais como custos, qualidade, atendimento e velocidade”.

Como o TQC, a reengenharia preocupa-se com a melhoria dos processos de trabalho, visando à satisfação do cliente. Entretanto, enquanto o TQC emprega um fluxo constante de melhorias incrementais, a reengenharia sucateia o processo de trabalho existente, substituindo-o por um processo radicalmente diferente, e exigindo freqüentemente uma grande reestruturação da organização.

A reengenharia deve-se ao fato de que na maioria das empresas, os processos e estruturas foram reunidos antes das demandas atuais, em um período caracterizado pela gerência hierárquica, divisão do trabalho, produção em massa inflexível e manuais de procedimentos rígidos; e ,atualmente, exige-se que estes processos sejam rápidos, fluidos e flexíveis [MARTIN, 1996].

Segundo Davenport [DAVENPORT,1994], a estrutura para a reengenharia de processos é:



**Figura 4 – Estrutura para a reengenharia de processos**

#### 4.4 Análise Comparativa dos Processos de Reestruturação

A TQC, a modelagem organizacional e a reengenharia não são processos mutuamente exclusivos [MARTIN, 1996]. Assim, é necessário compreender todo o espectro de processos de reestruturação e os elementos necessários ao seu sucesso, afim de selecionar e combinar estes processos de forma mais apropriada às circunstâncias.

Portanto, os gráficos abaixo fazem um estudo comparativo disto:

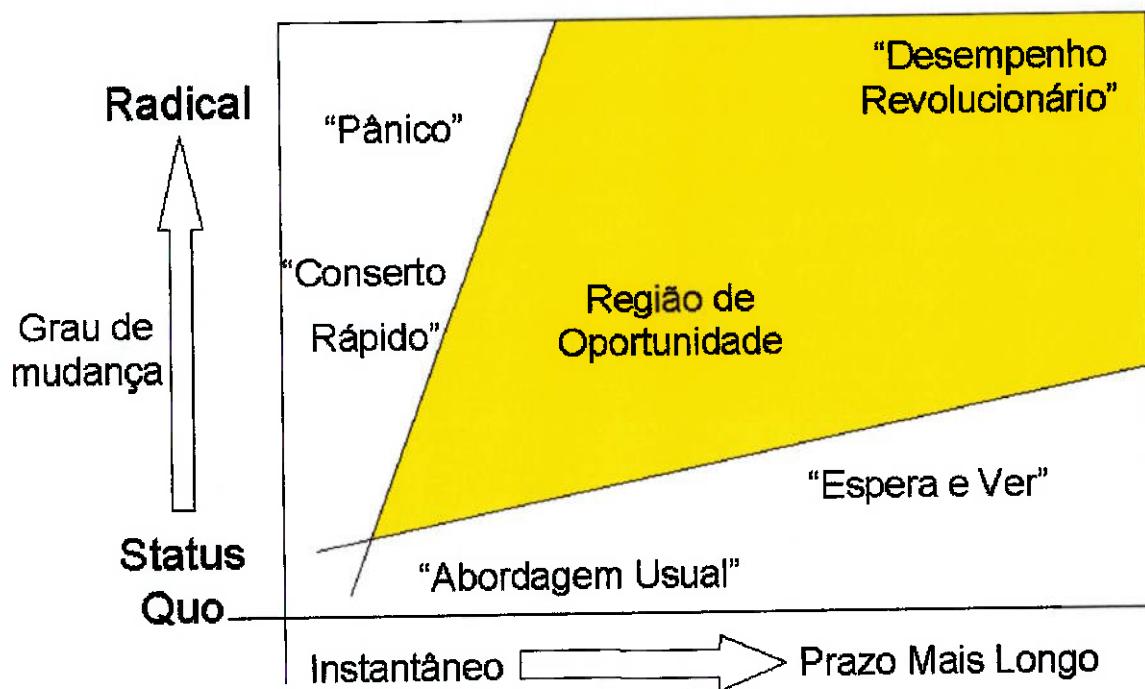
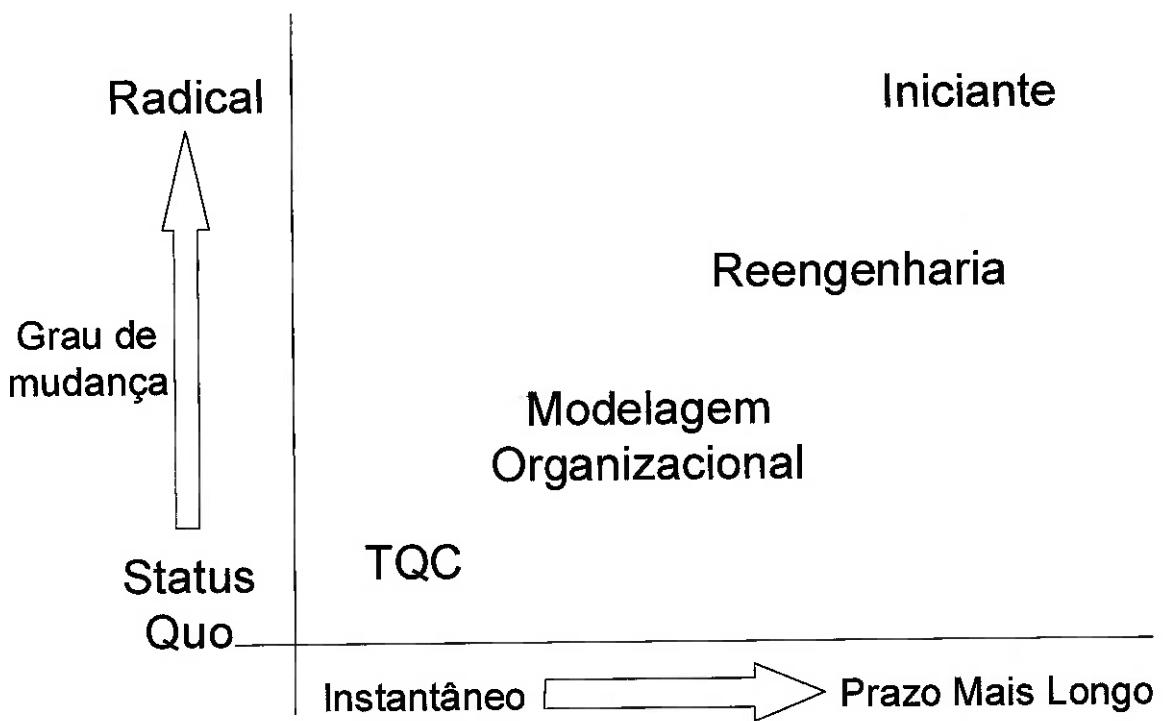


Figura 5 - Tempo necessário para Implementação da Reestruturação

Este quadro mostra o campo de jogo da reestruturação, onde existem regiões benéficas e prejudiciais. A manutenção do *status quo*, uma atitude

passiva de esperar o que acontece, ano após ano, adia a adaptação crucial. Assim, o adiamento na região inferior do campo de jogo acaba resultando na migração para região superior, de “resultados rápidos”, ou “modo de pânico”, com efeitos desmoralizantes. A área no canto superior direito da “região de oportunidade” oferece a maior promessa de resultados e maior desafio à liderança. Já a decisão de tentar o desempenho revolucionário precisa ser consciente e proposital caso se queira superar grandes barreiras e chegar a essa parte do jogo. Portanto, fazendo uma analogia com processos de restruturação, temos:



**Figura 6 - Tempo necessário para Implementação da Reestruturação**

A tabela mostra a análise dos métodos de reestruturação em termos de prós e contras:

	Prós	Contras
TQC	Implementação simples	Não resolve problemas de larga escala
	Custo de investimento mínimo	Apenas pequenas melhorias de desempenho
	Solução segura	Não reduz o tempo de resposta aos clientes Não gerencia todo workflow
Modelagem Organizacional	Solução Técnica mais simples	Menos flexibilidade
	Menos risco	Satisfação limitada do cliente
	Custo de implementação menor ao da reengenharia	Possível criação de redundância
	Solução a curto prazo	Problemas de rede e conectividade Dificuldade de fornecer dados integrados
Reengenharia	Eliminação de redundância	Custo de desenvolvimento mais elevado
	Custos operacionais inferiores	Custos adicionais de implementação
	Banco de dados integrados	Recursos Humanos
	Redução de reconciliação	Mudança da política de procedimentos Despesas de reorganização
		Demissões necessárias

**Tabela 1 – Estudo comparativo entre os processos de reestruturação [MARTIN , 1996]**

## 5. Métodos de Modelagem Organizacional

A partir da análise feita com relação aos processos organizacionais, conclui-se que este trabalho se insere nos contextos da modelagem organizacional, uma vez que para a melhoria de alguns processos, e não da empresa como um todo, este processo de reestruturação é o mais adequado.

Com isso, segue um estudo das principais ferramentas para o estudo da engenharia reversa (modelagem do processo) e engenharia evolutiva (otimização do processo).

### 5.1. Método de Estudo de Sistemas – Sistemografia

A sistemografia é um método de estudo e modelagem de sistemas complexos, que se baseia, fundamentalmente, na Teoria do Sistema Geral e no conceito de Visão Sistêmica [BRESCIANI, 1999].

Este tipo de modelagem é uma maneira bem eficaz na obtenção de informações sobre o sistema a ser estudado, proporcionando uma maior capacidade de se entendê-lo (assim como seus problemas) e otimizá-lo de forma conveniente. Esta modelagem fundamenta-se preferencialmente na visão das empresas e das organizações sobre o enfoque de processos (operacional), e não mais sobre o enfoque de funções (funcional).

Segundo [Davenport, 1994], processo pode ser definido como: "Uma ordenação específica de atividades e trabalho no tempo e no espaço, com começo, meio e fim, insumos e saídas claramente identificadas, resultando num produto especificado para determinado cliente ou mercado". Assim, o

processo se constitui de uma seqüência de atividades interligadas por um fluxo material e/ou de informações, com saídas comuns e bem definidas.

Para a modelagem de sistemas complexos através da sistemografia, é necessário que se tenha familiaridade com alguns conceitos:

- Sistemógrafo é o modelo sistêmico representativo do processo, constituído de um conjunto de processadores interligados entre si que recebem dados (entrada) e fornecem resultados (saídas). Com este modelo é possível entender a dinâmica do objeto processado ao longo do tempo.
- Na sistemografia os objetos são classificados de acordo com a sua família em dois tipos: os objetos modificados (processados) e os objetos modificadores (processadores). Os objetos processados tem a sua situação modificada no tempo pelos objetos processadores. Os processadores são considerados “caixas pretas”, ou seja, é irrelevante o seu conteúdo, sendo necessário apenas conhecer a relação entre as suas entradas e suas saídas. Assim sendo, as características relevantes aos processadores são: capacidade de armazenagem, transporte e produção; intensidade do nível de consumo próprio; eficiência; e eficácia.
- Existem três classificações dos objetos de acordo com a categoria do sistemógrafo: operacional (que visa as atividades desenvolvidas), informational (que utiliza as informações para desenvolver as atividades) e decisional (constituído pelo conjunto de decisões tomadas a partir das informações para realização das atividades).
- Estes objetos podem ser classificados quanto ao tipo (tempo, espaço e forma). Esta classificação é feita quanto às alterações no comportamento do objeto em relação aos referenciais tempo (tempo para realizar o

- processo relevante), espaço (deslocamento relevante do objeto no processo) e forma (se o processo alterou ou converteu o objeto)
- Os objetos podem ser classificados quanto aos níveis progressivos de complexidade [BRESCIANI, 1999]:

1º Nível - Objeto Passivo : o objeto é inerte e não exerce qualquer processamento. Exemplo: uma pedra, uma galáxia, etc.... A representação gráfica é simples.

2º Nível - Objeto Ativo : o objeto processa, realiza e exterioriza seu comportamento. A representação gráfica neste caso é uma caixa preta.

3º Nível - Objeto Regulado : o objeto também processa, realiza e exterioriza um comportamento, porém, manifesta uma efetiva regularidade na sua atividade. Sua representação gráfica é de laço.

4º Nível - Objeto Informado : o objeto também processa, realiza e exterioriza um comportamento de forma regular, porém utilizando da informação. Sua relação gráfica é de laço informacional (feedback).

5º Nível - Objeto com decisão : o objeto tem capacidade de tomar decisão com base em uma informação que provoca uma ação predefinida e conhecida. Na sua representação gráfica, detém o projeto do objeto, conhece a finalidade

deste objeto e é um processador operacional com conexão informacional de laço.

6º Nível - Objeto com memória: o objeto além de tomar decisão apoia-se em um processo de memorização. A representação gráfica é a do processador decisional, de memorização e operacional. Possui um algoritmo no interior do comando.

7º Nível - Objeto com Pilotagem: o objeto se articula segundo 3 subsistemas agregados e fundamentais: decisional, informacional e operacional; o sistema interno de pilotagem (que engloba coordenação) é de natureza hierarquizada e o seu processador decisional deve ter capacidade de coordenação e capacidade de tratamento de informação. Sua representação gráfica pode ser complexa com cada subsistema contendo processadores conectados aos demais subsistemas.

8º Nível - Objeto com Inovação: o objeto tem a capacidade de inovação de gerar informação simbólica, de aprendizagem, de inteligência e de se auto-organizar. A sua representação gráfica é complexa e possui sistema de decisão com imaginação-concepção e de decisão com seleção, sistema de informação e sistema de operação.

9º Nível - Objeto com Auto-Finalização: o objeto passa a ter no seu sistema de pilotagem um subsistema de finalização que lhe dá a capacidade de gerar os

seus próprios objetivos e de ter consciência da sua existência e identidade; e, ainda, esse objeto no seu sistema de pilotagem engloba o sistema de diagnóstico e, no seu sistema de operação, o sistema de manutenção. A representação gráfica desse processador é muito complexa e engloba os fatores citados acima.

Com a análise do sistemógrafo podemos otimizar o processo eliminando os processadores com as seguintes características: nível baixo de complexidade (menor do que 3), somente tipos espaço e tempo, isto é, se o processo não alterou ou converteu o objeto, e somente categoria operacional. Com isto, pode-se montar uma tabela comparativa do processo atual e do processo sugerido.

#### 5.1.1 Redes de Processadores e Matriz Estrutural do Sistema Geral

O processo representado por meio da sistemografia torna-se algumas vezes muito complexo. Assim, para um melhor entendimento da relação entre os vários processadores deste sistemógrafo (rede de processadores), utiliza-se uma ferramenta denominada Matriz Estrutural do Sistema Geral.

Esta Matriz deixa evidente as conexões entre os vários processadores do sistemógrafo, assim como se estas conexões são arborescentes ou de retroalimentação. Também é possível evidenciar se as conexões são simples (uma única entrada e saída no processador) ou elaboradas; complicadas (constituídas unicamente por relações arborescentes) ou complexas (onde os

processos não são obrigatoriamente numerosos, mas são conectados por relações circulares).

### 5.1.2 Etapas para Modelagem de Sistemas através da Sistemografia

As seguintes etapas de desenvolvimento de um sistema podem ser identificadas [adaptado BRESCIANI,1999]:

1<sup>a</sup> - Definir o processo a ser analisado, caracterizando os processadores responsáveis pelas entradas e saídas do sistema.

2<sup>a</sup> - Construir o sistemógrafo operacional do sistema, dispondo em um fluxograma as diferentes etapas do processo e representando cada uma com um determinado processador operacional.

3<sup>a</sup> - Construir o sistemógrafo informacional do sistema, dispondo em um fluxograma as diferentes etapas de utilização do processamento da informação; as informações tipicamente processadas são informações de fornecedores, de pedidos, de estoque, etc...

4<sup>a</sup> - Construir o sistemógrafo do sistema decisinal do sistema de produção, dispondo em um fluxograma as diferentes etapas do processo de decisão e representando cada uma segundo os mesmos critérios adotados para os

outros dois sistemas (operacional e informacional); é importante notar que a tomada de decisão se apoia na informação disponível e afeta a operação.

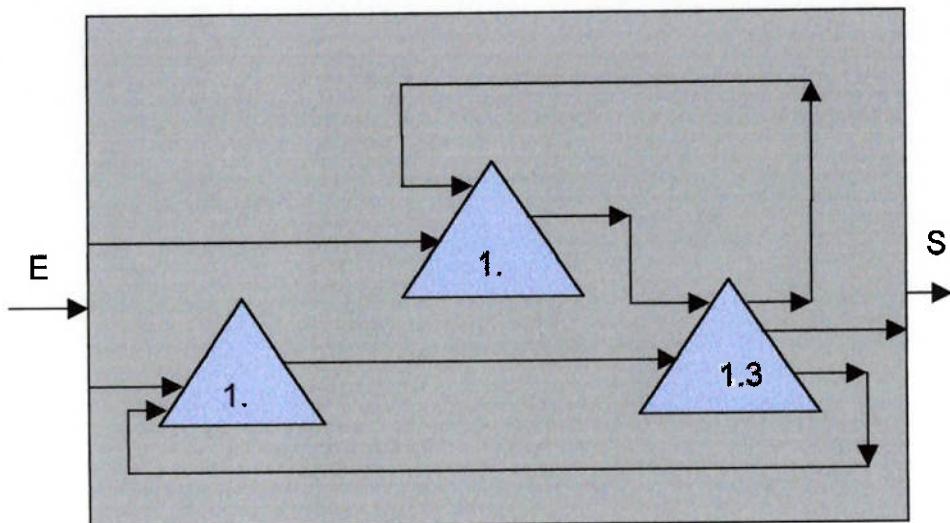
5<sup>a</sup> - Classificar todos os processadores do sistemógrafo em categorias e tipos e construir uma tabela comparativa; esse procedimento permite o processo de busca da racionalização, flexibilidade e agilidade do sistema.

6<sup>a</sup> - Relacionar os problemas em uma ordem de prioridade, adotando critérios qualitativos e quantitativos , identificar e encontrar soluções para os problemas, que levem às modificações operacionais, informacionais, decisionais e organizacionais (funcionais e estruturais) e ao estabelecimento de estratégias visando acompanhar e controlar o processo de evolução do sistema. Esta etapa também é conhecida como remapeamento de processos, onde é utilizado muitas vezes o diagrama “espinha de peixe”de Ichikawa.

7<sup>a</sup> - Propor a solução dos problemas na forma de recomendações estratégicas e de procedimentos e, em uma fase posterior, implantar, acompanhar e aprimorar as mudanças sistêmicas (tecnológicas e administrativas) propostas em uma estratégia estabelecida.

### 5.1.3 Exemplo de Utilização da Sistemografia

Abaixo, baseado em [SILVA, 2000] tem-se o esquema do sistemógrafo de um subprocesso do processo de forjamento a quente, o subprocesso de corte da barra para futuro aquecimento e forjamento:



**Figura 7 – Sistemógrafo do Corte da barra**

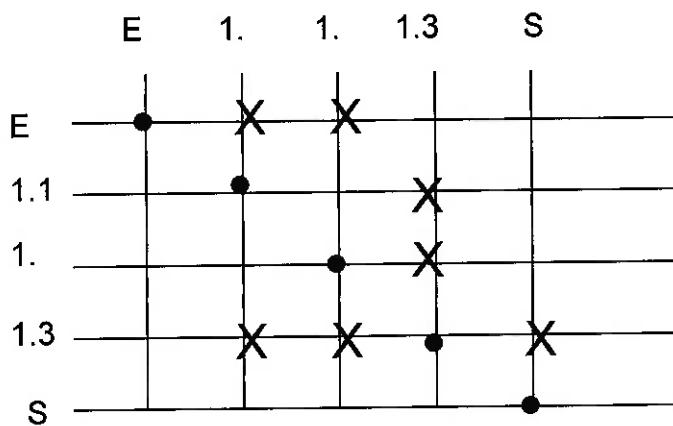
Neste sistemógrafo, representado pela caixa cor cinza, temos 3 processadores:

- 1.1 – Este processador é responsável por transportar a matéria-prima para a operação de corte da barra de aço (Transporte);
- 1.2 – Este processador é responsável por preparar a guilhotina para a operação de cortar (Preparação);
- 1.3 – Este processador é responsável pelo corte da barra de aço, transformando-a em tarugos (Corte da barra).

O sistemógrafo apresentado deixa evidente as entradas, as saídas e as retromitâncias de cada sistemógrafo.

As informações de entrada do sistemógrafo vêm do processador “Recebimento da matéria-prima” (que não está representado), que informa aos processadores 1.1 e 1.2 que as barras estão estocadas no pátio de aço. O processador 1.1 informa para o 1.3 que a barra de aço já foi transportada para a guilhotina, enquanto que o 1.2 informa para o 1.3 que a guilhotina está preparada. O 1.3 dá feedback ao 1.2 relatando informações de folga existentes entre as lâminas de corte e sobre o ajuste do curso da guilhotina. O mesmo 1.3 dá feedback ao 1.1 sobre a necessidade da maior quantidade de barras. A saída deste sistemógrafo é a saída do processador 3, onde ocorre o envio dos tarugos para o próximo processador, o processador “aquecimento do tarugo”.

Para este sistemógrafo tem-se a seguinte matriz estrutural do sistema geral, que pode ser vista na figura 8, abaixo:



**Figura 8 – Matriz Estrutural do Sistema Geral para o Sistemógrafo “Corte da Barra”**

Uma particularidade desta matriz é que acima da diagonal principal temos as relações arborescentes e abaixo dela temos as relações de retromitâncias.

## 5.2 Workflow

### 5.2.1 Introdução

Em indústrias ou em escritórios, o conceito de Workflow está muito ligado a processos e a atividades. Este conceito existe desde a industrialização, como forma de aumentar a eficiência através da padronização de trabalho e organização de processos. Com isto, as atividades de trabalho são separadas em tarefas, regras, escopos e procedimentos que controlam a maior parte do trabalho nas organizações. Se uma organização documenta seus negócios e atividades em termos de processos, a mesma pode recriar ou aperfeiçoá-los continuamente para atingir suas metas.

### 5.2.2 Definições

Apesar da existência de uma entidade padronizadora desse tema, a Workflow Management Coalition (WfMC), workflow pode ser definido como uma série de tarefas organizadas para completar processos de negócios.

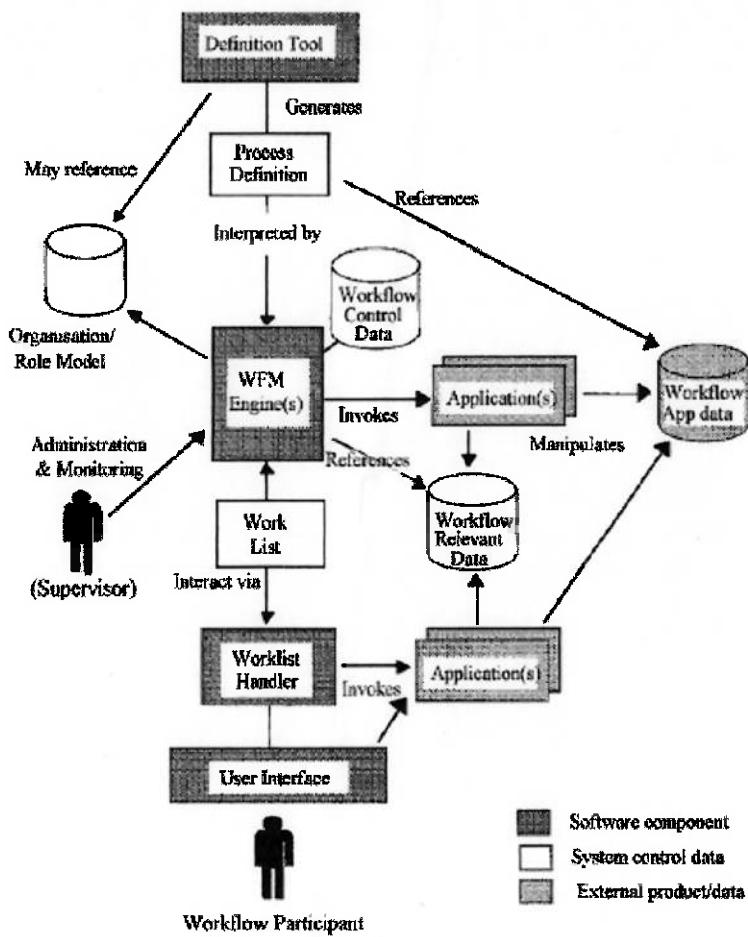
Workflow é uma ferramenta de análise, compreensão e automação de atividades, que pode entender, avaliar e redesenhar os processos e tarefas através da organização e da tecnologia.

Assim, sistemas de Workflow são sistemas de software que oferecem a possibilidade de especificar, modelar, executar, emitir relatórios e

dinamicamente controlar o fluxo de trabalho, envolvendo múltiplos elementos humanos e sistemas computacionais heterogêneos, autônomos e distribuídos correspondendo ao resultado da integração entre processos de negócios e a tecnologia. Estes sistemas definem: as tarefas e a ordem da realização destas, as condições para os eventos, a sincronização e o próprio fluxo de informações.

Um exemplo disto é o Workflow Management Systems (WfMS), que é a solução de várias empresas para especificar, executar, informar e controlar dinamicamente Workflows .

- . Portanto, os WfMS são formados por:
  - Definition Tool: utilitário que documenta as modelagens organizacionais e de processos que serão instanciadas pelo Workflow Engine. Deve possuir interface gráfica para facilitar a manutenção das modelagens.
  - Workflow Engine: software motor que gerencia a execução de um processo.
  - Workflow Enactment Service: software de controle que gerencia os Workflow Engines, ou seja, controla o inicio da execução e gerencia as diversas instâncias de processo.
  - Worklist Handler: interface entre o software e o usuário que controla as tarefas pendentes e as realizadas.



**Figura 9 – Estrutura genérica de um Workflow [TELLES, 1997]**

### 5.2.3 Caracterizando Workflows

A Tecnologia de Workflow envolve princípios de Gerenciamento de Qualidade Total, Troca Eletrônica de Dados, Just in Time, etc, e pode ser dividido nas seguintes classificações:

- Administrativo: correspondem a processos previsíveis e repetitivos podendo ser automatizadas; Orientado para Objeto;

- Ad hoc: criado para ser utilizado dinamicamente por grupos de trabalho cujos participantes necessitem executar procedimentos individualizados para cada documento processado dentro do fluxo de trabalho. É o mais elementar tipo de Workflow e um bom exemplo é o orientado para e-mail;
- Produção ou Transação: correspondem a processos previsíveis e repetitivos podendo ser automatizados. São formados por fluxos alternativos e complexos envolvendo acessos a múltiplos sistemas de informação e o processamento de grandes volumes de dados.

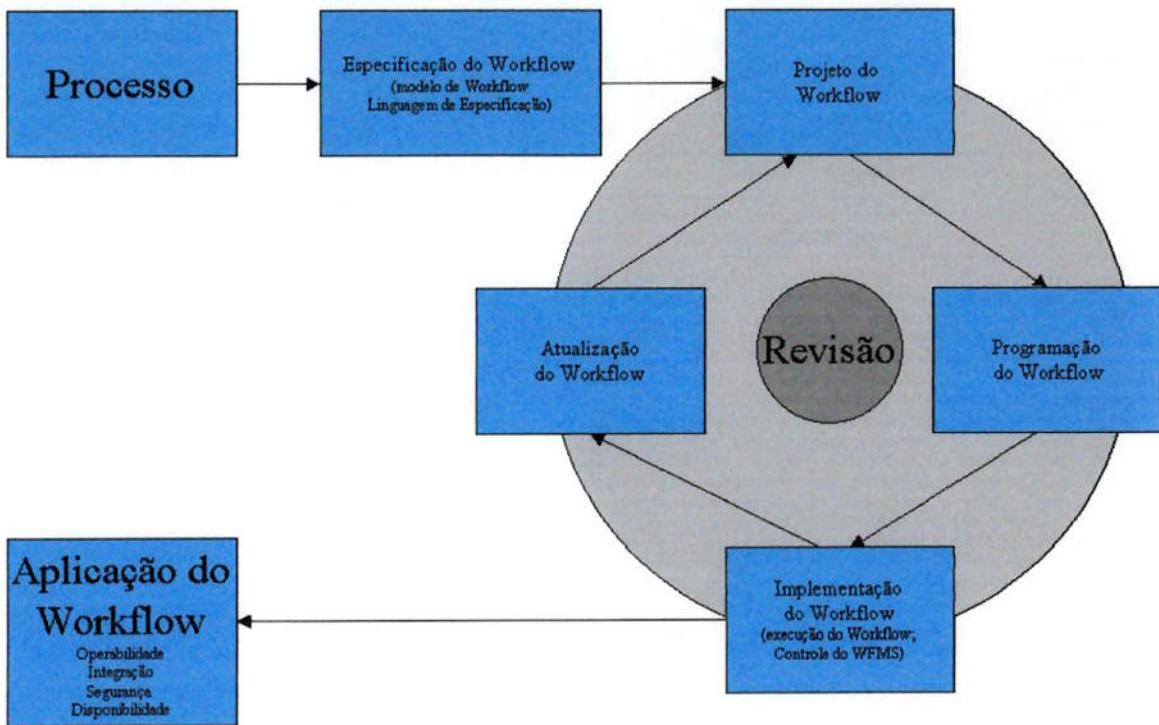
#### 5.2.4 Modelagem de processos e especificações de Workflows

Workflow permite modelar / especificar graficamente fluxos de trabalho, além de definir etapas, ações e execuções de eventos. Os resultados são processos computacionais de utilização imediata, com consulta à bancos de dados em SQL entre outros, através de interfaces gráficas. A modelagem de processos requer um modelo de Workflow e metodologias para capturar um processo e torná-lo parte de um Workflow.

Existem modelos de linguagem de especificação de Workflows para servir de base para o Workflow Engine controlar qualquer Workflow. Algumas propostas de linguagens e ferramentas de especificação de projetos podem ser citadas:(todas acadêmicas) CODES - COnrol and Data Engineering of Systems; Trigger Modelling for Workflow Analysis; PIF- Process Interchange Format and Framework; WIDE - Workflow on Intelligent and Distributed database.

### 5.2.5 Gerenciamento de Workflows

A partir disto os sistemas de gerenciamento de Workflows devem prover mecanismos para definir dependências entre tarefas e controle automatizadas e geralmente são elementos chave no processo, lidando com integração e interoperação com diversos sistemas de informação. Além disso, envolve todas as etapas compreendidas entre modelar processos até a implementação do Workflow, passando esse modelo gráfico para uma linguagem de especificação de Workflows, otimizando, executando , controlando e atualizando o mesmo.



**Figura 10 – Estrutura de desenvolvimento de um Workflow**

Sistemas de workflow geralmente estabelecem uma separação clara entre modelagem e execução como duas etapas distintas. A modelagem identifica os processos automatizados, criando modelos que procuram ser abstrações dos processos de negócio da organização. Em uma segunda etapa, a execução, cria as instâncias do processo, chamadas de casos.

Cada caso flui de acordo com as especificações do modelo do processo correspondente. Estes modelos são interpretados pelo sistema de workflow que dispara as atividades e distribui as mesmas para seus respectivos agentes [BARTHELMESS, 1996].

#### 5.2.6 Aspectos gerais de workflows

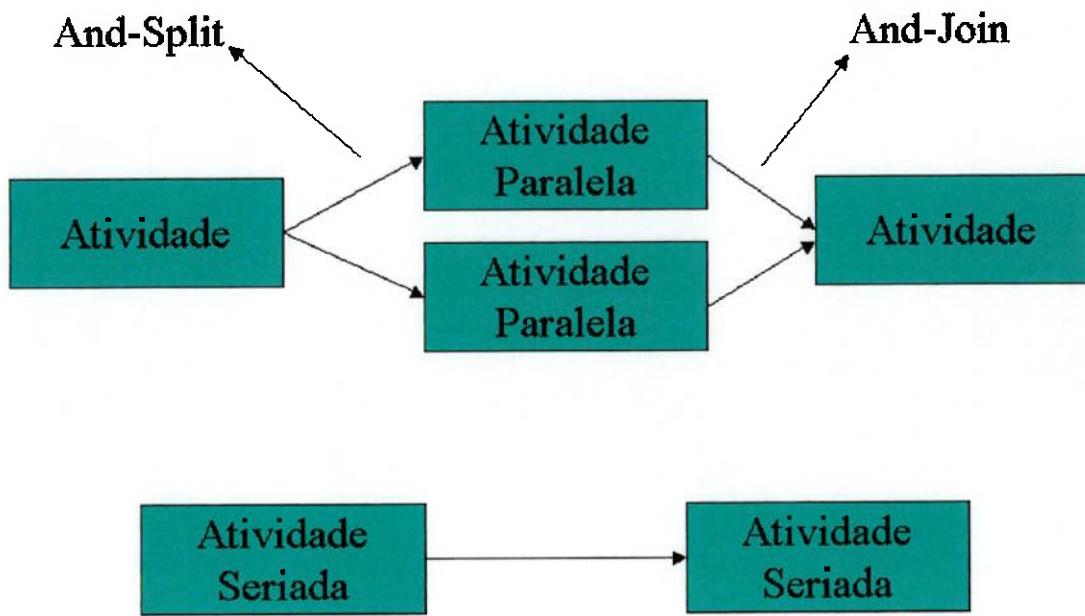
Vários conceitos e definições foram estabelecidos para padronizar os componentes de um Workflow. Os conceitos principais podem ser classificados em:

- *Atividade*: trabalho que forma uma etapa lógica dentro de um processo. podendo ser automática ou manual.
- *Tarefa automática*: Uma tarefa que pode totalmente ou parcialmente ser automatizada e que possa ser controlada ou monitorada diretamente pelo WfMS.
- *Tarefa manual*: Tarefa que não pode ser automatizada e fica totalmente fora do controle do WFMS.
- *Agente*: Um recurso humano que realiza o trabalho contido em sua respectiva Lista de Tarefas mantidas pelo WfMS

- *Lista de Tarefas (ou Worklist)*: Uma lista com atividades que foram delegadas para um agente (ou em alguns casos um grupo de agentes) pelo WfMS.
- *Gerenciador da Lista de Tarefas (ou Worklist Handler)*: Componente do WfMS que gerencia a Lista de Tarefas do agente (ou um grupo de agentes) e posiciona o componente do WfMS responsável pelo controle das tarefas pendentes e das realizadas.
- *Mecanismo de Execução de Workflow (ou Workflow Engine)*: Componente do WFMS responsável pela execução (inicialização, acompanhamento e finalização) de todos os Workflows.

Outros conceitos foram criados para estruturar e sincronizar processos e tarefas:

- *Fluxo (ou Rota)*: ordem que as tarefas de um Workflow devem ser realizadas
- *Rota Paralela*: Segmento de fluxo em que uma ou mais tarefas podem ser executadas em paralelo, gerando vários linhas de controle..14
- *Rota Seqüencial*: Segmento de fluxo em que várias atividades são executadas em seqüência, gerando apenas uma linha de controle. Geralmente ocorrem quando uma atividade necessita do resultado de uma outra para ser realizada.
- *And-Split*: Um ponto no fluxo de um Workflow onde uma única linha de controle se abre em duas ou mais atividades paralelas.
- *And-Join*: Um ponto no fluxo de um Workflow onde duas ou mais atividades paralelas se transformam em uma única linha de controle.



**Figura 11 – Representação gráfica de rotas**

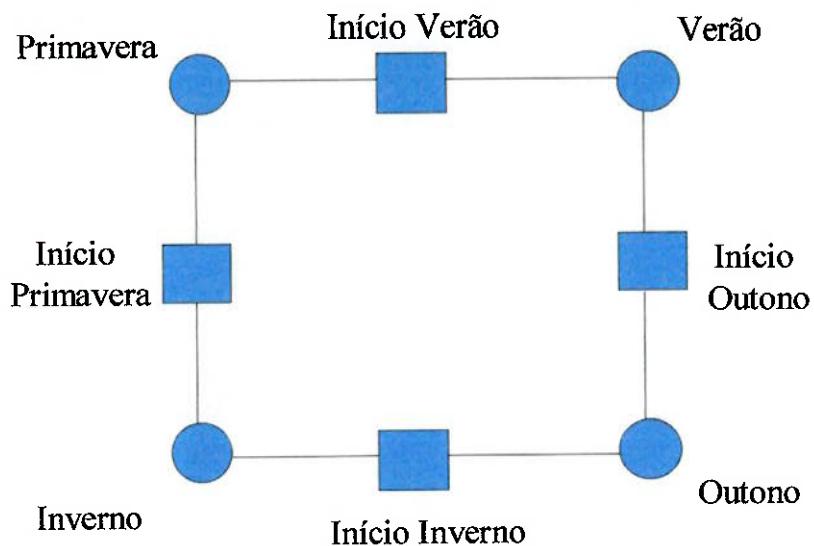
Entre os *Mecanismos de Execução de Workflow* podemos dividi-los entre sincronizador, guardião e comunicador.

- Sincronizador: é responsável pela sincronização das ações e/ou atividades realizadas por um grupo de agentes controlando o início das atividades de forma que estas somente aconteçam quando todos os subsídios necessários e/ou resultados de atividades anteriores estiverem disponíveis.
- Guardião: representa a manipulação dos documentos associados aos casos.
- Comunicador: sistemas de correio eletrônico.

Em sistemas de workflow, o principal elemento é o do sincronizador, pois é na distribuição e sincronismo que se baseia o sistema.

### 5.2.7 Representação

Como formas de representação, o Workflow pode ser apresentado no formato de redes de Petri, representando um sistema como uma coleção de lugares, transições, arcos e marcadores.



**Figura 12 – O marcador indica a estação do ano. Quando ocorrer o início da próxima estação, o marcador transita para a próxima estação.**  
[BARTHELMESS,1996] et al. [REISIG,1982]

Os lugares contêm marcadores e funcionam como entradas para as transições. Uma transição ocorre quanto um marcador se move para outro

lugar, se existir um arco entre a transição e o lugar. Antes que a transição ocorra, um marcador precisa estar presente em cada um dos lugares aos quais a transição é conectada por um arco. A possibilidade de uso de múltiplos marcadores para representar a execução concorrente de atividades por diversos agentes é um dos atrativos sobre outros formalismos. O estado em redes de Petri é representado pelas posições instantâneas dos marcadores, sendo portanto mais expressivo do que o único admitido em máquinas de estado.

Para que a modelagem do Workflow seja bem sucedida, uma simbologia deve ser adotada. Essa simbologia deve representar tarefas, fluxo e seus eventuais desvios, etc. Por exemplo, o símbolo de tarefa pode conter informações como nome, descrição, local de execução e grau de acesso.

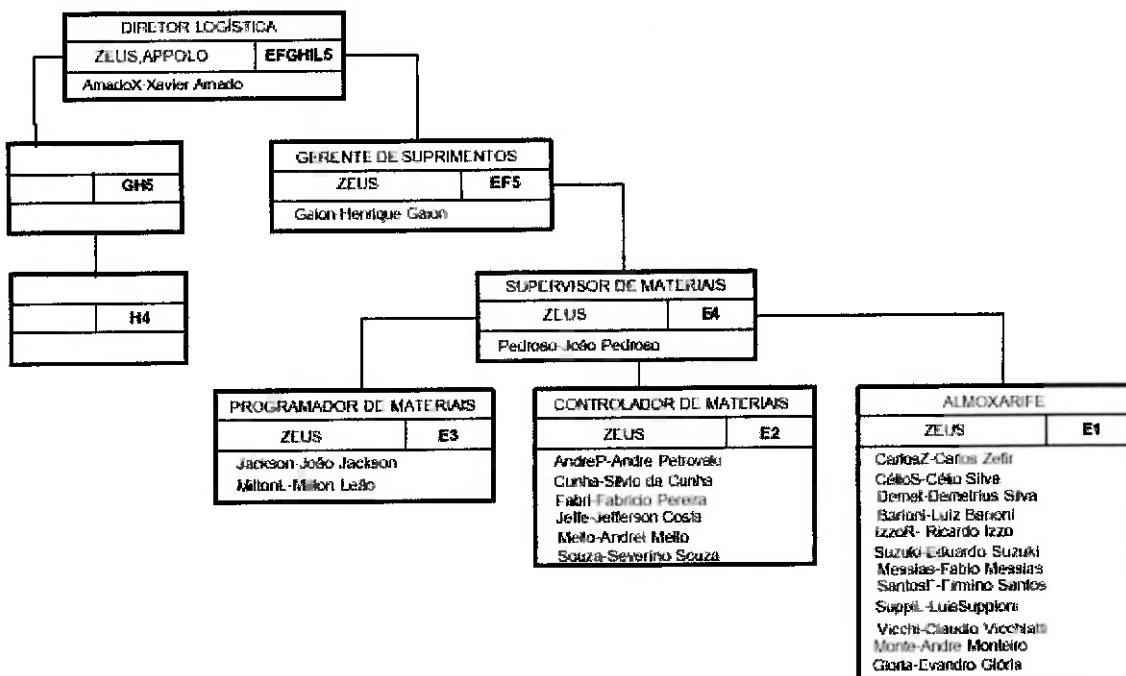
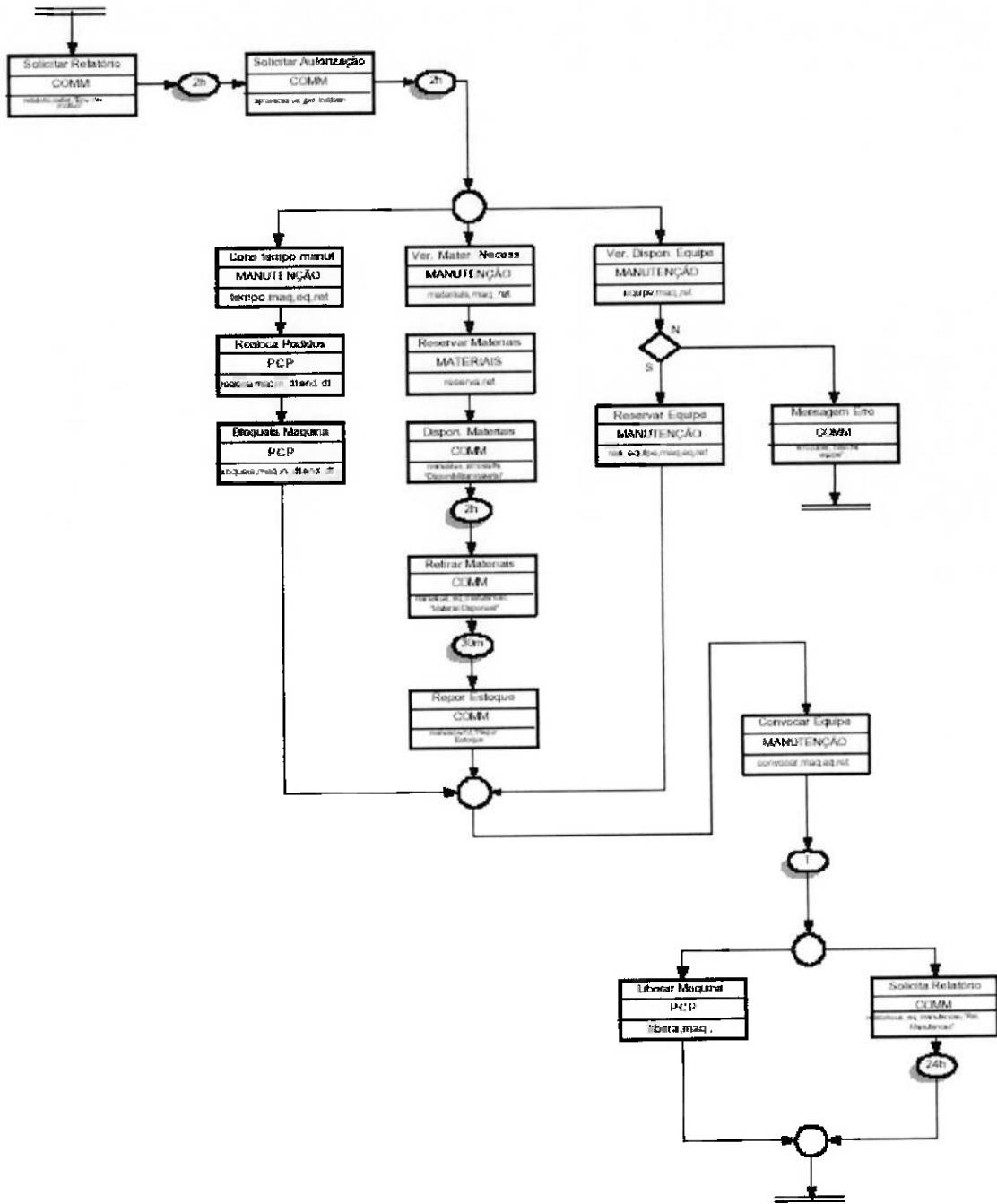


Figura 13 – Exemplo de simbologia [TELLES,1997]

Assim, o sistema de workflow pode ser representado graficamente através de suas atividades, empregando uma linguagem visual onde as principais atividades são representadas por retângulos ou ovais. Essas atividades podem corresponder a atividades atômicas realizadas diretamente pelo agente designado executor ou por atividades abstratas que por sua vez admitem ser subdivididas em etapas menores.



**Figura 14 - Exemplo de Workflow de Manutenção de Máquina modelado [TELLES, 1997]**

Para o sucesso da aplicação de um sistema de workflows, há uma necessidade de que ele seja desenvolvido com o máximo envolvimento possível daqueles que efetivamente executam o trabalho, e não somente por

um grupo de especialistas devido as incorrelações que ocorreriam. Assim as atividades devem ser estruturadas de tal forma que permitam um grande grau de liberdade de realização de ações, sem que seja necessário se recorrer ao planejamento a todo momento.

### 5.3 Comparação entre os Métodos Propostos

A análise feita anteriormente sobre os métodos de modelagem organizacional deixa bem claro as diferenças que pode-se encontrar entre cada uma delas.

Fica claro que o método do Workflow é mais aplicável para a otimização do fluxo de trabalho e informação dentro de um escritório, envolvendo documentos e ações sobre os mesmos, mas é também aplicável a estudos de processos de fabricação.

A Sistemografia é perfeitamente aplicável a processos de fabricação, conseguindo modelar detalhadamente estes processos, oferecendo ferramentas para a sua simplificação e otimização.

Baseado nas observações acima, aconselhamos a aplicação da Sistemografia para a otimização dos processos juntamente com o uso de Workflows, garantindo um entendimento total do processo dentro da organização.

## 6. Processos a serem Modelados

As ferramentas utilizadas acima serão utilizadas na análise de processo de fabricação de forjados, processos de acabamento e tratamento superficial.

Assim, tem-se uma breve descrição do processo de fabricação a ser modelado:

### 6.1 Processo de Conformação - Forjamento

#### 6.1.1 Introdução ao processo de conformação de metais:

Os processos de conformação de metais utilizam-se de uma importante propriedade desses materiais: a deformação plástica ou Plasticidade, que permite um fluxo sólido de material sem a deterioração de suas propriedades.

Assim grande parte dos produtos metálicos em seu processo de fabricação, passaram por um processo de conformação / deformação. Como nesse processo, o material é simplesmente re-arranjado para se obter o formato final desejado, sem se retirar ou cortar material, grandes forças são então necessárias e o maquinário e ferramentas empregados podem ter custos elevados.

A deformação pode ocorrer nas mais diversas composições de tensões nas três dimensões do material.

Existem diversos processos que utilizam a deformação de materiais para a fabricação de produtos finais e intermediários podendo também ser classificados conforme a temperatura de trabalho.

### 6.1.2 Variáveis no processo de conformação / deformação:

Os processos de conformação são complexos e envolvem diversas variáveis de processo. Essas variáveis podem ser classificadas como Variáveis Independentes, quando o engenheiro ou responsável pelo processo tem controle direto das mesmas e são geralmente selecionadas durante a especificação do processo; Variáveis Dependentes – são o resultado da combinação das diversas variáveis independentes .

#### 6.1.2.1 Variáveis Independentes:

1. Materia Prima: o responsável pelo processo ou engenheiro, normalmente, tem a possibilidade de escolha de material conforme necessidade de propriedades finais do produto ou simplesmente prevendo a facilidade de fabricação do produto. Assim, as características iniciais do material como sua composição química, propriedades mecânicas podem ser especificadas;
2. Formato inicial da peça de trabalho: essa variável pode ser determinada pelo processo anterior ao de deformação pela qual a matéria prima pode ter sido submetida ou simplesmente ser especificada. Normalmente a especificação dessa variável está diretamente ligada a fatos econômicos;
3. Geometria da ferramenta ou da matriz: essa variável é muito importante pois é ela que produz e controla o fluxo do material até o formato final, sendo responsável pelo sucesso ou falha de todo o

processo. Assim no processo de forjamento é necessário um estudo detalhado das cavidades da matriz.

4. Lubrificação: a lubrificação num processo de deformação é responsável além da lubrificação propriamente dita visando redução de atrito e de força necessária, mas também como refrigerante do sistema, inibidor de corrosão e barreira térmica. Sua especificação inclue o tipo de lubrificante, quantidade e forma de ser aplicado;
5. Temperatura de início de processo: diversas propriedades do material variam com a variação de temperatura. Assim sua seleção e controle podem ditar o sucesso ou fracasso do processo se tornando uma das variáveis mais importantes a ser controlada. Sua especificação inclue a temperatura da peça a ser trabalhada e também a temperatura do maquinário e/ou ferramenta.
6. Velocidade de operação: a velocidade de operação influencia a eficiência de outras variáveis como lubrificantes, tempo para a transferência de calor e força de deformação sendo assim necessária sua especificação visando obter a melhor combinação dos fatores envolvidos.

#### 6.1.2.2 Variáveis Dependentes

1. Força ou potência requerida: a força necessária para a conformação de um determinado material depende do lubrificante especificado, velocidade de operação, temperatura da peça e do maquinário e

geometria do ferramental. Uma mudança de especificação de qualquer uma das variáveis envolvidas irá indiretamente mudar a força necessária para a conformação. Aabilidade de prever a força e potência necessária é de extrema importância, ja que, isso determinará na escolha correta de equipamento a ser utilizado no processo, material e design da matriz;

2. Propriedades do material do produto final: o processo de conformação do material combinado com a variação de temperatura imposta, as propriedades iniciais do material irão mudar. Assim, em conjunto com os dados do processo e das variáveis iniciais, é necessário se prever o estado final das propriedades do material. Essas propriedades finais são geralmente requisitos do consumidor desse produto.
3. Temperatura final: durante o processo de conformação, há geração de calor que gera aumentos de temperatura. Esse aumento na temperatura pode degenerar o lubrificante utilizado, ou mesmo mudar as características e propriedades do material durante o processo. Logo, a temperatura deve ser controlada durante todo o processo de conformação;
4. Acabamento superficial e precisão: são características dependentes das especificações do processo;
5. Natureza do fluxo do material: o fluxo do material e a sua deformação dependem do histórico de deformação já imposto ao material sendo então o controle desse parâmetro.

Outra importante variável desse tipo é a velocidade de deformação. Alguns materiais são sensíveis à velocidade em que são deformados, podendo até a quebrar em caso de impactos sendo somente plasticamente deformáveis a baixas velocidades. Propriedades mecânicas obtidas a baixas velocidades podem ser diferentes das obtidas a altas velocidades. Há uma maior sensibilidade desses materiais quando o material está a elevadas temperaturas.

#### 6.1.2.3 Conformabilidade e Forjabilidade

Uma importante propriedade a ser estudada nos processos de conformação é a conformabilidade, ou seja, a facilidade de se deformar um material plasticamente. A deformação do material ocorre quando as linhas de átomos que formam os grãos cristalinos podem, quando tensionados acima de certo limite, transladar entre si. Esse escorregamento / translação ocorre em planos e direções determinadas pela estrutura cristalina do metal.

Esse fluxo que permite a deformação se inicia quando a tensão principal aplicada atinge a tensão limite de escoamento do material. O valor do limite de escoamento depende do material, da temperatura, da deformação, e da velocidade em que a deformação ocorre. Abaixo da temperatura de recristalização geralmente a tensão de escoamento aumenta com o aumento da deformação. A temperaturas acima da de recristalização, a tensão de escoamento diminui com o aumento da temperatura e com a diminuição da taxa de deformação.

A tensão de escoamento de cada material é determinada experimentalmente em função da deformação e da taxa de deformação a várias temperaturas e descritas em curvas de tensão sendo então utilizadas para ajudar no cálculo da deformação possível, força, energia e performance da conformação.

De acordo com a lei de manutenção do volume original, temos que o volume do material não é alterado após o processo de deformação e que se somarmos todas as deformações obteremos um valor nulo.

Forjabilidade é o termo geralmente utilizado para se denotar a combinação entre resistência à deformação e habilidade de deformar sem ruptura. Está ligada principalmente a duas características:

- Características metalúrgicas do material do tarugo;
- Temperaturas, deformações e taxas de deformações no material sendo deformado.

Pode assim, ser resumida como sendo a capacidade de se deformar do material sem haver ruptura do mesmo e ser estimada em várias velocidades de deformação e temperaturas pelo uso de vários testes como a torção, tração e compressão.

Através de testes particulares realizados nas mesmas condições do forjamento pode se estimar a forjabilidade.

#### 6.1.2.4 Força de deformação

A deformação principal é aquela que é igual a soma das outras duas (nas outras duas dimensões). O conhecimento dessa deformação é necessário pois é base para qualquer cálculo, como o da força para a deformação.

No cálculo da força para conformação deve se classificar em força direta e indireta. A força direta é aquela que quando aplicada provoca a deformação direta no local (e que vamos estudar principalmente). A indireta ocorre quando a força é aplicada em uma região que não é aquela que está sendo diretamente deformada.

A força direta é calculada por:

$$F = A * Kw$$

Onde A é a área sob compressão e Kw a resistência à deformação.

Essa resistência à deformação é calculada através da tensão de escoamento, considerando as perdas no processo, como atrito. Assim também é possível calcular o rendimento do processo de conformação.

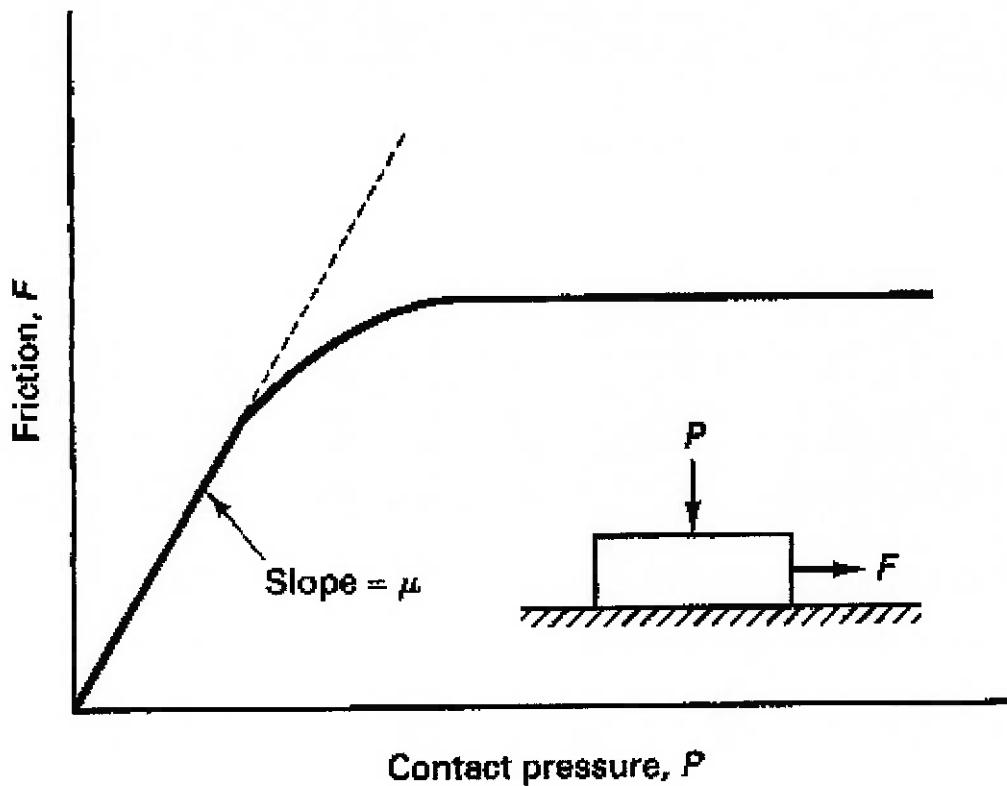
### 6.1.2.5 Atrito e Lubrificação nas condições de trabalho do metal

O atrito envolvendo a peça sendo trabalhada e a ferramenta utilizada pode, em alguns processos, para ser vencido atingir mais de 50% da energia envolvida. O acabamento superficial e precisão estão diretamente relacionados a esse atrito.

Mudanças na lubrificação podem alterar o fluxo de material durante o processo, criando ou eliminando defeitos, ou alterando as características finais do produto como suas propriedades.

A taxa de produção, design de ferramental, tal como seu desgaste são determinados pelo controle do atrito no processo.

O processo de conformação de metais envolve ferramental rígido e não deformável (visão ideal) atuando numa peça menos rígida com pressões suficientes elevadas para causar uma deformação plástica na peça. A interação entre atrito e pressão de contato é linear e proporcional quando baixas pressões são aplicadas, sendo essa proporcionalidade conhecida como coeficiente de atrito. A elevadas pressões, o atrito se torna independente da pressão aplicada, sendo então, mais dependente da rigidez do material a ser deformado por essa pressão. Vide figura 15.



**Figura 15 – Efeito da pressão de contato na resistência por atrito entre duas superfícies [DEGARMO, 1999]**

Lubrificação é um fator chave nas operações de conformação de metais. Os lubrificantes são primariamente selecionados visando a redução de atrito, diminuindo o desgaste de ferramental. Secundariamente, sua seleção visa suas propriedades de trabalhar como fluido refrigerante para o maquinário, ou como barreira térmica entre a peça a alta temperatura e o maquinário. Pode servir também como proteção à corrosão das peças trabalhadas. Sua seleção depende também das interações do lubrificante com outros fatores como meio-ambiente, considerando sua toxicidade, inflamabilidade, odor e também com o ferramental em contato, considerando sua reatividade com as superfícies em contato. É necessário também sua compatibilidade com a velocidade,

temperatura do processo. Tudo isso deve ser considerado junto ao custo que o lubrificante implica ao processo.

#### 6.1.2.6 Variações de temperatura durante o processo de conformação

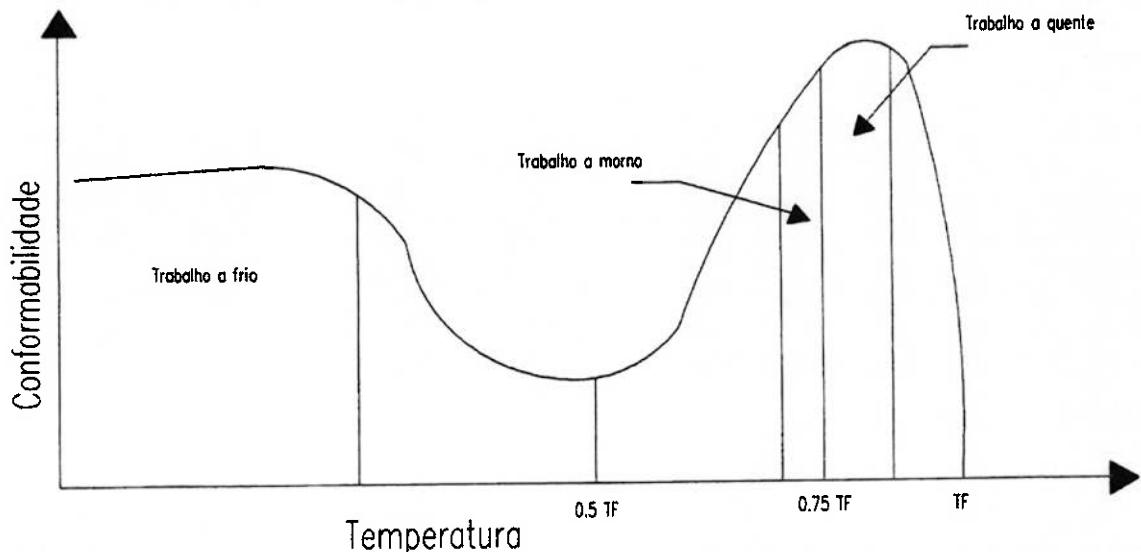
Num processo de conformação a quente, o sucesso ou fracasso, depende daabilidade em se controlar a temperatura dentro da peça trabalhada. Quase 90% da energia imposta para a deformação da peça se transformará em calor. Se o processo for rápido o bastante, a peça sofrerá um aumento de temperatura. No entanto, se o processo for lento, haverá transferencia de calor entre a superfície da peça e a suberficie da ferramenta, criando então um gradiente de temperatura na peça. Assim, tem-se uma temperatura mais elevada no interior da peça que flui com maior facilidade que a superfície a uma temperatura mais baixa resultando em quebras ou rachaduras das paredes. Para minimizar esse problema, a temperatura da peça deve ser mantida a mais uniforme possível. Para isso, as ferramentas são aquecidas a temperaturas da ordem de 300 a 450°C quando utilizadas em processos a quente.

Outro fator a ser considerado é o resfriamento não uniforme das peças trabalhadas a quente podendo resultar em tensões residuais significantes.

Assim, a conformação, através de tensão de compressão, pode ocorrer a três faixas diferentes de temperatura: a quente, a morno e a frio.

A conformação a quente é realizada acima da temperatura de recristalização do metal; a frio, abaixo da temperatura de recristalização; e a morno, em temperaturas intermediárias. A temperatura está diretamente ligada

à conformabilidade, que é uma forma de se medir o quanto o metal pode ser deformado e com que força para tal deformação, como no gráfico da figura 16 :



**Figura 16 – Representação esquemática da variação da conformabilidade de aços em função da temperatura (TF = Temperatura de Fusão) – [BÔAS,1999] et al [SEMAIATIN,1988]**

### 6.1.3 Trabalho a quente

Conforme a temperatura de um metal em referência a sua temperatura crítica, suas propriedades físicas são diferentes. Quando o metal é aquecido acima de sua temperatura crítica ou de recristalização até o seu ponto de fusão, seus cristais tendem a ficarem cada vez maiores. Se um cristal é rompido, novos cristais se formam dos pedaços e assim cristais menores

tendem a se combinar e cristais maiores a absorver os pequenos. Cristais deformados são metamorfoseados em cristais não deformados.

Então, quanto maior a temperatura, mais rápido será esse crescimento, e quanto maior o tempo, maiores os grãos. Da mesma maneira, com o acréscimo na temperatura, menor fica a resistência do metal e se torna mais fácil os grãos serem quebrados em partículas facilitando o trabalho do metal. Assim se obtém um produto final com as mesmas propriedades do material original e se torna até mais tenaz, já que a estrutura do grão é afinada e seus poros são fechados e impurezas segregadas.

A determinado grau de trabalho a quente, o processo é mais rápido, as máquinas e as forças a serem aplicadas são menores que as trabalhadas a frio. No entanto essas máquinas devem ser resistentes às altas temperaturas, o que é caro. Além disso a alta temperatura oxida o material e tolerâncias rigorosas nem sempre são aplicáveis.

Forjamento é o termo geralmente aplicado à família de processos onde a deformação é provocada por forças compressivas localizadas.

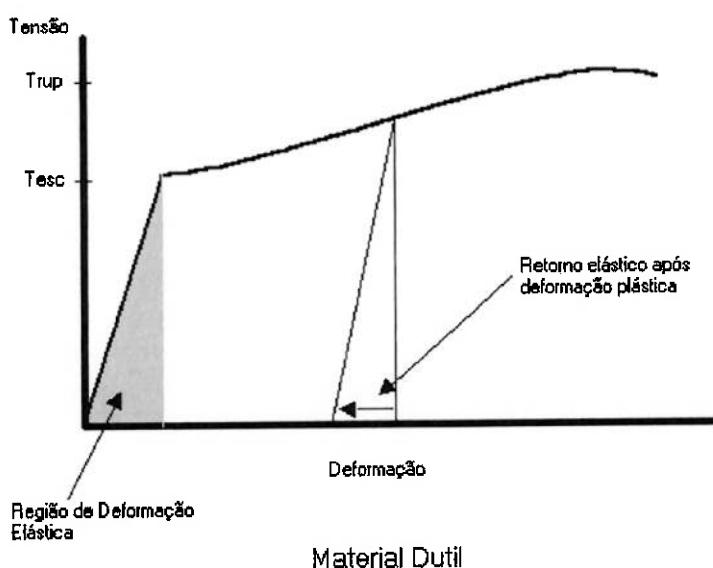
O equipamento utilizado pode ser manual ou por prensas. O forjamento, ao contrário das conformações em geral, é realizado principalmente a quente.

Uma grande variedade de processos de forjamento foram desenvolvidos. Uma peça pode ser fabricada por diversos processos de forjamento ou simplesmente um processo pode produzir um grande volume de peças idênticas.

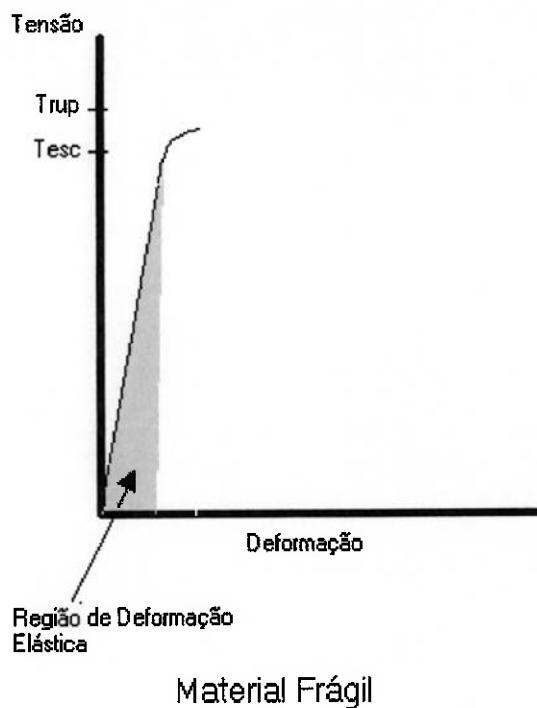
#### 6.1.4 Trabalho a frio

O trabalho a frio ocorre quando o metal é trabalhado abaixo de sua temperatura de recristalização e na maioria das vezes à temperatura ambiente. Nessa temperatura, o material é deformado até seu formato final por meio de aplicação de tensão de compressão. Nesse tipo de trabalho, tolerâncias rigorosas e excelentes acabamentos superficiais podem ser obtidos, melhorando também as propriedades físicas do material.

Durante o trabalho a frio, o material é submetido a uma tensão e se deforma proporcionalmente, inicialmente de forma elástica, e devido ao aumento dessa tensão acima da tensão de escoamento do material, passa a ter um deformação permanente ou plástica. Tensões e deformações além desse limite elástico entram na região que o trabalho a frio é utilizado, de modo a mudar o formato de um objeto. Para explicar melhor, vamos utilizar o gráfico das figuras 17 e 18:



**Figura 17 - Gráfico Tensão x Deformação de metal ductil**



**Figura 18 - Gráfico Tensão x Deformação de metal frágil**

No gráfico,  $T_{esc}$  é a tensão de escoamento do material onde acima dela, a deformação deixa de ser elástica e passa a ser inelástica ou plástica. Quando é aplicada uma tensão abaixo da de escoamento, o material se deforma e quando a tensão é retirada o material tende a voltar ao seu formato original. Quando a tensão é maior que a de escoamento, o material se deforma plasticamente e quando a tensão é retirada, a deformação tende a diminuir lentamente até o ponto II paralelamente à reta de deformação elástica. Esse fenômeno é chamado de histerese. Isso é importante, pois depois que a peça é retirada das ferramentas de conformação, haverá um ligeiro retorno no sentido do formato original.

Temos também que quanto mais um material for trabalhado a frio, mais suas propriedades se aproximam das do material frágil. E o endurecimento

por deformação que resulta nesse perda de ductibilidade e em tensões residuais além de propriedades direcionais pode ser desejado ou não nos produtos.

Assim se torna necessário muitas vezes processos secundários como o recozimento e/ou normalização para que o metal volte a ter as propriedades originais através de seu aquecimento e consequente rearranjo de seus cristais.

As forças a serem utilizadas para a realização do trabalho a frio são relativamente grandes e consequentemente o ferramental deve ser reforçado e poderoso a fim de garantir uma produção rápida que compensem o alto investimento necessário.

Geralmente, utiliza-se de metais com pouco carbono.

#### 6.1.5 Trabalho a morno

O trabalho realizado a morno, ou seja, a temperaturas moderadas (750 a 950 C), traz os benefícios de se ter uma maior conformabilidade devido a uma temperatura maior do que a frio e uma precisão (tolerância) melhor do que a quente.

Esse tipo de deformação, quando comparado com o trabalho a frio, oferece a vantagem de se trabalhar com forças menores nas ferramentas e equipamentos e a possibilidade de se trabalhar com uma maior variedade de materiais e geometrias finais. Quando comparado ao trabalho a quente, tem-se as vantagens de se obter melhor precisão dimensional, melhores superfícies e menor descarbonização, processos de acabamentos são mínimos, reduzindo o material que é perdido e menor energia é utilizada devido ao menor aquecimento das peças.

Além da classificação por temperatura podemos classificar o forjamento conforme o processo de forjamento utilizado. Sendo um dos processos mais antigos de trabalho do metal, hoje temos uma grande variedade de processos que oferecem as mais diversas capacidades. Dentre esses podem ser citados:

- Forjamento em matriz aberta;
- Forjamento em matriz fechada;
- Forjamento em prensas;
- Forjamento por UPSET;
- Forjamento por rolamento;

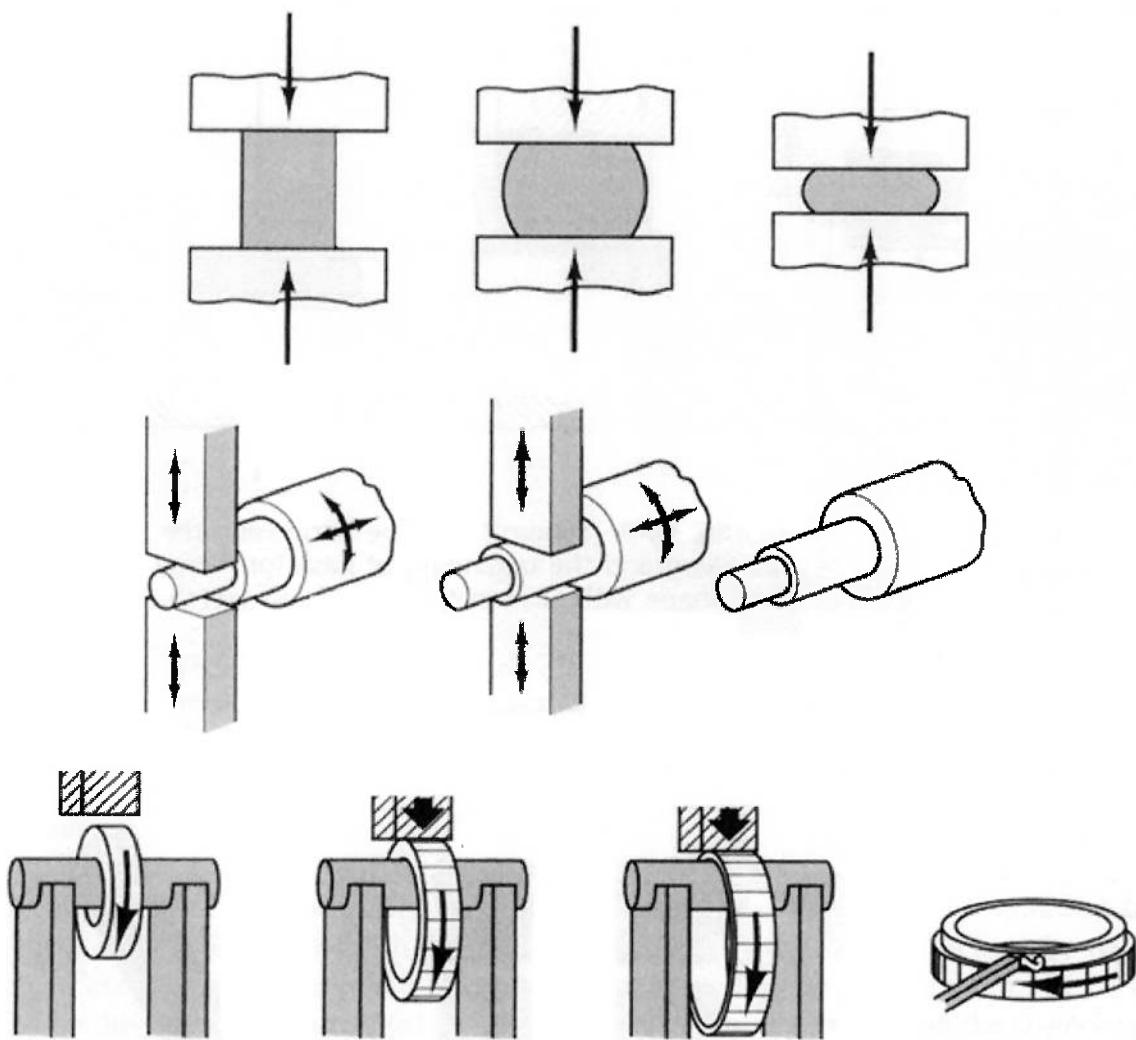
#### 6.1.6 Forjamento em matriz aberta

Matriz aberta é o termo utilizado quando a conformação é feita por aplicação de tensão de compressão por ferramentas que se movem uma contra a outra e deformam o material totalmente ou parcialmente.

O metal a ser trabalhado é primeiramente aquecido até a temperatura apropriada e o impacto é fornecido pela queda de um martelo movido geralmente por vapor ou ar.

O forjamento em matriz aberta não confina totalmente o fluxo do material, sendo necessário que o operador oriente e movimente a peça em trabalho entre as pancadas do martelo. Assim esse processo é geralmente utilizado somente para prover uma pré-forma a peça que irá posteriormente ser

trabalhada por outro processo. Esse processo, devido às suas características não é prático para produções em larga escala.



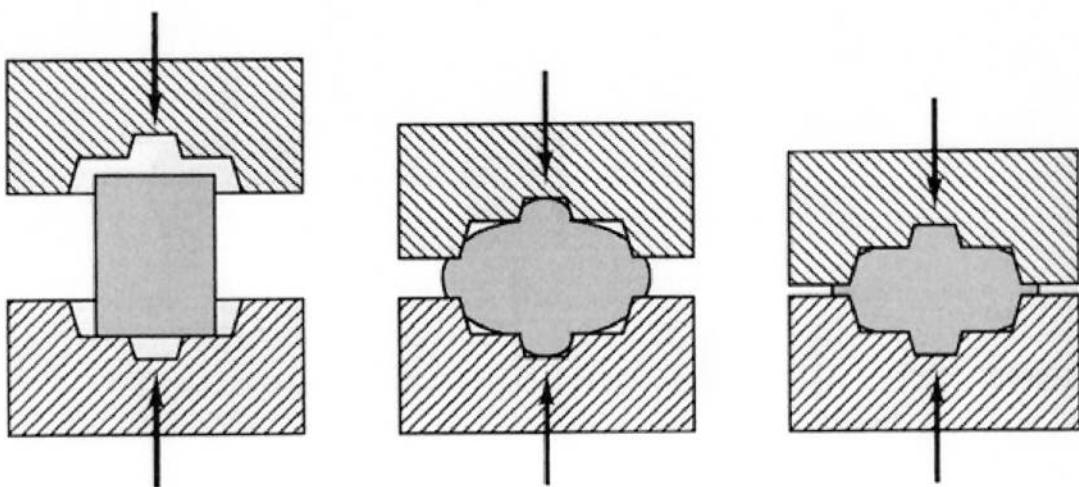
**Figura 19 – Forjamento em matriz aberta**

#### 6.1.7 Forjamento em matriz fechada

Matriz fechada é o termo utilizado quando a conformação é feita por aplicação de tensão de compressão por duas ou mais ferramentas moldadas (matrizes) que se movem uma contra a outra deformando um tarugo de metal, à uma temperatura adequada, contendo no final praticamente todo o material

deformado em seu interior. Uma parte da matriz está presa ao martelo da máquina e a outra à bigorna.

O metal aquecido a ser trabalhado é posicionado na cavidade inferior e após algumas prensagens pela matriz superior o metal flui ocupando toda a cavidade da prensa. Dependendo do processo pode haver rebarbas ou não.



**Figura 20 – Figura esquema – Forjamento em matriz fechada**

Este processo é capaz de produzir componentes de alta qualidade a um custo moderado. Além disso o forjamento oferece uma alta taxa resistência-peso, ductibilidade, resistência ao impacto e à fadiga.

Boa parte dos produtos forjados são produzidos usando a tecnologia de forjamento em matriz.

Assim, dado um tarugo de matéria prima e uma geometria, a velocidade do cabeçote da máquina de forjamento influencia a taxa de deformação e a tensão de escoamento. A velocidade do cabeçote, a geometria do componente e a temperatura da matriz influencia a distribuição de temperatura no produto

forjado. E a tensão de escoamento, o atrito, e a geometria da peça determinam o fluxo de metal, a carga e a energia de forjamento.

No processo por matriz fechada, o material a ser forjado deve satisfazer dois requisitos básicos:

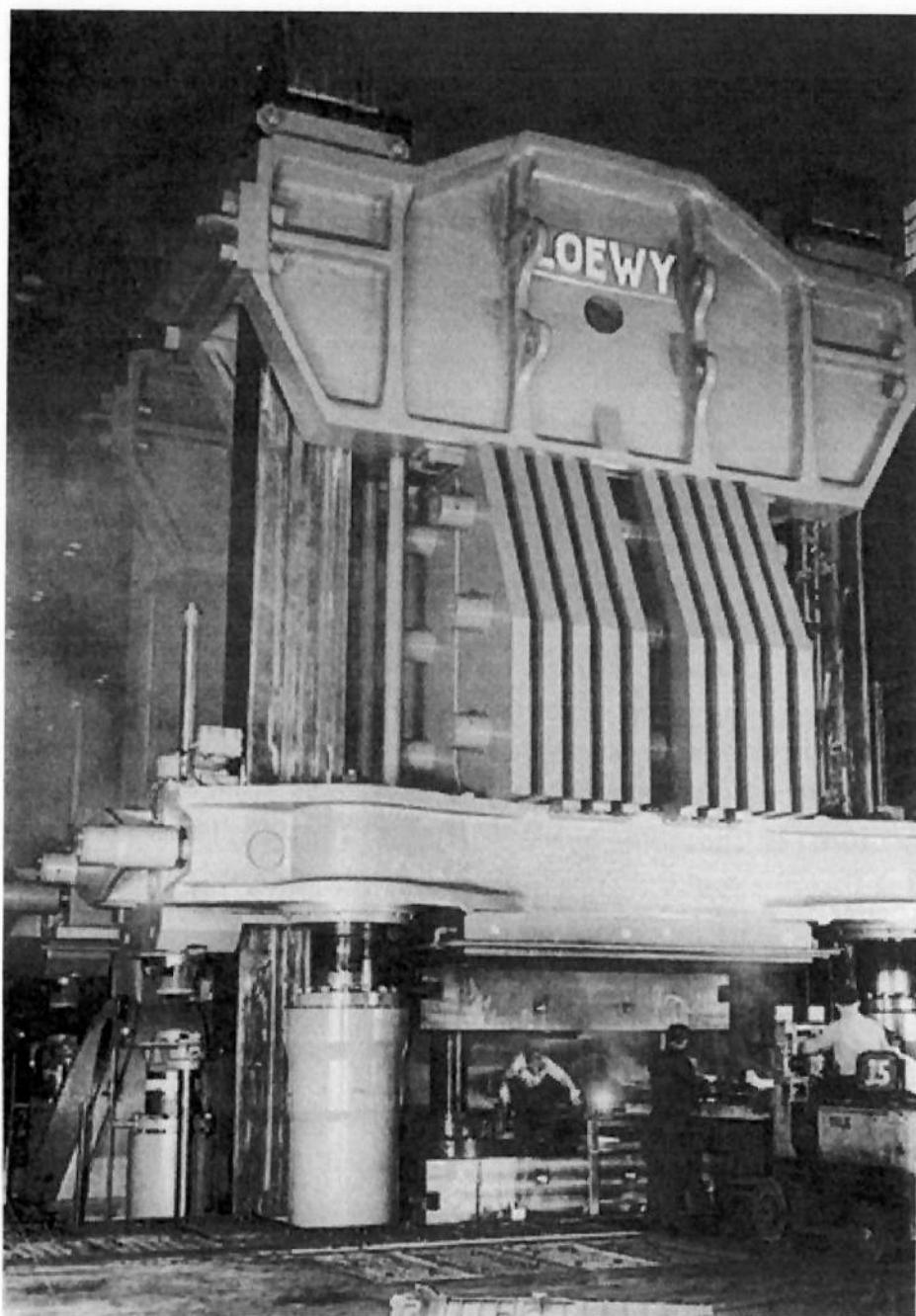
- Alta forjabilidade - a capacidade do material de se deformar sem romper deve ser suficiente para permitir a quantidade desejada de deformação.
- Baixa resistência do material ou tensão de escoamento – a pressão na matriz deve ser mantida abaixo da resistência do material utilizado para manufatura da matriz.

Por convenção, forjamento em matriz fechada é considerado como operação de forjamento a quente.

#### 6.1.8 Forjamento em prensas

No forjamento por martelos ou impacto, o metal flui em resposta a energia resultante da colisão martelo-peça. A força envolvida é elevada e se utiliza prensas mecânicas e hidráulicas que podem ser automatizadas.

Nesse processo, a compressão do material ocorre de maneira relativamente mais lenta que o de por golpeamento, penetrando profundamente pois o material tem tempo para escoar. As matrizes podem ter menos saídas e as peças forjadas ficam mais próximas das dimensões desejadas além dos forjados poderem ser mais complexos e maiores. A vida dessas matrizes é relativamente longa.



**Figura 21 – Prensa de Forjamento**

#### 6.1.9 Forjamento por UPSET

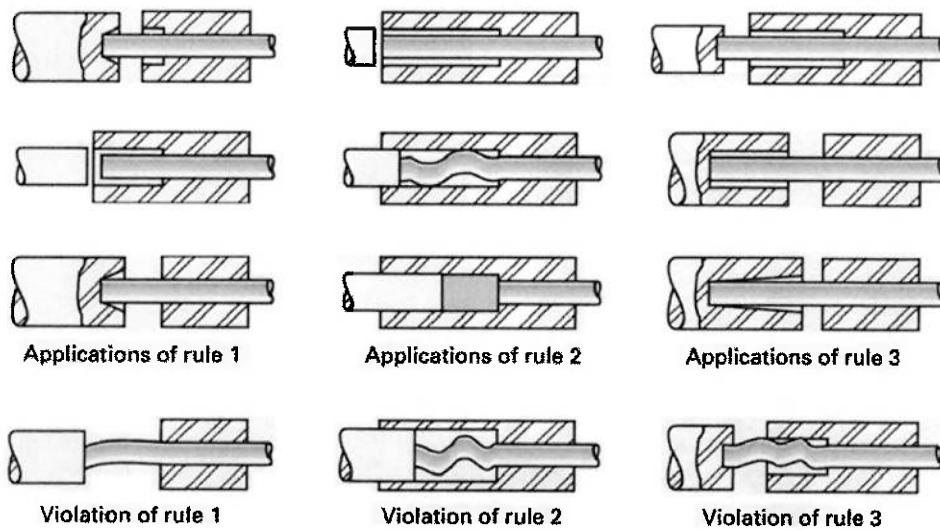
O forjamento por UPSET envolve o aumento do diâmetro de um material pela compressão de seu comprimento. É o processo de forjamento mais utilizado atualmente ( em peças produzidas ), sendo que o forjamento pode se dar a quente ou a frio.

Esse processo envolve geralmente várias matrizes que contém múltiplas posições e/ou cavidades por onde as peças trabalhadas são passadas de posição em posição para a formação da peça final.

Para um correto funcionamento desse processo, 3 regras devem ser consideradas:

- O comprimento livre a ser deformado não deve ultrapassar o triplo do diâmetro da peça original;
- Comprimentos maiores que o triplo do diâmetro podem ser forjados com sucesso desde que a cavidade da prensa não seja maior que uma vez e meia do diâmetro da barra original;
- No forjamento de peças com comprimento maior que três vezes o diâmetro da barra e com cavidade maior que uma vez e meia o diâmetro da barra, o comprimento de barra livre não deve ultrapassar o diâmetro da barra.

Para uma vizualização vide figura 22.



**Figura 22 – Regras para forjamento por UPSET**

Quando automatizado, esse processo pode produzir em alta escala a baixo custo sendo o processo que irá ser estudado na fabricação de engrenagens no estudo de caso.

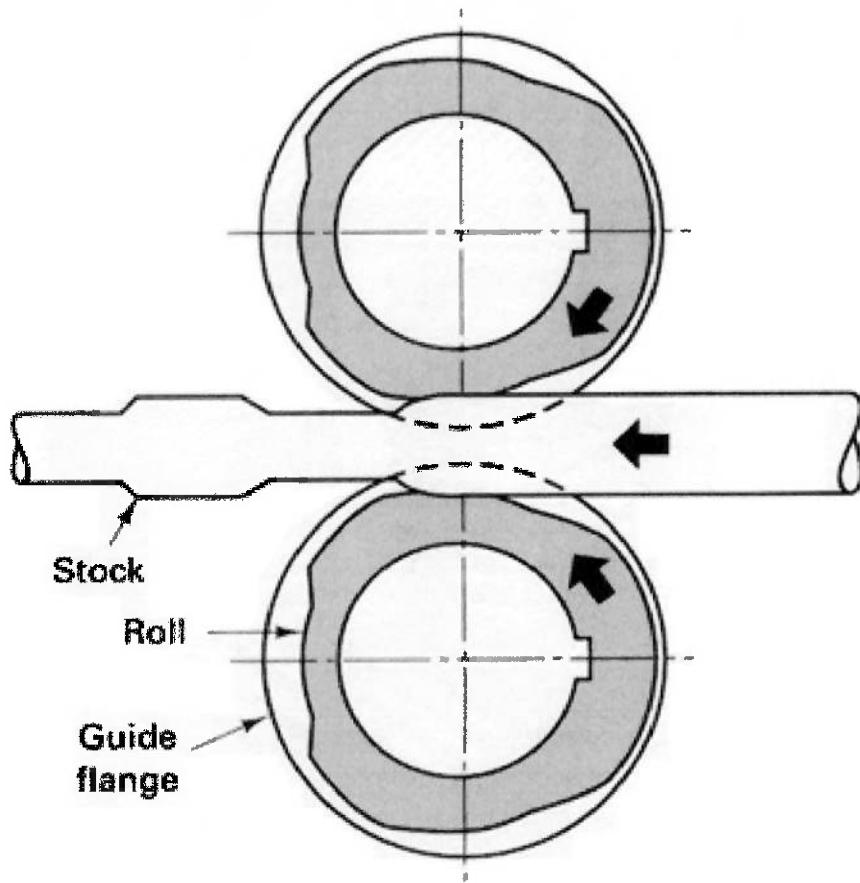


Figura 23 – Exemplo de forjamento por UPSET

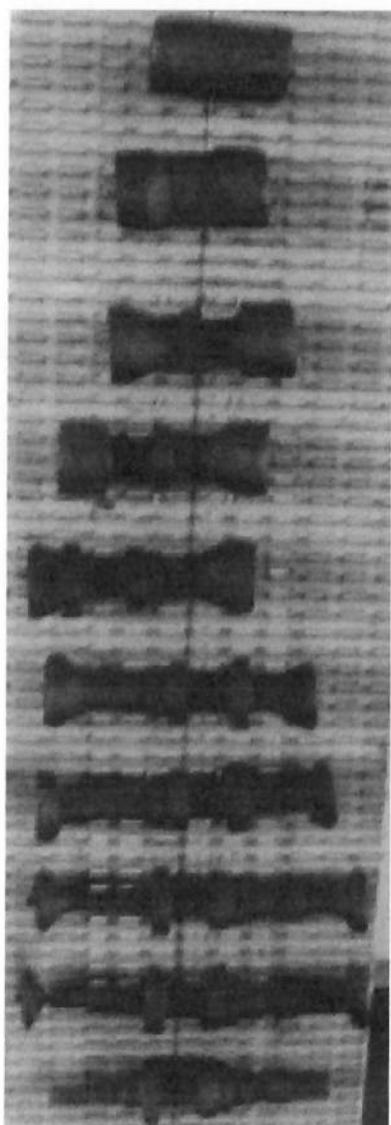
### 6.1.10 Forjamento por rolamento

O processo de forjamento por rolamento se dá pela diminuição do diâmetro e aumento do comprimento sendo utilizado na fabricação de eixos .

A peça a ser trabalhada é aquecida e introduzida na máquina e dois rolos cilíndricos cada um contendo os rebaixos dão forma à peça. Esse processo é utilizado na fabricação de eixos primários de transmissões. Vide figura 24.



**Figura 24 – Forjamento por rolamento**



**Figura 25 – Etapas do processo de forjamento por rolamento – Eixo carretel ( primário de um transmissão de veículos de passeio )**

## 6.2 Fluxograma do processo de forjamento e comparações

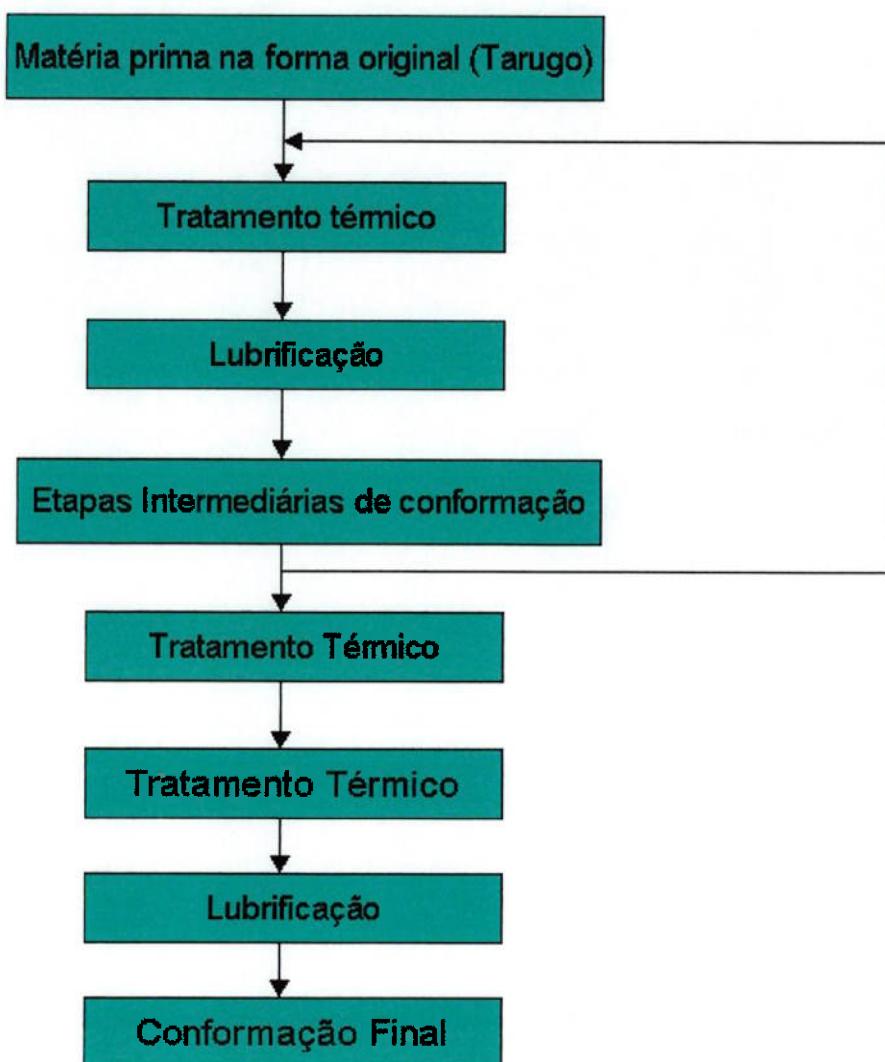


Figura 26 – Fluxograma do processo de forjamento a frio [BÔAS, 1999]

A seguir segue uma tabela comparativa dos processos de forjamento:

	Forjamento a Quente	Forjamento a Morno	Forjamento a Frio
Tolerância	IT 12 – IT 16 Tolerâncias grandes	IT9 – IT12 Tolerâncias Intermediárias	IT7 – IT11 Qualidade semelhante à usinagem como torneamento
Peso das Peças Conformadas	5g – 1500Kg	100g – 50Kg	1g – 50Kg
Lotes Econômicos (peso de 1Kg)	Min 500 peças	Min 1000 peças	Min 3000 peças
Aços Conformáveis	todos	Aços com teores de elementos de liga < 10%	Aços de baixa liga (C<0,45%; outros elementos < 3%)
Formas	Todas sem reentrâncias	Axissimétricas são desejáveis, sem reentrâncias	Principalmente axissimétricas sem reentrâncias
Conformabilidade	Normalmente não há	Razão de deformação > 1,6 (limite superior depende da composição do aço e da temperatura)	Razão de deformação < 1,6
Qualidade Superficial	>100µm	<50µm	≈10µm
Possibilidade de Automação	limitada	Vantajosa	Adequada
Tratamento Superficial	Não é necessário	Normalmente não há tratamento superficial	Recozimento Fosfatização
Tratamento Intermediário	Não é necessário	Normalmente não é necessário	Recozimento Fosfatização
Vida da Matriz	2000 – 5000 peças	10000 – 20000 peças	20000 – 50000 peças
Custos para desenvolvimento e construção de ferramentas	baixo	alto	Médio

Tabela 2 - Valores comparativos dos processos de forjamento [BÖAS, 1999] et al [HIRSCHVOGEL & DOMMELEM, 1992]

### 6.3 Aspectos econômicos do forjamento

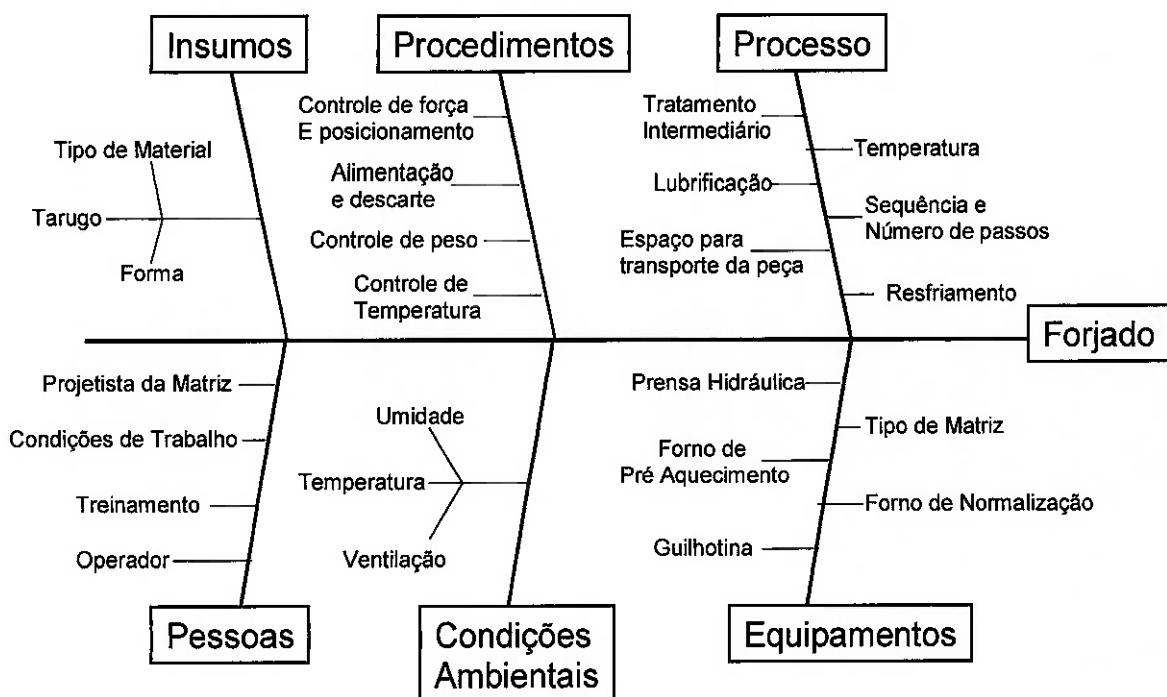
Os benefícios oferecidos pelo forjamento, quando comparado com outros processos, podem se summarizados como melhor qualidade combinados com menor custo de manufatura. Isto é conseguido devido às propriedades mecânicas favoráveis conseguidas quando aplicado o forjamento a quente ou a frio, como enrigecimento, fibras não interrompidas, tolerâncias menores a uma boa qualidade superficial. A vantagem custo benefício do processo é considerável e deve-se além do processo anterior ou alternativo de fabricação ser considerado que:

- Praticamente todo o volume do metal original é processado ao forjado final, enquanto que num processo de usinagem boa parte do material seria perdido. A economia pode chegar a cerca de 75%.
- Redução ou eliminação de processos secundários devido à boa qualidade superficial principalmente quando utilizado o forjamento a frio. Uma usinagem final somente se torna necessária em casos de geometria específica e complexa.
- Baixo custo de automação onde sistemas de transporte são utilizados.
- Alta produtividade (até 200 peças por minuto para peças pequenas; e até 50 peças por minuto para peças maiores)
- Facilidade de integração de peças de diversas geometrias em uma única peça, diminuindo processos e número de peças.

Abaixo classificamos os parâmetros do processo que afetam a acurácia geométrica e qualidade superficial de um forjado.

Linha	Maquinário	cinemática, rigidez, frequência natural, comportamento conforme aquecimento
	Automação	controle de peso, alimentação e descarte cuidadoso, precisão no posicionamento, controle da força de pressão
	Aquecimento	tipo, temperatura, controle da temperatura
Tarugo	Resfriamento	Controle da temperatura
	Material	análise, microestrutura
	Forma	formato do material
	Processo de manufatura pré-tratamento	blanking, corte fosfatização
Processo	Sequência do processo e número de passos	simples, múltiplo, combinação de processos
	Temperatura	à quente, à frio e à morno
	tratamento intermediário	recristalização, normalização, fosfatização
Matriz	Lubrificação e resfriamento	lubrificação adicional, spray, floding, refrigerante
	Espaço para transporte da peça	
	Precisão	concepção, detalhes, processo de produção, ajuste, deformações mecânicas, expansão térmica
Elemento Humano	Desgaste	Material da matriz, superfície, intervalo de troca
	Designer da Matriz	
	Fabricante da Matriz	
	Operadores	
	Treinamento	
	Instrução	

**Tabela 3 – Parâmetros do processo e sua influência**



**Figura 27 – diagrama “espinha de peixe”de Ichikawa para o processo de forjamento**

## 7.0 Processos de corte e acabamento – Usinagem

### 7.1 Introdução à manufatura de engrenagens

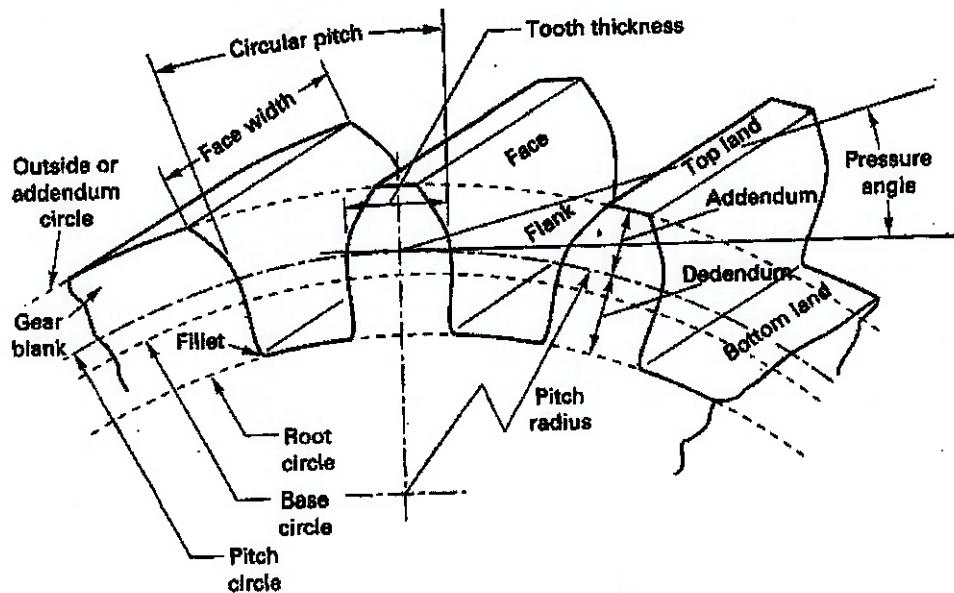
As engrenagens são responsáveis pela transferência de energia ou movimento mecânico entre eixos. Milhões de engrenagens, desde de poucos milímetros a mais de 6 metros de diâmetro, são produzidas todos os anos e utilizadas para as mais diversas aplicações. Dentre essas aplicações podemos destacar a industria automobilística e a caixa de transmissão.

Nestas, engrenagens de diversos diâmetros formam pares que estabelecem relações de reduções. Assim, estas podem ser escalonadas de forma a formarem um trem de engrenagem e as marchas do veículo que possibilitam uma multiplicação do torque do motor e o desenvolvimento de velocidade de um veículo.

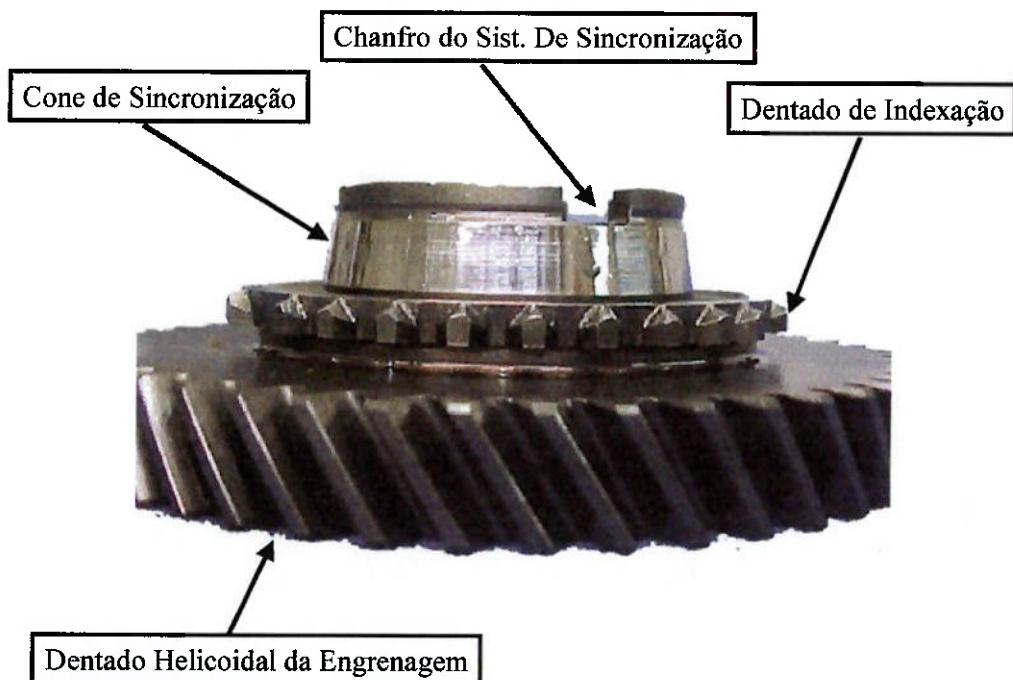
As engrenagens são então responsáveis pela transmissão de energia ( no caso o torque do motor ) e pela multiplicação desse torque através de sua relação de redução ( relação entre o número de dentes da engrenagem de entrada pelo de saída ). Ao mesmo tempo, sua geometria deve permitir um excelente aproveitamento do material, utilizando-se o mínimo de material com o máximo de transferência de torque, evitar fadiga e ruído.

Os dois últimos ítems tem sido os maiores desafios de hoje. Utilizar-se de material e/ou liga que seja barata e fazer uso de geometria ( microgeometria ) de forma a aumentar a capacidade de torque e vida da engrenagem através da área de contato e como ocorre sua deformação. A mesma microgeometria é responsável pela redução de ruído ( o comumente chamado de “whine noise” ou choro de engrenagem ), merecendo assim um estudo aprofundado na microgeometria do perfil ideal da engrenagem.

Para esse estudo é necessário a introdução da denominação geral de engrenagens conforme figura 27.



**Figura 28 – Denominação dos parâmetros de uma engrenagem**  
[DEGARMO, 1999]



**Figura 29 – Partes principais de uma engrenagem de uma caixa de transmissão de veículos de passageiro**

Para a operação correta do conjunto de engrenagens, alguns requisitos devem ser observados:

- O perfil do dente real deve ser o mesmo do perfil teórico;
- O espaçamento entre dentes deve ser correto e uniforme;
- O diâmetro de referência real e teórico devem ser coincidentes e concêntricos com o eixo de rotação da engrenagem;
- A superfície da face e do flanco devem ser lisas e suficientemente fortes para resistir ao desgaste e ao ruído de operação;
- Rolamentos e eixos devem ser dimensionados e / ou escolhidos de forma a manterem a distância entre-eixos constante mesmo quando são aplicados esforços;

Neste estudo, estaremos considerando engrenagens do tipo helicoidal que são as utilizadas em aplicações veiculares. Esse tipo de engrenagem é utilizado devido a sua maior resistência e menor ruído que as engrenagens retas apresentam devido à maior área de contato e maior número de dentes em contato. Como desvantagem temos a transferência de parte da força na direção axial que carrega os rolamentos também axialmente.

O processo de manufatura de engrenagens envolve o “blanking”, e que se refere ao processo inicial de forjamento; o corte de engrenagens; tratamento de térmico e retífica.

O processo de corte de engrenagens e retífica é estudado no processo de usinagem.

Usinagem é o processo de remoção de material de uma peça na forma de cavaco afim de se obter uma forma, dimensão ou acabamento. A grande maioria dos produtos manufaturados requerem algum tipo de usinagem no seu

processo de fabricação, desde trabalhos sem precisão necessária como limpeza de forjados até trabalhos de acabamento de precisão com tolerâncias apertadas da ordem de mícrons ou menores.

Existem vários tipos de processos de remoção de material na produção de engrenagem, podendo citar no caso a ser estudado: torneamento, hobbing, shaving e retífica.

O processo utilizado no processo estudado envolve após o torneamento dos diâmetros interno e externo para assegurar o ponto de fixação, uma fresa para se obter os dentes do chamado “Dog Body” que são os dentes de engrenamento do sistema de sincronização, um hobbing para o corte dos dentes. Após essa etapa considerada etapa verde ( antes do tratamento térmico ) as peças seguem para uma lavagem por mergulhamento e em seguida para o forno de cementação. Então a engrenagem é temperada e revenida. Por fim, a engrenagem passa por um processo de acabamento com torneamento e lapidação do cone do anel sincronizador e retífica ou brunimento dos dentes.

O processo de retífica após o tratamento térmico permite correções geométricas devido a desvios causados durante o processo de tratamento térmico. No entanto, devido ao aumento da resistência do material, existe um desgaste acentuado da ferramenta e parte do ganho por tempéra é perdido durante a retirada de material na usinagem.

### 7.1.1 Torneamento

O torneamento a manufatura de engrenagens em alta escala para principalmente automóveis é utilizada principalmente para o ajuste da peça bruta de forma a centrá-la e garantir o paralelismo inicial para que a peça passe pelas outras etapas da manufatura e usinagem.

Assim, o forjado bruto é alimentado em um torno para que este através de uma ferramenta de corte, determinado uma velocidade de avanço ( nessa etapa não se necessita de qualidade superficial ), faceie a peça, eliminando incrustações e determinando os pontos de apoio das próximas etapas.

### 7.1.2 Fresamento

A operação de fresamento é utilizada no corte do dentado responsável pela indexação no sistema de sincronização conhecido por "Dog Body". Este processo consiste em uma ferramenta de corte no mesmo formato do espaço entre dentes. Esta ferramenta é alimentada radialmente contra o centro da peça a ser trabalhada até a profundidade de dentado desejado e depois percorre a face de forma a obter o comprimento de dente desejado. Assim o processo se repete cortando todos os dentes.

Apesar de ser um processo simples, exige cuidados do operador e é relativamente demorado. O dentado resultante desse processo não deve ser operado a altas velocidades e não deve ser utilizado em condições onde ruídos sejam críticos.

Na utilização como sistema de indexação, ruídos não são críticos e esse dentado em especial não trabalha como uma engrenagem, mas sim com todos os seus dentes em contato com a outra peça, a luva de engate.

### 7.1.3 Hobbing

Um hob, ou fresa helicoidal, pode ser considerado como uma cremalheira dentada envolvida em um cilindro no forma de uma hélice e estriado. A ação de corte de um hobbing sobre uma engrenagem cilíndrica pode ser observado na figura 29.



**Figura 30 – Corte utilizando um hob [INTERNET]**

Para cortar a engrenagem cilíndrica, o eixo do hob deve ser montado em relação ao eixo de rotação do blank com o ângulo de hélice do hob mais um angulo referente ao angulo de hélice desejado para a engrenagem. Este corte é feito de maneira contínua sendo que o hob e o blank devem ter seus eixos conectados por engrenagens que garantam o sincronismo necessário. Para se iniciar o processo de corte, o hob avança radialmente sobre a peça até que a profundidade do dentado obtido seja o desejado. Então, o hob avança na direção paralela ao eixo de rotação do blank. Assim, enquanto o blank gira, o dentado é gerado por toda a superfície.

Hobbing é um processo rápido e barato de se obter engrenagens cilíndricas helicoidais com alta precisão.

#### 7.1.4 Tratamento térmico

Esse trabalho não tem como objetivo estudar o processo de tratamento térmico.

Como informação, o processo térmico na fabricação de engrenagens tem dois objetivos principais: a cementação e a tempera. Tanto a cementação como a tempera são importantes tratamentos térmicos para as engrenagens, aumentando sua resistência. No entanto, no processo de aquecimento e resfriamento à que a peça estará sujeita, também poderá introduzir outras variáveis provenientes dos gradientes térmicos: pequenas imperfeições no dentado (dimensionais) que irão causar ruídos e/ou problemas de engrenamento.



**Figura 31 – Forno de tratamento térmico [INTERNET]**

#### 7.1.5 Processo de acabamento abrasivo

Os materiais abrasivos mais utilizados nos processos de fabricação são:

- Óxido de Alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ );
- Carboneto de Silício ( $\text{SiC}$ );

- Nitreto de Boro Cúbico (CBN); e
- Diamante.

A tabela abaixo traz um pequeno resumo da dureza e aplicação de cada um destes abrasivos:

Material Abrasivo	Hardness (Knoop)	Tipo de Material que usina
Óxido de Alumínio	2100	aço, ferro e bronze
Carboneto de Silício	2400	aço inoxidável, ferro fundido
Nitreto de Boro Cúbico	4700	revestimentos duros
Diamante	7000	carboneto de tungstênio e

**Tabela 4 – Dureza e aplicação de materiais abrasivos**

Apesar deste processo de fabricação ser um dos mais antigos processos de remoção de material, ele ainda tem uma grande importância a nível tecnológico e comercial, pois:

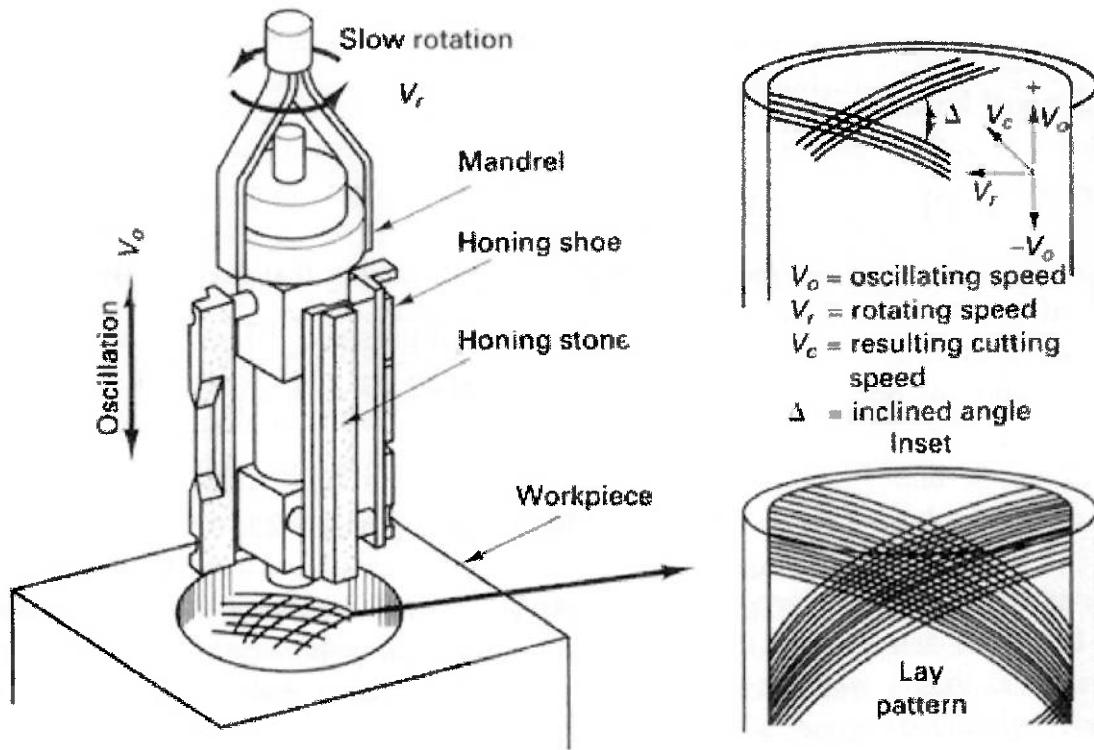
- Alguns processos abrasivos podem produzir superfícies de acabamento de até 1 micrôn; e
- Em alguns processos abrasivos as tolerâncias dimensionais podem ser mantidas a níveis bem precisas.

Os processos abrasivos que serão discutidos e futuramente estudados são: retificação (grinding), brunimento (honing) entre outros.

#### 7.1.5.1 Brunimento ( Honing )

O processo de brunimento é aquele onde pequenas pedras abrasivas aderidas à ferramenta removem pequenas quantidades de material, da ordem

de 0.005in ou menos. Também é um processo muito utilizado no acabamento de engranagens e no controle da microgeometria da mesma.



**Figura 32 – Processo de brunimento ( honing )**

O movimento da ferramenta é a combinação de rotação e movimentos oscilatórios axiais, regulados de tal forma que um ponto da pedra abrasiva não realiza o mesmo curso repetidas vezes.

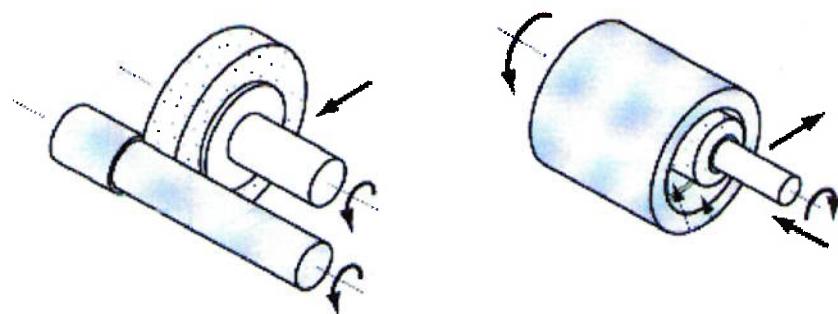
#### 7.1.5.2 Retífica ( Griding )

O processo de retificação ( grinding ) através de abrasivos é o processo mais comum entre os processos abrasivos que serão estudados. Ele é um processo de remoção de material onde partículas de material abrasivo são aderidas a um rebolo (grinding wheel), montada em uma estrutura de máquina

apropriada, e que opera em velocidades de superfície e rotações muito elevadas.

Ele é um processo indicado para a retirada de pouco material, pois ele se mostra um processo inadequado e muito caro para a retirada de grandes quantidades de material, devido ao alto custo de ferramenta e de potência da máquina exigidos.

O processo mais utilizado na fabricação de engrenagens é o ilustrado a seguir:



**Figura 33 – Retificação Abrasiva Cilíndrica**

Este processo é utilizado em engrenagens após o processo de tratamento térmico, vizando corrigir as pequenas imperfeições geradas durante o aquecimento e resfriamento. Nessa etapa, a engrenagem já se encontra temperada e revenida apresentando uma alta dureza superficial que acabará por desgastar a ferramenta de retífica (rebolo) ao mesmo tempo que perderá parte das propriedades obtidas. Assim esse processo somente é utilizado onde se necessita além de uma melhoria das propriedades físicas da engrenagem para suportar um maior torque de transferencia, com um maior refino no ruído

gerado. Esse processo é então utilizado principalmente em engrenagens de caixas de transmissão de veículos de luxo onde os ruídos são fatores críticos.

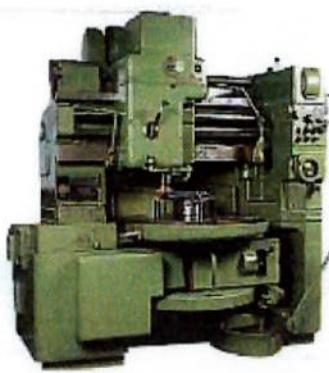
#### 7.1.5.3 Shaving

Um processo alternativo ao processo de retífica é o shaving. Ao contrário do processo de retífica, o processo de shaving é geralmente aplicado antes do tratamento térmico para se obter o perfil de dentado da engrenagem desejado. É um processo mais barato e rápido, com mínimo desgaste de ferramental. No entanto, como o processo de tratamento térmico se dá posteriormente ao shaving, pequenas imperfeições no perfil do dentado podem surgir e o nível de ruído é ligeiramente maior que o retificado.

O processo consiste em uma ferramenta de shaver conforme figura 34, que roda a alta velocidade em contato com a engrenagem. Essa ferramenta contém pequenas serras nos dentados que removem as imperfeições originais da peça originando um perfil de dentado muito acurado. Enquanto giram, a peça em contato e a ferramenta apresentam um movimento alternativo longitudinal.



Figura 34 – Ferramenta de corte – shaver [INTERNET]



**Figura 35 – Shaver ( Máquinário ) [INTERNET]**

#### 7.1.5.4 Lapidação ( Lapping )

Lapidação é um processo de acabamento de superfície onde finas partículas abrasivas são aderidas a um material mais macio ou flexível que pode ser um tecido ou ferro fundido mas sempre mais mole que o material a ser trabalhado.

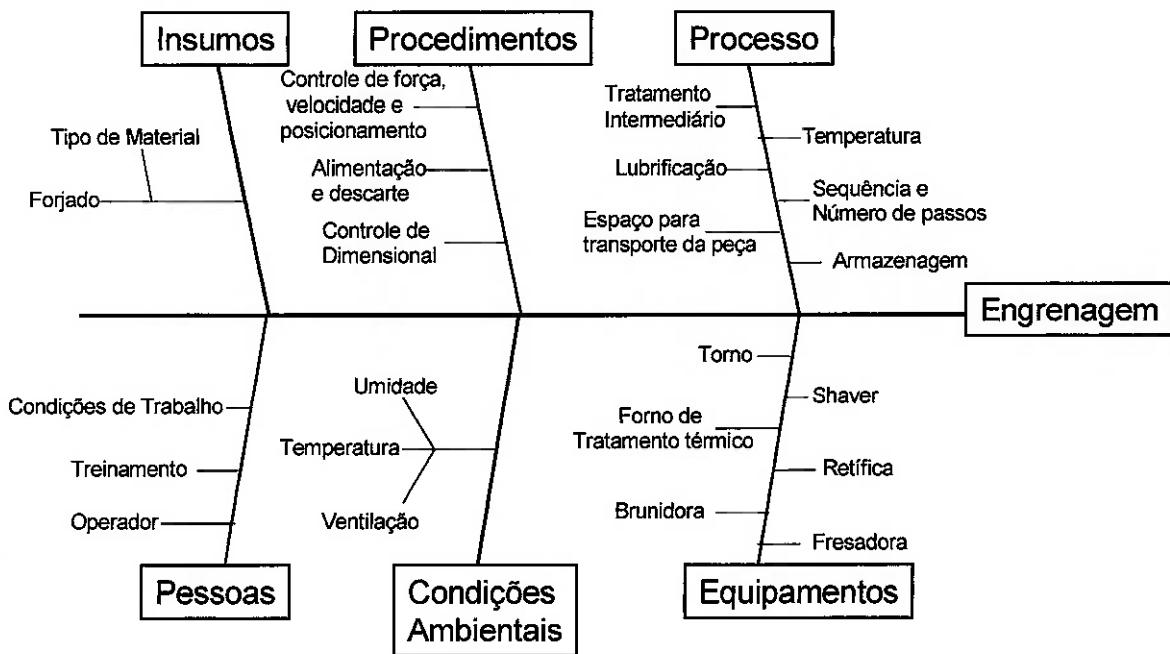
As partículas, sendo muito pequenas, removem pequenas quantidades de material sendo utilizada principalmente para remover riscos deixados pelo processo de torneamento. No caso de engrenagens, esse processo é muito utilizado no cone da engrenagem onde se montará os anéis sincronizadores. Essa parte da engrenagem deve ter um alto controle do acabamento, pois uma variação grande na rugosidade média pode por aumentar o desgaste do sistema de sincronização se estiver muito elevada, ou , simplesmente impedir o correto funcionamento do sistema se a rugosidade estiver abaixo do especificado.

### 7.1.5.5 Comparação entre os diversos processos abrasivos

A seguir temos uma figura, figura 36, comparando os diversos processos abrasivos existentes e a precisão que pode ser obtida com cada uma:

Abrasive operation	0.5 µin. 0.0127 µm	1.0 µin. 0.0254 µm	2.0 µin. 0.051 µm	4.0 µin. 0.102 µm	8.0 µin. 0.203 µm	16 µin. 0.406 µm	32 µin. 0.813 µm	63 µin. 1.60 µm
Grinding, medium grit size								
Grinding, fine grit size								
Honing								
Lapping								
Superfinishing								
Polishing								
Buffing								

Figura 36 – Comparação entre o diversos processos abrasivos

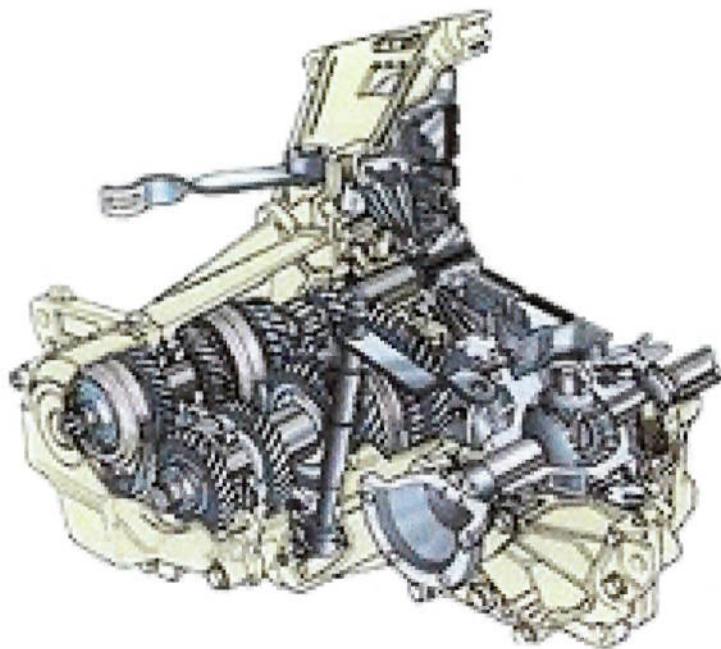


**Figura 37 – diagrama “espinha de peixe”de Ichikawa para o processo de usinagem**

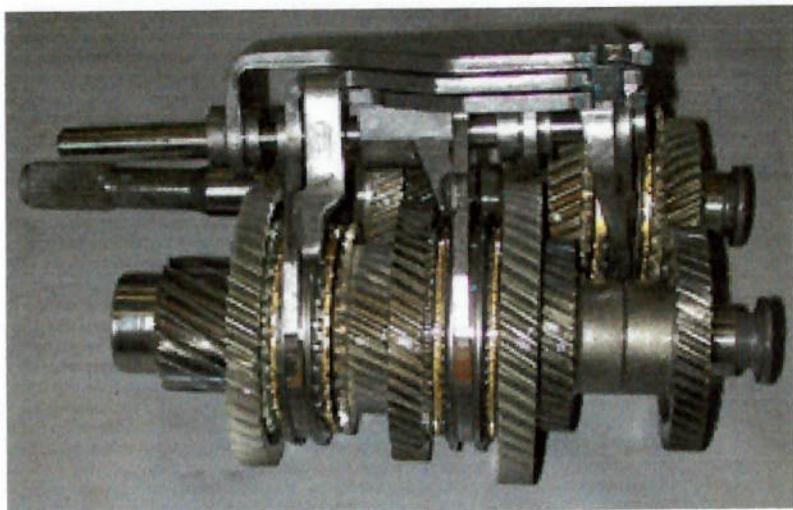
## 8. Estudo de Caso

### 8.1 Introdução

O escopo deste trabalho é o estudo de uma empresa de fabricação de peças para transmissões mecânicas de veículos de passeio como engrenagens e/ou trens de engrenagens. O estudo consiste no mapeamento dos processos desta empresa, como processos de forjamento das peças iniciais até o seu processo final de acabamento.



**Figura 38 – Caixa de transmissão de um veículo de passeio [FIAT]**



**Figura 39 – Eixo de entrada, trem de engrenagens e garfos**

O estudo do processo de forjamento consiste da análise do processo desde o recebimento da matéria prima, corte, aquecimento até o forjamento propriamente dito e sua expedição

O estudo do processo final de corte e acabamento consiste na análise desde o recebimento das peças forjadas, limpeza, corte, tratamentos térmicos e acabamento final.

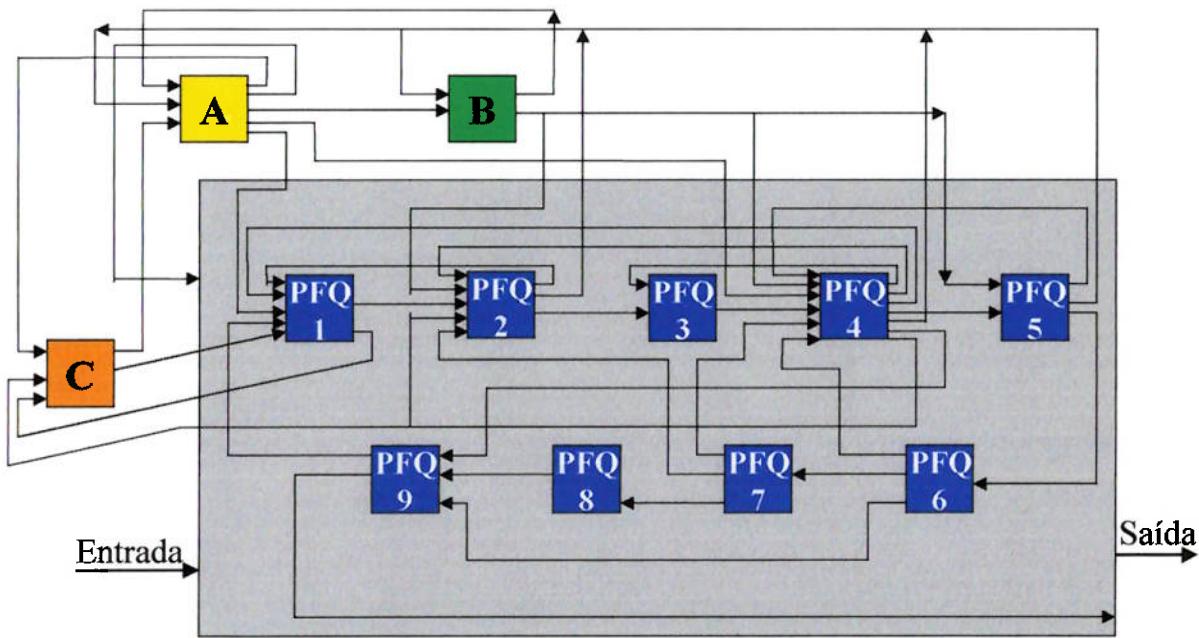
A seguir serão apresentados os itens mencionados anteriormente:

## 8.2 Processo de forjamento a quente

O processo de fabricação de engrenagens para transmissões de veículos de passageiro envolve o processo de forjamento a quente como fase inicial de todo o processo.

Assim, resumidamente, temos que nesta fase uma matéria prima é recebida em tarugos, cortada e forjada de forma a dar início ao processo.

Abaixo temos o sistemógrafo completo do processo de forjamento e a seguir a descrição de cada processador (efetua uma mudança na peça). Após a descrição de cada processador, está descrito o fluxo das peças e informações que o sistemógrafo completo representa gráficamente.



**Figura 40 - Sistemógrafo completo do processo de forjamento**

( em cinza )

Onde A representa a Engenharia, B a Matrizaria e C a Aciaria.

**PFQ-1** Recebimento de matéria prima. Processador que recebe, descarrega e estoca a matéria prima. Tem também como função identificar essa matéria prima.

**PFQ-2** Corte da barra. Processador que transporta a matéria prima para a guilhotina ou serra, prepara e corta a barra.

**PFQ-3** Aquecimento. Processador que tem como função, transportar o tarugo para o forno, aguardar o estabelecimento do nível de temperatura ideal, prepara o forno e alimenta o tarugo no forno.

**PFQ-4** Forjamento. Descarrega o tarugo aquecido do forno, aguarda o comando para alimentar a prensa, alimenta a prensa, forja, descarrega o forjado na esteira para a prensa de rebarba/furação.

**PFQ-5** Rebarbação e furação. Aguarda o comando para alimentar a prensa, prepara a prensa, alimenta o forjado na prensa, rebarba/fura, descarrega o forjado e aguarda a empilhadeira para leva-lo ao pátio externo.

**PFQ-6** Normalização. Aguarda o comando para a normalização, prepara o forno, transporta o forjado até o forno, alimenta o forjado no forno, normaliza o forjado, descarregá-lo e verificar a dureza do forjado. Por fim liberá-lo para o estoque.

**PFQ-7** Esmerilhamento. Transporte do forjado para o esmeril, aguardar o comando, esmerilhar, e transportá-lo para a decapagem.

**PFQ-8** Decapagem Mecânica. Aguarda o comando, prepara a máquina, transporta o forjado até a máquina, decapa, e transporta o forjado para a expedição.

**PFQ-9 Expedição, Inspeção e estocagem do forjado.** Confirmar a quantidade de peças, emitir a etiqueta de transferência e de faturamento de forjados para o cliente, olear o forjado e expedí-lo para o cliente.

**A – Engenharia da Forjaria.** Desenvolvimento do projeto do produto forjado a partir do produto necessário para usinagem e das necessidades do cliente. Projetar as matrizes, acompanhar o processo e desenvolver melhorias nos processos. Homologar o produto e o processo.

**B – Matrizaria.** Confeccionar as matrizes para o forjamento, acompanhar a vida da ferramenta e preparar o ferramental necessário ao forjamento.

**C – Aciaria.** Elaborar o processo de fabricação do aço, manter sua qualidade assegurada, confeccionar e entregar o aço.

Assim temos como funcionamento a seguinte ordem:

O processador C (aciaria) envia o relatório da corrida de aço ao processador A (engenharia) que analisa a qualidade do aço e retorna a informação ao C sobre qualquer divergência nas barras de aço. Em seguida o C entrega a 1 a barra de aço com o seu código de corrida. O 1 retorna com informação ao C confirmando a quantidade de barras e a identificação do material ou então informando qualquer divergência. O A envia o desenho do produto e o processo de fabricação ao 4 e envia ao 1 a especificação do tarugo (diâmetro, comprimento, peso, tipo de aço). O A envia o projeto e o seu detalhamento (matrizes inferior e superior, calços, núcleos e fixadores ao processador B (matrizaria) para a construção do ferramental e depois envia aos processadores 2, 4 e 5 os ferramentais. Na sequencia, o 1 envia ao 2 a especificação do tipo de aço com os dados de sua corrida. O 2 envia ao 3 a

caixa de tarugo com a etiqueta de fluxo e dá retorno sobre a qualidade da barra ao 1. O 3 entrega ao 4 o tarugo aquecido e o 4 envia o forjado ao 5 e os dados do forjamento: corrida, data e quantidade ao 9. Ainda, o 4 envia resposta sobre solicitação de alteração da folha do roteiro de fabricação ao A sobre divergências no ferramental e matrizes ao B, sobre problemas de qualidade da matéria prima ao C, sobre informação da temperatura do tarugo ao 3 e sobre a qualidade do corte ao 2. O 5 envia o forjado rebarbado / furado, com a respectiva etiqueta de fluxo ao 6. Ainda, o 5 retorna informação sobre o visual do forjado e a presença de defeitos ao 4 e sobre problemas com o ferramental ao A e B. O 6 envia a caixa de forjado normalizado ao 7. Também envia dados sobre o ciclo de da normalização e identificação da bandeja do tratamento térmico ao 9. O 6 retorna a informação ( presença de casca / oxidação excessiva e rebarbação inadequada ) ao 4. O 7 envia a caixa de de forjado normalizado esmerilhado ao 8. Também o 7 retorna informações sobre a presença excessiva de rebarba ao 4 e 2. O 8 envia a caixa de forjado normalizado rebarbado decapado ao 9 que, por sua vez, confirma os dados de etiqueta ao 1. Faz a inspeção ( 100% ), a expedição e a entrega do forjado ao cliente.

No próximo ítem, cada processador está desdobrado em seu próprio sistemógrafo, representando o fluxo de informações e as ações tomadas.

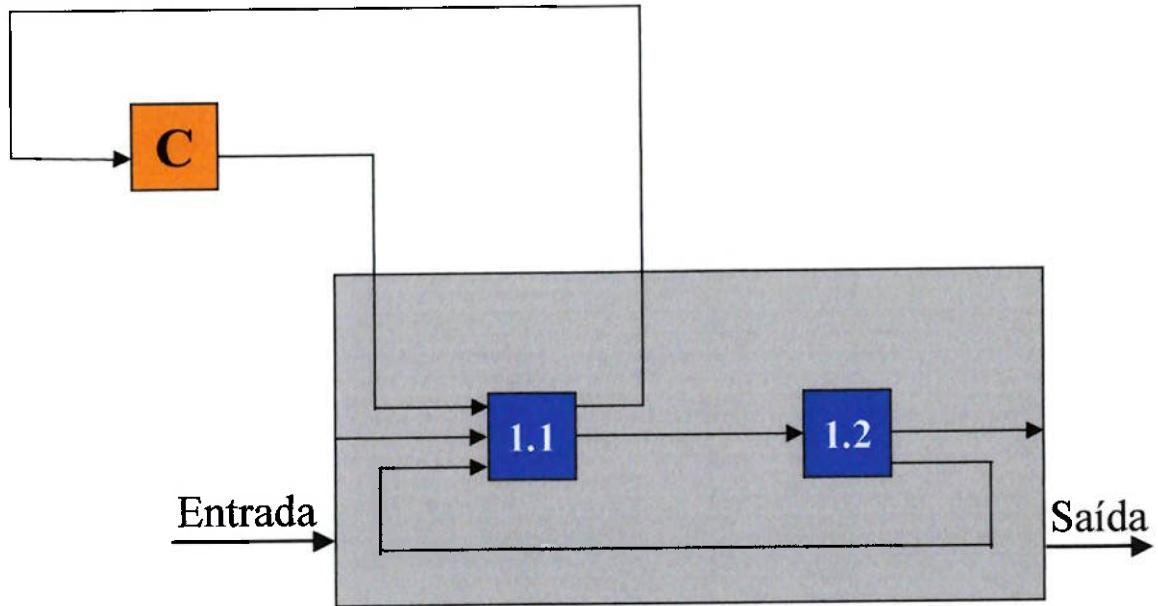
Na figura 39 abaixo, pode-se observar o estado final da peça forjada.



**Figura 41 – Peças Forjadas**

#### 8.2.1 Desdobramento e descrição de cada processador

##### 8.2.1.1 Processador PFQ1 – Recebimento da matéria prima



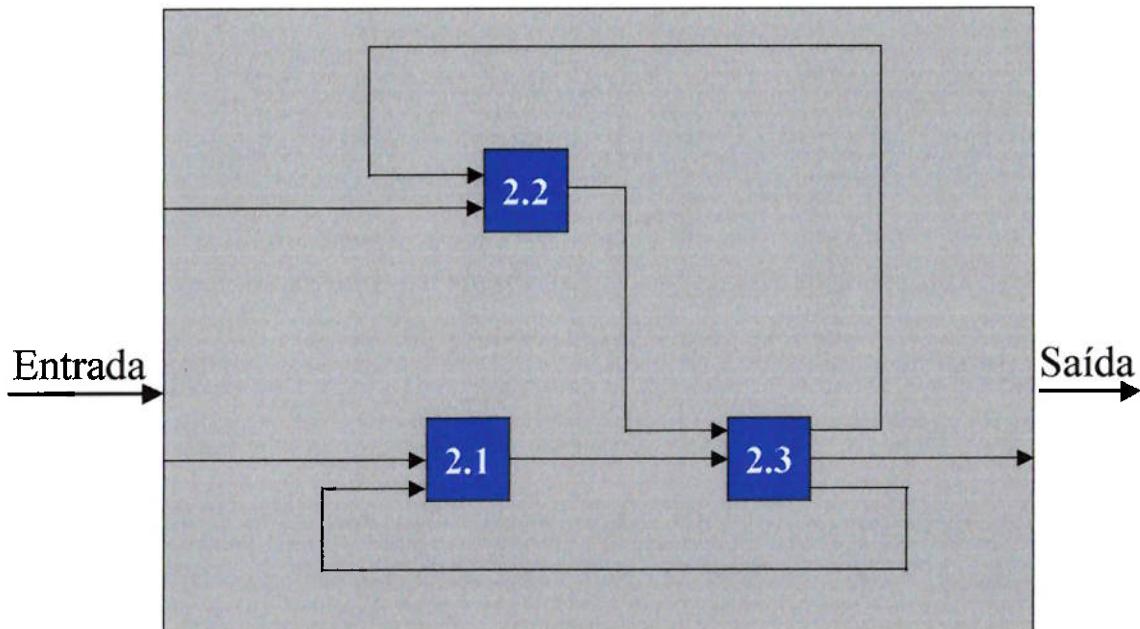
**Figura 42 - Sistemógrafo PFQ-1 – Sistemógrafo de recebimento de matéria prima**

**PFQ 1.1 – Recebimento e descarga.** Recebe e descarrega a matéria prima.

**PFQ 1.2 – Estoque.** Estocar a matéria prima

O PFQ C, ou processador C ( Aciaria ) , envia a barra de aço ao 1.1, que por sua vez responde à C sobre a quantidade e qualidade das barras de aço recebidas. O 1.1 informa o 1.2 sobre a quantidade recebida de barras de aço. O 1.2 controla e informa 1.1 quando ocorre alguma divergência no estoque de barras de aço. Ao mesmo tempo, envia a informação de barras estocadas ao processador corte da barra ( PFQ-2 ).

#### 8.2.1.2 Processador PFQ2 – Corte da Barra



**Figura 43 - Sistemógrafo PFQ-2 – Sistemógrafo do corte da barra**

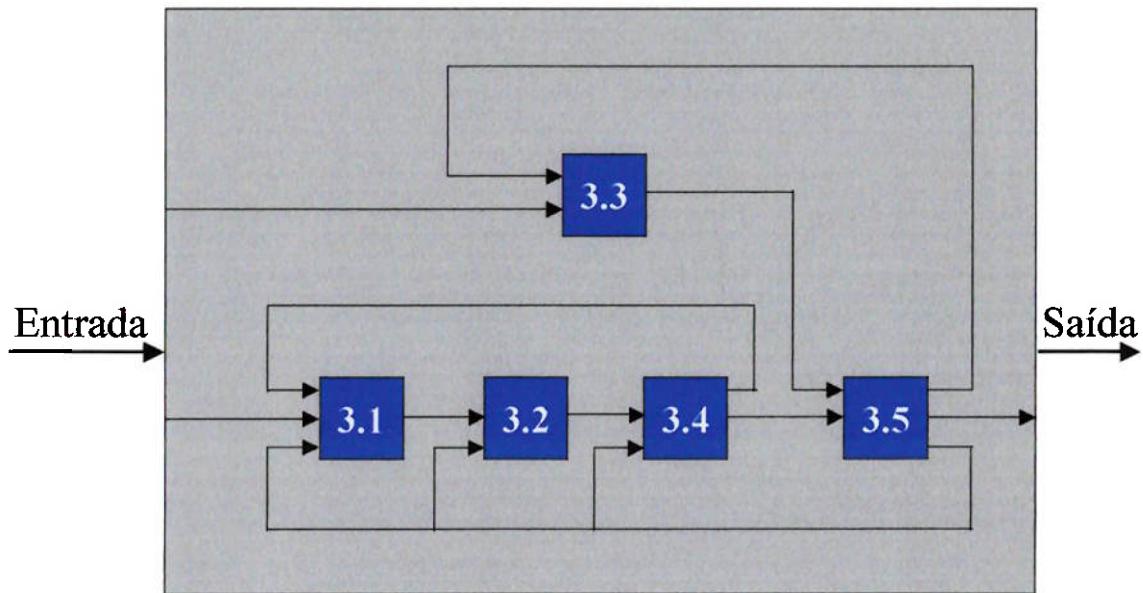
**PFQ 2.1 – Transporte.** Transporte da matéria prima para operação de corte

**PFQ 2.2 – Preparação.** Preparação da guilhotina para operação de corte

**PFQ 2.3 – Corte da barra.** Corte das barras de aço em tarugos

O processador PFQ-1, informa ao 2.1 e 2.2 sobre o estoque das barras de aço. O 2.1 informa o 2.3 sobre o transporte da barra de aço para a guilhotina e o 2.2 informa o 2.3 que a guilhotina está preparada. O 2.3 informa ao 2.2 sobre a folga existente entre as lâminas de corte e sobre o ajuste do curso da guilhotina e ao 2.1 sobre a necessidade de mais barras de aço. Por fim, o processador 2.3 envia a caixa com tarugos ao processador aquecimento do tarugo ( PFQ-3 ).

#### 8.2.1.3 Processador PFQ3 – Aquecimento do Tarugo



**Figura 44 - Sistemógrafo PFQ-3 – Sistemógrafo do aquecimento do tarugo**

**PFQ 3.1 –Transporte.** Transporte do tarugo da célula de corte para a de forjamento

**PFQ 3.2 – Set-up ou tempo de fila.** Aguardo da preparação do forno ou escolha do próximo ítem a ser forjado.

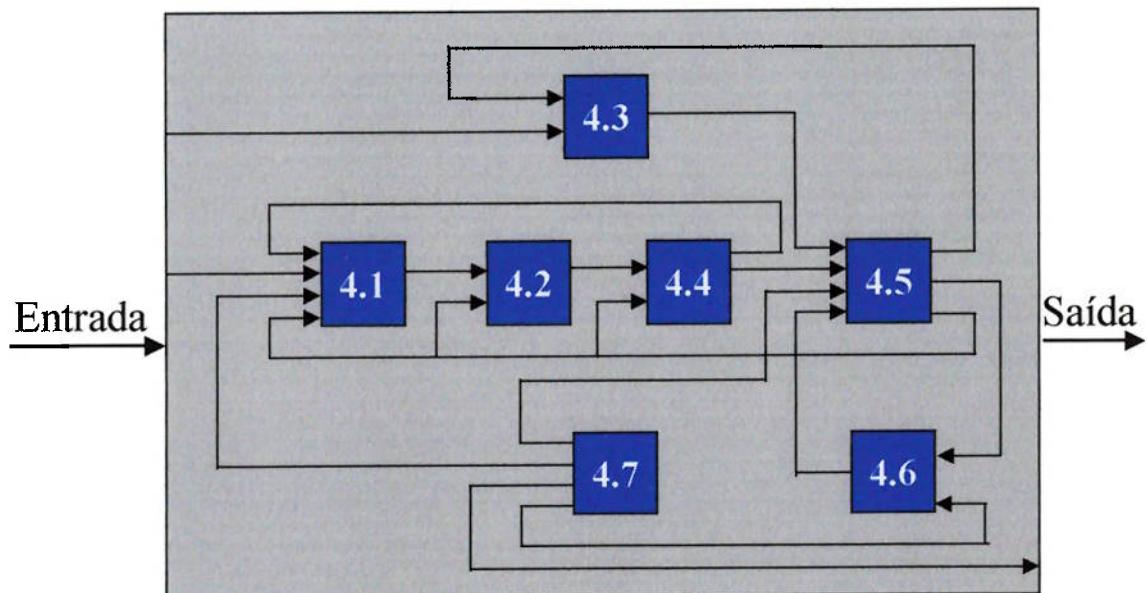
**PFQ 3.3 – Preparação.** Preparação do forno e controle de ciclo e temperatura e troca das bobinas quando necessário.

**PFQ 3.4 – Alimentação.** Alimentação do forno com os tarugos.

**PFQ 3.5 Aquecimento.** Aquecimento dos tarugos no forno.

O processador 3.1 informa ao 3.2 a disposição de tarugos. O 3.2 envia informação sobre a fila no forno de aquecimento ao 3.4, que por sua vez, prepara e informa ao 3.55 sobre a alimentação do tarugo no forno de aquecimento. Ao mesmo tempo o 3.5 recebe informação do 3.3 sobre a preparação do forno e retorna ao 3.3 a informação sobre a necessidade de regulagem da temperatura do forno. O 3.5 ainda informa os processadores 3.1, 3.2 e 3.4 sobre o fluxo do forno. Por último o 3.5 informa o processador forjamento ( PFQ 4 ) sobre o valor da temperatura do tarugo na saída do forno.

#### 8.2.1.4 Processador PFQ4 – Forjamento



**Figura 45 - Sistemógrafo PFQ-4 – Sistemógrafo do forjamento**

**PFQ 4.1 – Descarga.** Descarregar o tarugo aquecido do forno.

**PFQ 4.2 – Tempo de fila.** Aguardar o comando da prensa de forjamento.

**PFQ 4.3 – Tempo de preparação.** Preparação da prensa.

**PFQ 4.4 – Alimentação.** Alimentação do tarugo aquecido na prensa.

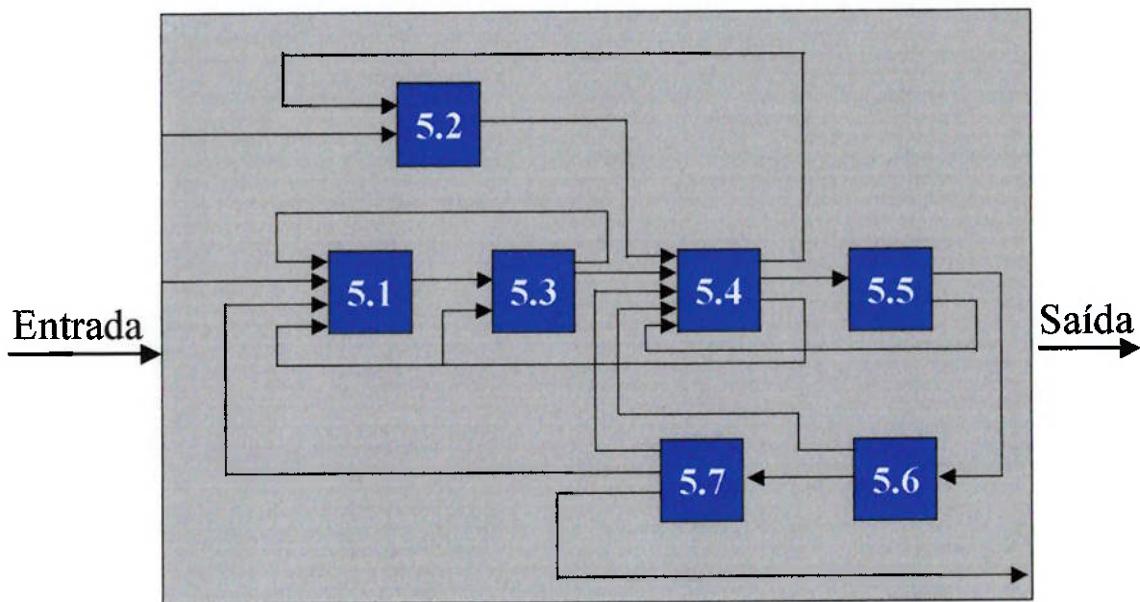
**PFQ 4.5 – Forjamento.** Obter o forjado na prensa de forjamento.

**PFQ 4.6 – Descarga.** Descarga do forjado da prensa de forjar.

**PFQ 4.7 – Transporte.** Transporte do forjado à prensa de rebarbação / furação

O processador 4.1, descarrega o tarugo aquecido do forno de aquecimento e informa a disponibilidade ao 4.2 que repassa a informação ao 4.4 para que o tarugo seja alimentado na prensa de forjar. O 4.4 retorna ao 4.1 a informação que o tarugo foi alimentado na prensa de forjar e o comando da prensa e ao 4.5 que o tarugo se encontra na primeira estação de trabalho. O 4.5 recebe também informação sobre a liberação do set-up do 4.3. Assim o 4.5 informa o 4.6 que o primeiro tarugo está forjado e também informa ao 4.1, 4.2 e 4.4 sobre o forjamento do primeiro tarugo. O 4.6 informa ao 4.7 que o forjado já está descarregado da prensa e retorna essa informação ao 4.5. O 4.7 informa o 4.1, 4.5 e 4.6 que o forjado será transportado para o processador rebarbação / furação ( PFQ-5 ).

### 8.2.1.5 Processador PFQ5 – Rebarbação e Furação



**Figura 46 - Sistemógrafo PFQ-5 – Sistemógrafo de rebarbação / furação**

**PFQ 5.1** – Tempo de fila. Aguardar o comando da prensa.

**PFQ 5.2** – Tempo de preparação. Prepara a prensa de rebarbar / furar.

**PFQ 5.3** – Alimentação. Alimentação do forjado na prensa.

**PFQ 5.4** – Rebarbação e furação.

**PFQ 5.5** – Descarga. Descarregar o forjado da prensa de rebarbar / furar.

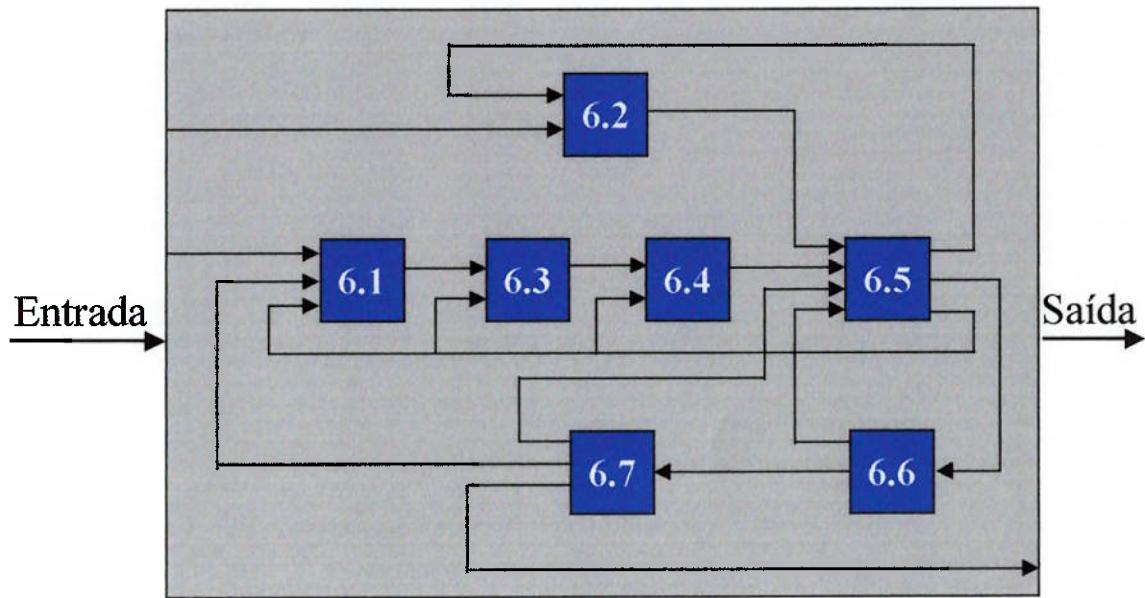
**PFQ 5.6** – Tempo de fila. Aguarda empilhadeira para transporte.

**PFQ 5.7** – Trasnporte. Trasnporte ao pátio externo do forjado aquecido e rebarbado.

O processador 5.1 informa ao 5.3 sobre o forjado pronto a ser rebarbado. O 5.3 informa o 5.4 e retorna ao 5.1 sobre a alimentação do forjado na prensa de rebarbar e furar. O 5.4 pede informação ao 5.2 sobre a liberação de set-up. O 5.4 confirma a liberação e informa ao 5.6 que o forjado foi descarregado da prensa. O 5.6 informa ao 5.4 e ao 5.7 que o forjado aguarda

transporte. O 5.7 informa então o processador normalização ( PFQ-6 ), 5.1 e 5.4 sobre o forjado rebarbado / furado em estoque.

#### 8.2.1.6 Processador PFQ6 – Normalização



**Figura 47 - Sistemógrafo PFQ-6 – Sistêmagrafo de normalização**

**PFQ 6.1** – Tempo de fila. Aquardar o comando para normalização do forjado.

**PFQ 6.2** – Tempo de preparação. Prepara o forno de normalização.

**PFQ 6.3** – Transporte. Transporte do forjado no forno.

**PFQ 6.4** – Alimentação. Alimentar o forjado no forno.

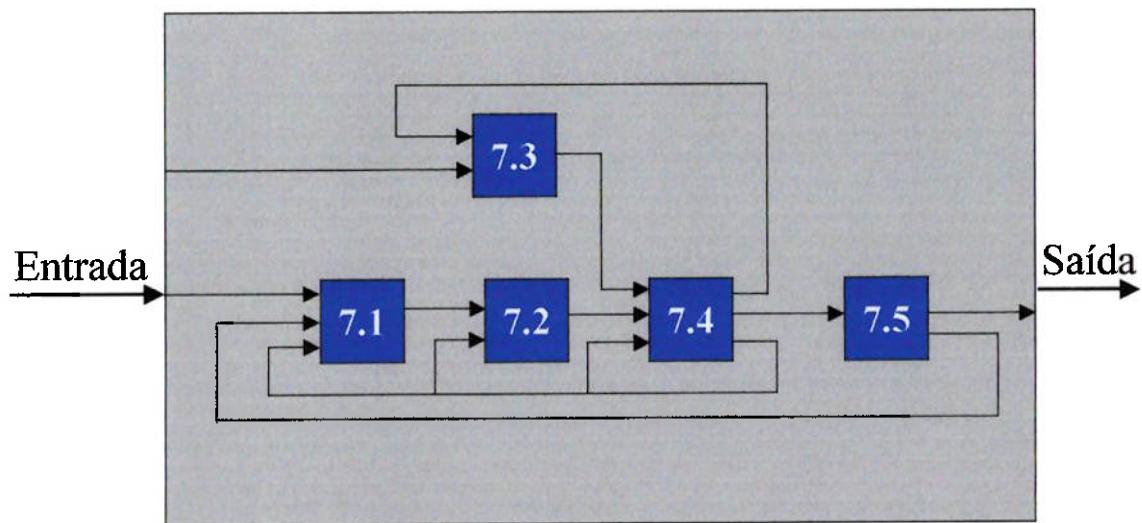
**PFQ 6.5** – Normalização. Normalizar o fojado de acordo com o ciclo descrito no roteiro.

**PFQ 6.6** – Descarga. Descarregar o forjado normalizado do forno

**PFQ 6.6** – Transporte. Transporta o forjado normalizado medição de dureza e estoque.

O processador 6.1, informa ao 6.3 sobre a disponibilidade do forjado para início da operação. O 6.3 informa ao 6.4 que o forjado está sendo transportado para o forno de normalização. O 6.4 relata ao 6.5 que o forjado está sendo alimentado no forno. O 6.5 verifica com o 6.2 se o set-up já foi realizado. Este informa se tudo já está preparado para início da operação. Ainda, o dá feed-back ao 6.1, 6.3 e 6.4 avisando que o forno já está preparado. Também o 6.5 informa ao 6.6 que o forjado já está normalizado e o 6.6, por sua vez, dá retomo ao 6.5 e informa ao 6.7 que o forjado normalizado já está descarregado do forno. O 6.7 informa ao 6.1, dá feed-back ao 6.5 e informa ao processador de esmerilhamento ( PFQ-7 ) que o forjado normalizado foi transferido para o estoque.

#### 8.2.1.7 Processador PFQ7 – Esmerilhamento



**Figura 48 - Sistemógrafo PFQ-7 – Sistemógrafo de esmerilhamento**

**PFQ 7.1** – Transporte. Transporte do forjado normalizado do estoque para o esmeril.

**PFQ 7.2** – Tempo de fila. Aguardar o comando do esmeril.

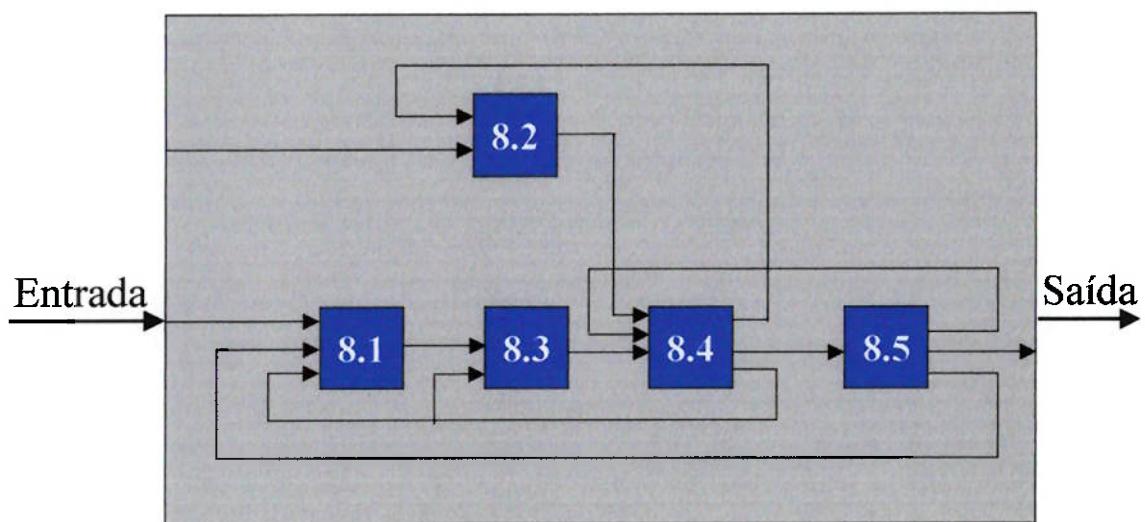
**PFQ 7.3 – Tempo de preparação.** Preparar o esmeril.

**PFQ 7.4 – Esmerilhamento.** Esmerilhar e acabar o produto final.

**PFQ 7.5 – Transporte.** Transporta o forjado esmerilhado para a decapagem.

O processador 7.1, informa ao 7.2 que o forjado já foi transportado à estação de esmerilhamento. O 7.2 informa ao 7.4 que o forjado esta aguardando o início da operação. O 7.4 confirma com o 7.3 se a operação já está preparada. O 7.3 recebe informação da programação da produção para preparar máquina e ferramental, também confirma ao 7.4 que essa preparação está liberada e o 7.4 repassa usa informação ao 7.1 e 7.2. O 7.4 informa ao 7.5 que o forjado normalizado já está esmerilhado. O 7.5 informa ao 7.1 que o forjado esmerilhado foi transportado na operação de decapagem. Também envia essa informação ao processador de decapagem ( PFQ-8 ).

#### 8.2.1.8 Processador PFQ8 – Decapagem mecânica



**Figura 49 - Sistemógrafo PFQ-8 – Sistêmagrafo de decapagem mecânica**

**PFQ 8.1** – Tempo de fila. Auardar o comando da decapagem mecânica.

**PFQ 8.2** – Tempo de preparação. Prepara o decapadora mecânica.

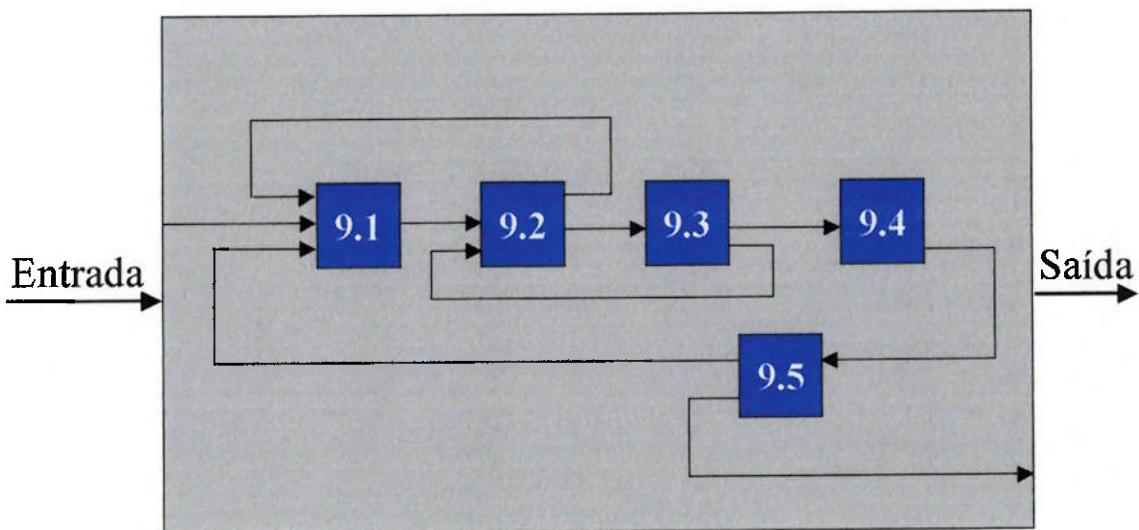
**PFQ 8.3** – Transporte. Transporta do forjado para a máquina decapadora.

**PFQ 8.4** – Decapagem Mecânica. Decapar mecânicamente o forjado ( acabamento do forjado ).

**PFQ 8.5** – Transporte. Transporta o forjado acabado para a expedição.

O processador 8.1, informa ao 8.3 que o forjado está disponível para a decapagem mecânica. O 8.3 informa ao 8.4 que o forjado já está em frente da estação de decapagem. Já o 8.4 solicita ao 8.2 a confirmação da preparação da máquina de decapagem mecânica. O 8.2 confirma a preparação. Ainda o 8.4 dá feed-back ao 8.1 e 8.3 que o forjado já está decapado mecanicamente. Também envia essa informação ao 8.5, que por sua vez, retoma ao 8.1 e 8.4 a informação sobre o forjado acabado que já foi transportado para o estoque. Também envia essa informação ao processador de expedição do forjado ( PFQ-9).

### 8.2.1.9 Processador PFQ9 – Expedição do Forjado



**Figura 50 - Sistemógrafo PFQ-9 – Sistemógrafo de expedição do forjado**

**PFQ 9.1 – Estoque e Inspeção.** Iinspecionar e estocar o produto forjado.

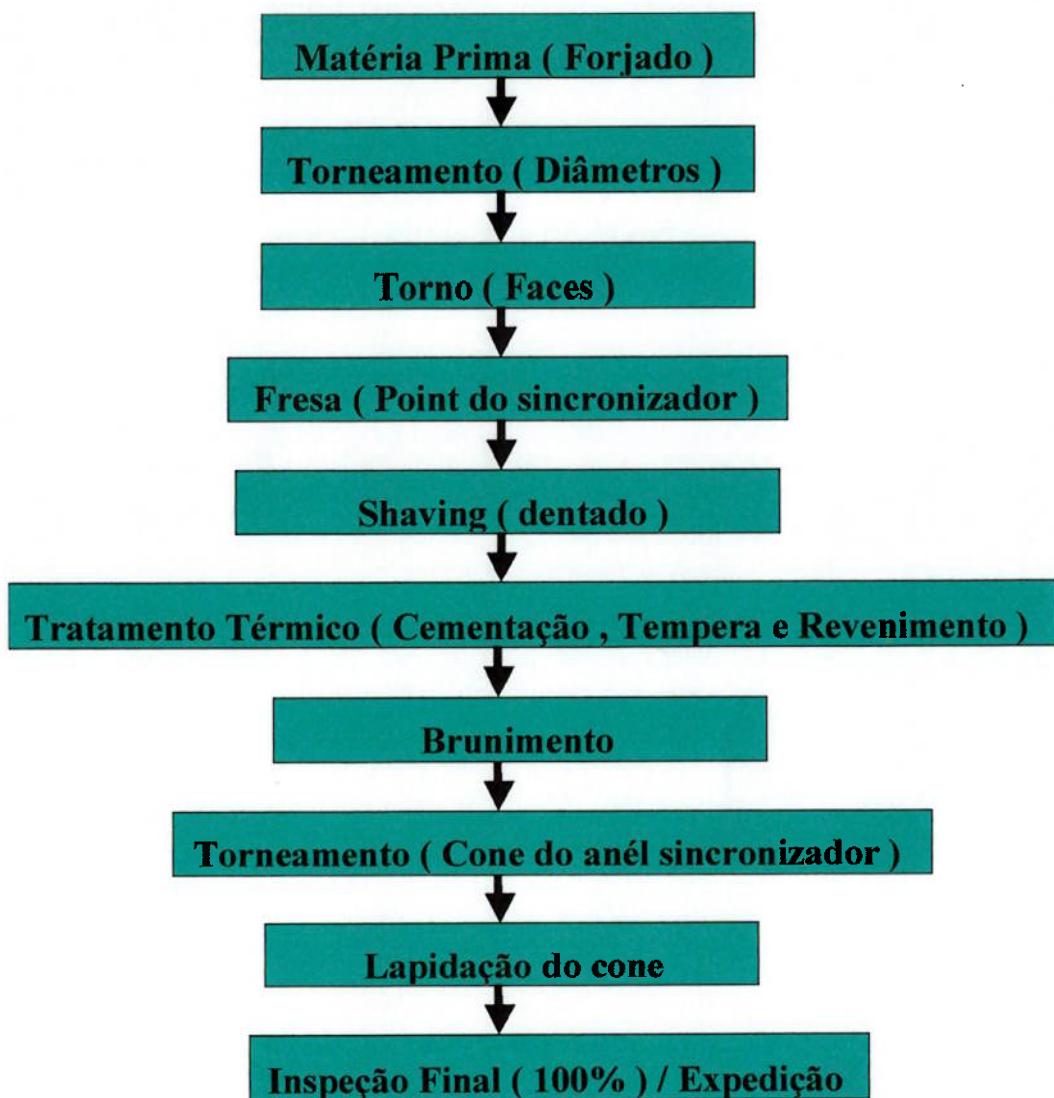
**PFQ 9.2 – Contagem.** Quantificar o lote de forjado.

**PFQ 9.3 – Emissão de etiqueta.** Emitir etiqueta de transferencia.

**PFQ 9.4 – Oleamento.** Olear o forjado para proteção.

**PFQ 9.5 – Expedição.** Identificar o forjado com número, código de rastreamento, corrida do aço, peso, características e quantidade. Expedir o produto para o cliente – Usinagem.

O processador 9.1, informa ao 9.2 que o forjado está disponível no estoque. O 9.2 dá feed-back ao 9.1 e informa ao 9.3 sobre a quantidade de forjado estocada. Já o 9.3 informa ao 9.4 que as etiquetas da transferencia e do faturamento já foram emitidas. Essa mesma informação também é enviada ao 9.2 como feed-back. O 9.4 informa ao 9.5 que o forjado está oleado. O 9.5 retoma a informação ao 9.1 de que o forjado está expedido e ainda, informa ao cliente que o forjado já está faturado.



**Figura 52 - Workflow do processo de Usinagem**

#### 8.4 Sistemógrafos do processo de usinagem

Num estudo mais aprofundado, uma ferramenta mais apropriada seria a sistemografia, que nos mesmos moldes que foi desdobrado o processo da forjaria, será desdobrado o processo de usinagem e tratamento térmico. Para este estudo, o processo total será dividido em três etapas: Processo a verde (antes do tratamento térmico); Processo de tratamento térmico; Processo final de

Ao fim do processo de forjamento temos a peça estocada em pallets que serão utilizados para transportar as peças para o processo de usinagem que será visto no próximo ítem.



**Figura 51 – Peças forjadas estocadas em pallets**

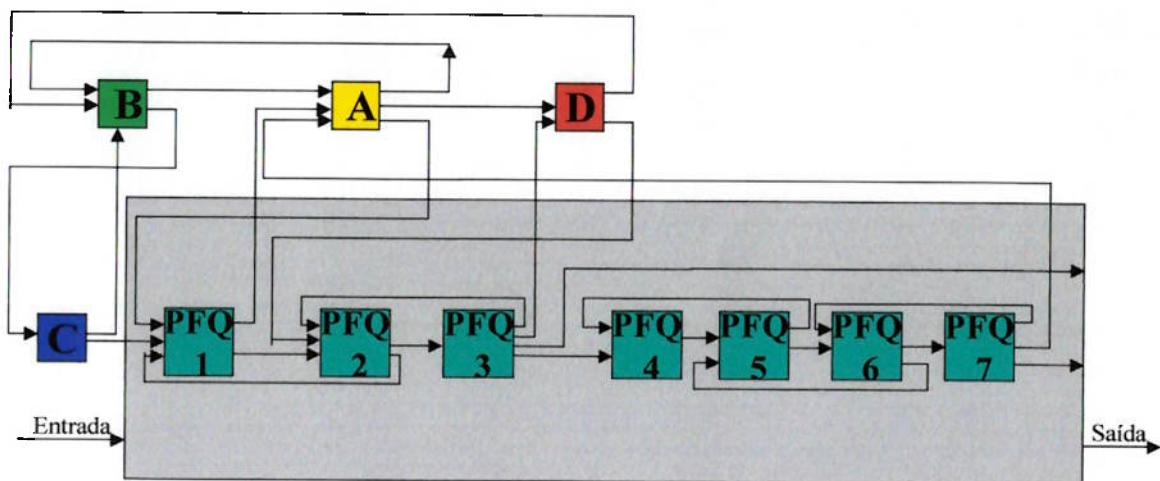
### 8.3 Processo de Usinagem e Tratamento Térmico

Num estudo inicial do processo de usinagem podemos representar graficamente as principais ações sobre as peças trabalhadas através de um workflow:

usinagem ( após o tratamento térmico ) e serão descritos os seus sistemógrafos.

Na figura 53 temos o sistemógrafo da 1º parte – Processo a verde e sua descrição:

#### 8.4.1 Sistemógrafo do processo à verde



**Figura 53 – Sistemógrafo “Processo a Verde” do processo de usinagem de uma engrenagem ( em cinza )**

Onde A representa a **Engenharia de Manufatura e Produto**, B a **Engenharia da Forjaria**, C o **processo de Forjamento**, D a **Ferramentaria**.

**PFQ-1** Recebimento da matéria prima ( Forjado ). Processador que recebe da forjaria ( em pallets ) e alimenta o estoque no início do processo identificando o lote.

**PFQ-2** Torno 1. Processador que alimenta o torno à partir do estoque e torneia o diâmetro interno e externo do forjado.

**PFQ-3 Metrologia** 1. Processador que mede a peça torneada e sua excentricidade e separa as peças fora da especificação para serem eliminadas. As peças dentro da especificação são transportadas para o torno 2.

**PFQ-4 Torno** 2. Processador que alimenta o torno e torneia a superfície laterais do forjado ( a área torneada servirá como ponto de referência para as próximas etapas ) e descarrega em uma esteira seguindo para o próximo processo.

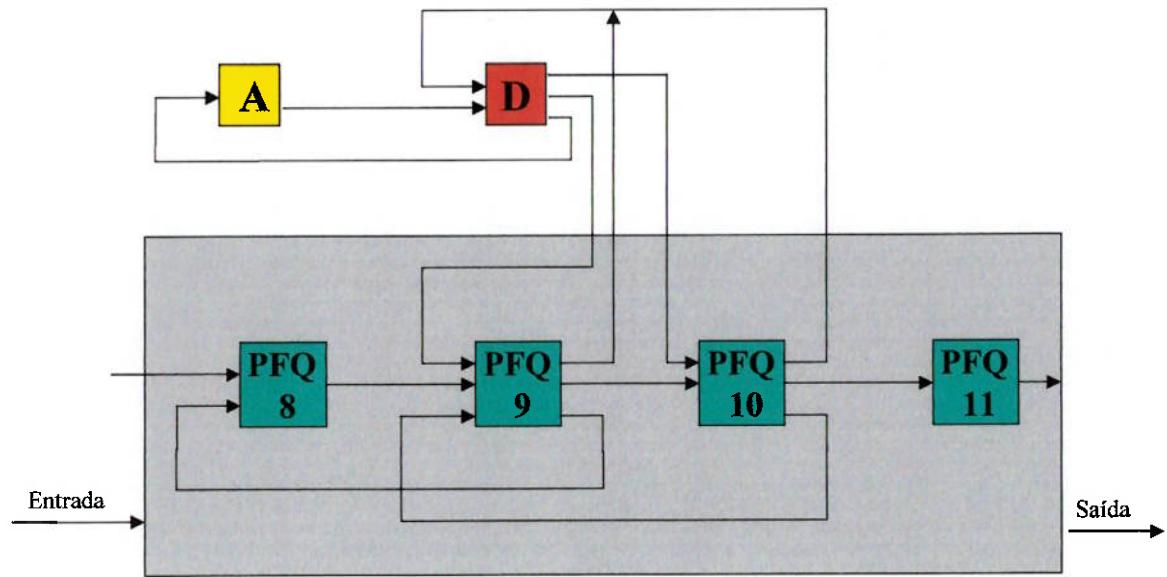
**PFQ-5 Corte.** Processador que alimenta a máquina e corta os rebaixos para encaixe do anel sincronizador intermediário) e descarrega em uma esteira seguindo para o próximo processo.

**PFQ-6 Fresa.** Processador que alimenta a Fresa e corta o dentado responsável pela indexação ( Point do "Dog Body" ) e descarrega em uma esteira seguindo para o próximo processo.

**PFQ-7 Shaver.** Processador que alimenta e corta o dentado da engrenagem. Alimenta os pallets que irão ser levados para o processo de tratamento térmico.

A seguir temos o estudo da segunda parte do estudo : o processo de tratamento térmico.

#### 8.4.2 Sistemógrafo do processo de tratamento térmico



**Figura 54 – Sistemógrafo Tratamento Térmico do processo de usinagem de uma engrenagem ( em cinza )**

Onde A representa a Engenharia de Manufatura e Produto, D a Ferramentaria.

**PFQ-8** Lavagem 1. Processador responsável por receber os pallets com as engrenagens da parte do processo à verde, lavá-las, preparar o forno de cementação, aguardar o estabelecimento da temperatura e alimentar as engrenagens no forno de cementação.

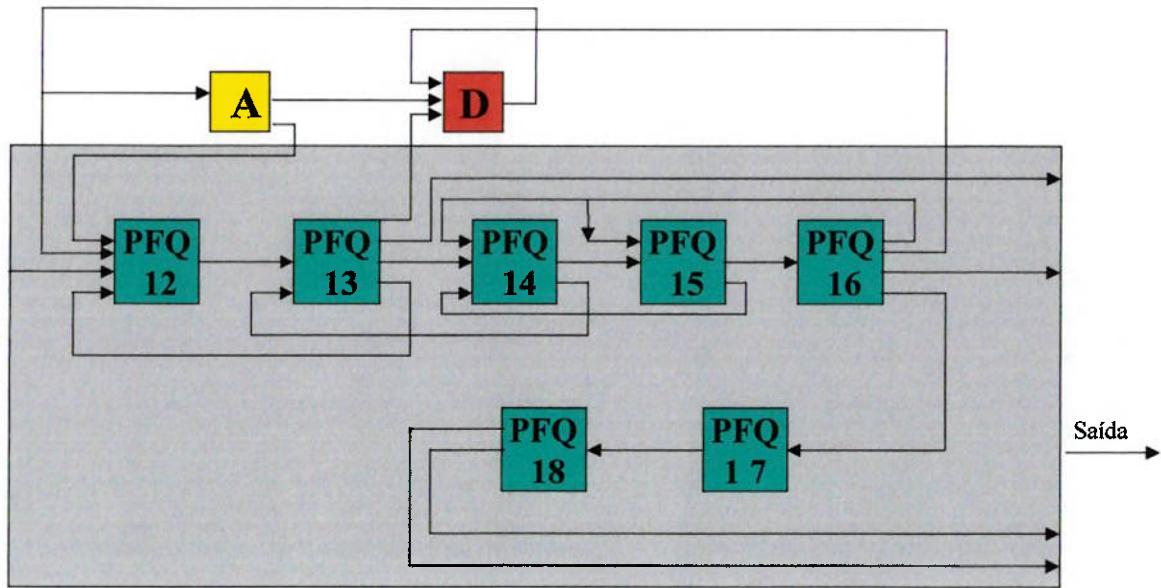
**PFQ-9** Forno de cementação e tempera. Processador responsável pela cementação em forno a 920°C durante 30 minutos e preparar o próximo forno. Após esse tempo os pallets com as engrenagens são mergulhadas em óleo (tempera) e despejados em uma esteira para o próximo forno.

**PFQ-10 Forno de Revenimento.** Processador responsável pelo processo de revenimento das engrenagens em forno a 600°C durante 3 a 4 horas. Após esse tempo os pallets são despejados em uma esteira.

**PFQ-11 Descanço e alimentação.** Processador responsável pelo tempo de descanso e alimentação dos pallets de transporte para a próxima etapa de usinagem.

A seguir temos a terceira a última etapa do estudo: o Processo de Usinagem final.

### 8.4.3 Sistemógrafo do processo final de usinagem



**Figura 55 – Sistemógrafo Usinagem Final ( em cinza )**

Onde **A** representa a **Engenharia de Manufatura e Produto**, **D** a **Ferramentaria**.

**PFQ-12** Brunidora. Processador responsável pelo recebimento dos pallets com as engrenagens do processo de tratamento térmico, alimentação da máquina e brunimento do diâmetro interno da engrenagem.

**PFQ-13** Metrologia. Processador responsável pela medição do perfil final do dentado após o tratamento térmico. Peças fora da especificação serão removidas.

**PFQ-14** Torno 3. Processador responsável pelo torneamento da superfície do cone de sincronização e pós despejo em esteira para transporte.

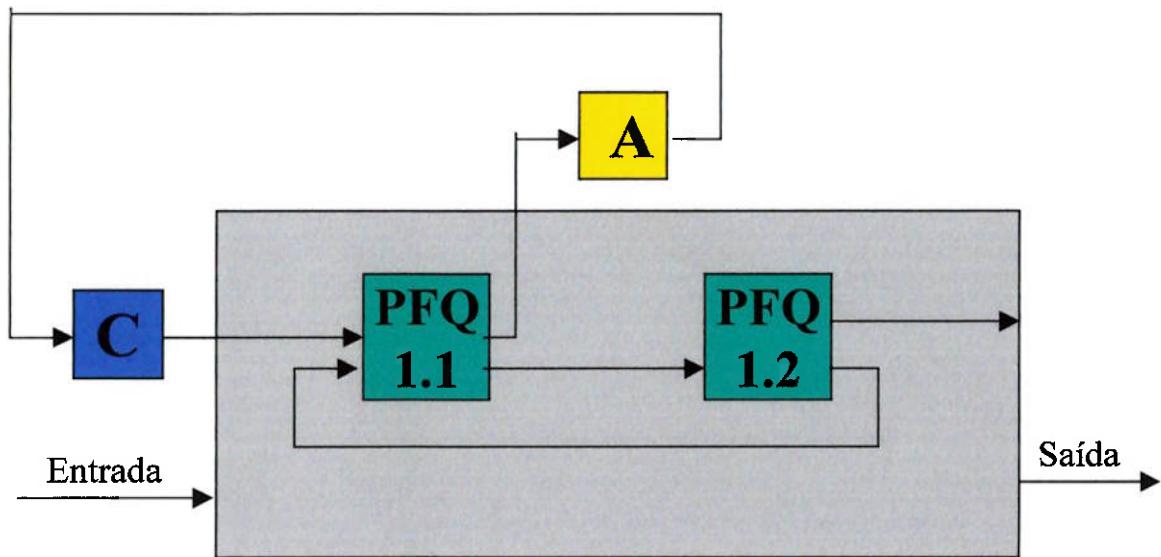
**PFQ-15** Lapiamento. Processador que alimenta a máquina e lapiça o cone de sincronização;

**PFQ-16** Metrologia. Processador responsável pela medição do diâmetro interno, do cone e altura total da peça.

**PFQ-17** Teste de engrenamento. Processador responsável pelo teste de 100% das engrenagens em engrenômetros. Após o teste as peças dentro do especificado seguem para a expedição.

Para um estudo ainda mais aprofundado, é necessário que cada processador tenha seu próprio sistemógrafo interno de funcionamento. Assim, abaixo será desdobrado e descrito cada sistemógrafo de cada processador.

#### 8.4.4.1 Processador PFQ 1 - Recebimento



**Figura 56 – Sistemógrafo Processador PFQ-1 Recebimento Matéria Prima**

**PFQ 1.1** Recebimento e descarga.

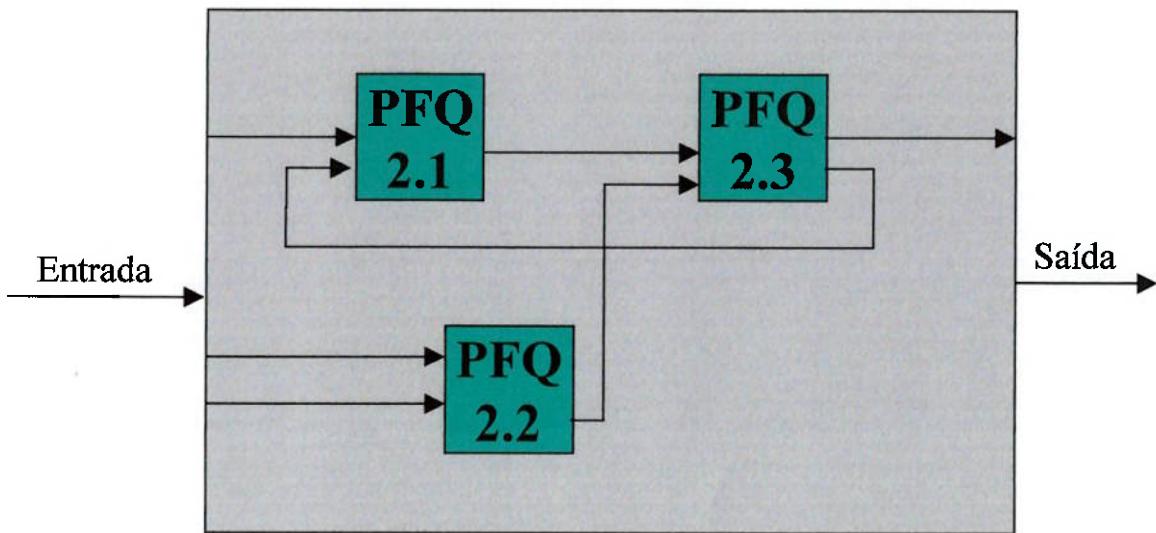
**PFQ 1.2** Estoca as peças no alimentador do primeiro processo.

O PFQ C, ou processador C ( Forjaria ), envia o lote de peças a serem trabalhadas conforme pedido da engenharia. As peças são então recebidas pelo 1.1 que informa a engenharia sobre o status do estoque e envia para o 1.2 que irá estocar as peças no alimentador do primeiro processo. O 1.2 informa o 1.1 sobre o status do estoque do alimentador e o PFQ-2 ( torno 1) que existem peças a serem trabalhadas.



**Figura 57 – Peças colocadas no alimentador do Torno 1**

#### 8.4.4.2 Processador PFQ 2 – Torno 1



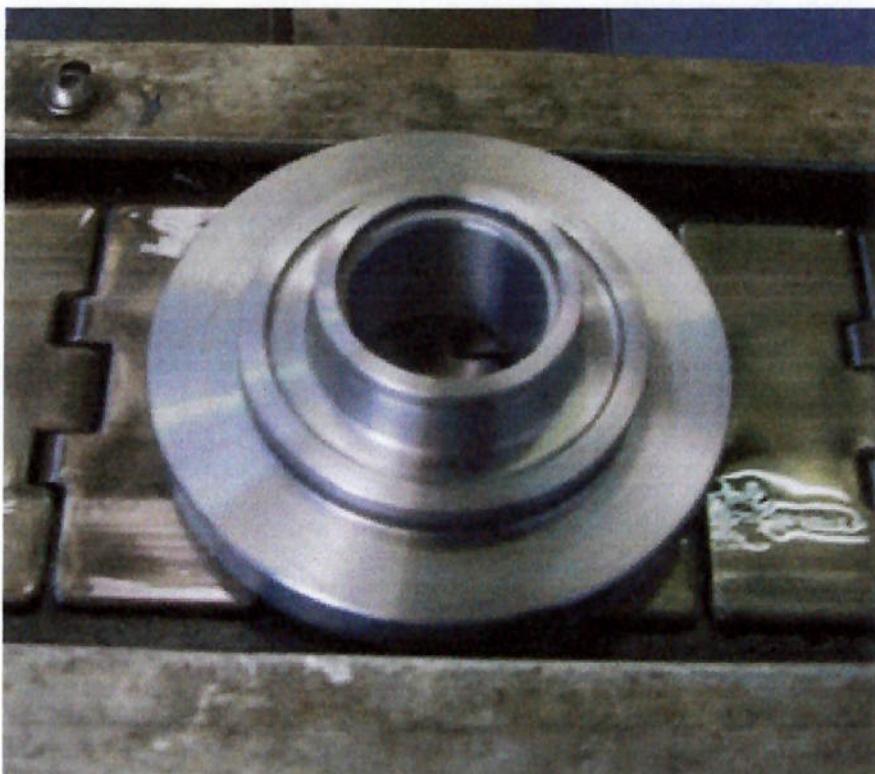
**Figura 58 – Sistemógrafo Processador PFQ-2 Torno 1**

**PFQ 2.1 Transporte** . Transporte da matéria prima para a operação de torneamento.

**PFQ 2.2 Preparação** – Prepara o torno para o processo de torneamento

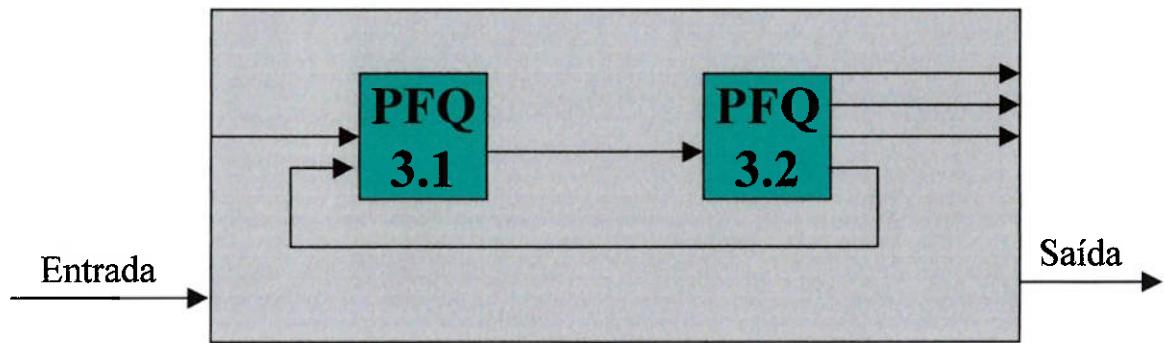
**PFQ 2.3 Torneamento**

O processador PFQ-1 informa o 2.1 e ao 2.2 sobre o estoque de forjados. A engenharia informa o 2.2 sobre os dados de torneamento e o PFQ 3 informa sobre o resultado das peças anteriores. O 2.1 informa ao 2.3 sobre o transporte do forjado para o torno e o 2.2 informa o 2.3 que o torno está preparado. O 2.3 torneia as peças e informa o 2.1 que necessita de mais peças e envia as peças para o próximo processador.



**Figura 59 – Forjado após processo de torneamento**

#### 8.4.4.3 Processador PFQ 3 - Metrologia



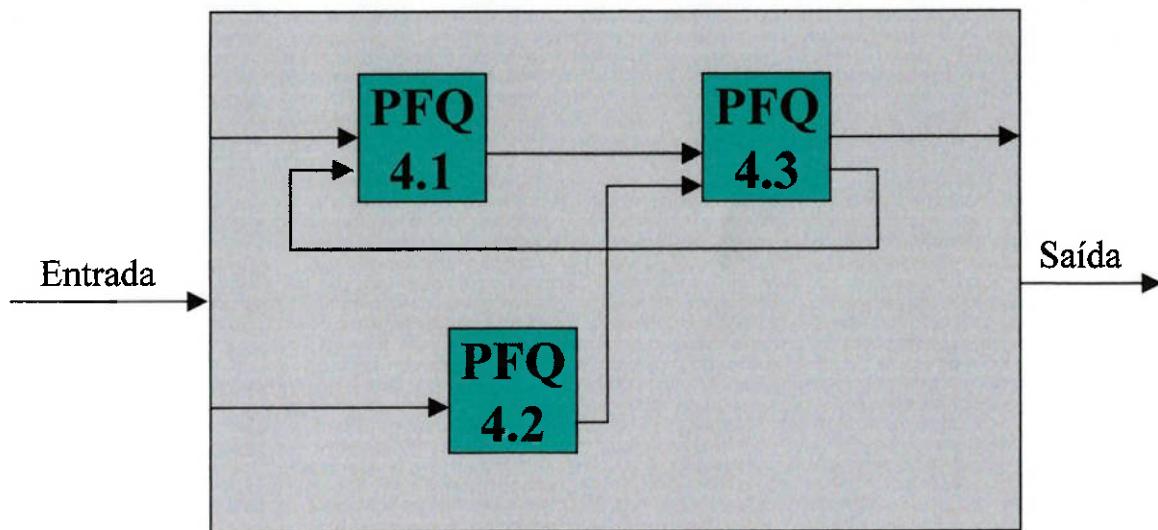
**Figura 60 – Sistemógrafo Processador PFQ-3 Metrologia**

**PFQ 3.1** Transporte. Transporta e posiciona a peça para medição

**PFQ 3.2** Medição. Mede a excentricidade da peça torneada.

O processador PFQ 2 informa o 3.1 sobre a existência de peças produzidas a serem medidas. Este informa 3.2 para que este execute a medição. Conforme o resultado o 3.2 envia as peças para o próximo processo ou envia para retrabalho. O 3.2 informa ainda a Ferramentaria sobre possíveis problemas e o PFQ 2 para acertar os valores de usinagem.

#### 8.4.4.3 Processador PFQ 4 – Torno 2



**Figura 61 – Sistemógrafo Processador PFQ-4 Torno 2**

**PFQ 4.1 Transporte** . Transporte da matéria prima para a operação de torneamento.

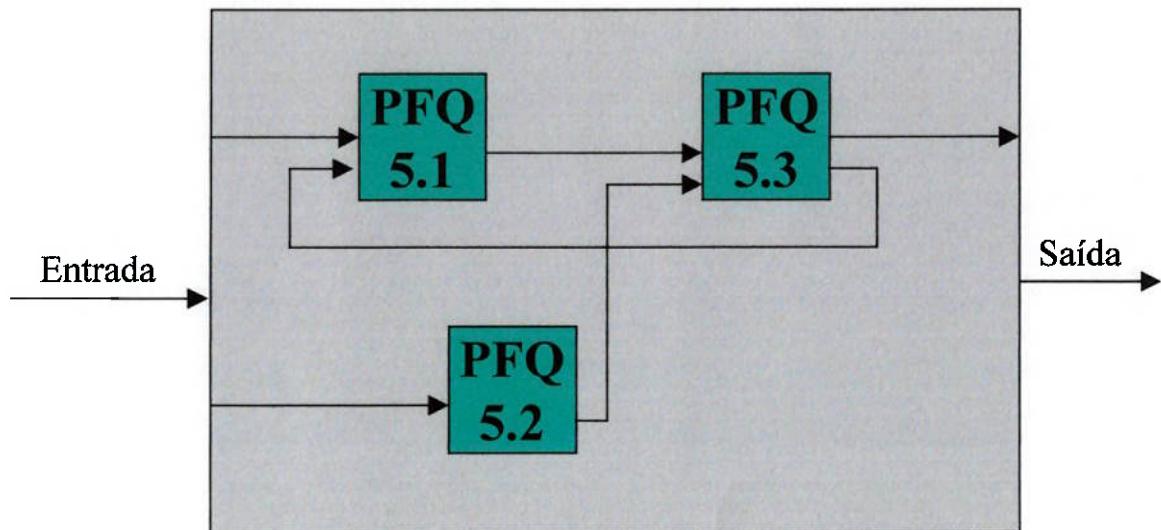
**PFQ 4.2 Preparação** – Prepara o torno para o processo de torneamento

**PFQ 4.3 Torneamento**

O processador PFQ-3 informa o 4.1 e o 4.2 sobre a existência de peças a serem trabalhadas. O 4.1 informa ao 4.3 sobre o transporte da peça para o torno e o 4.2 informa o 4.3 que o torno está preparado. O 4.3 torneia as peças

e informa o 4.1 que necessita de mais peças e envia as peças para o próximo processador.

#### 8.4.4.5 Processador PFQ 5 - Corte



**Figura 62 – Sistemógrafo Processador PFQ-5 Corte**

**PFQ 5.1 Transporte** . Transporte da matéria prima para a operação de corte.

**PFQ 5.2 Preparação**. Prepara a máquina para o processo de corte

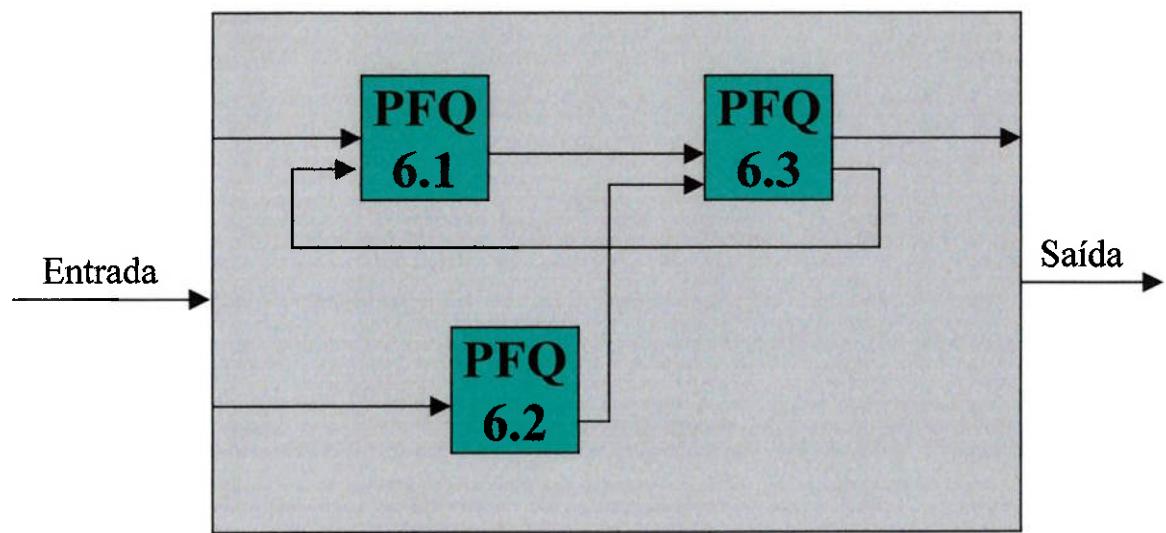
**PFQ 5.3 Corte dos rebaixos**

O processador PFQ-4 informa o 5.1 e o 5.2 sobre a existência de peças a serem trabalhadas. O 5.1 informa ao 5.3 sobre o transporte da peça para a máquina de corte e o 5.2 informa o 4.3 que a máquina está preparada. O 5.3 corta os chanfros da peça e informa o 5.1 que necessita de mais peças e envia as peças para o próximo processador.



**Figura 63 - Peça após processo de corte dos chanfros do sistema de sincronização**

#### 8.4.4.6 Processador PFQ 6 - Fresa



**Figura 64 – Sistemógrafo Processador PFQ-6 Fresa**

**PFQ 6.1** Transporte. Transporte da matéria prima para a operação de corte.

**PFQ 6.2** Preparação. Prepara a fresa para o processo de corte

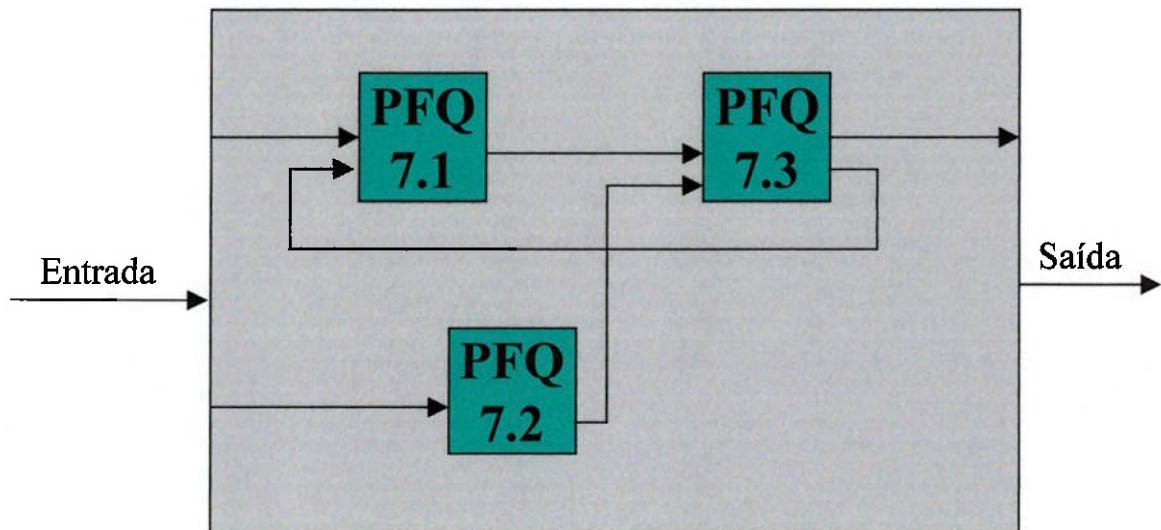
**PFQ 6.3** Fresa do dentado de indexação.

O procesador PFQ-5 informa o 6.1 e o 6.2 sobre a existência de peças a serem trabalhadas. O 6.1 informa ao 6.3 sobre o transporte da peça para a fresadora e o 6.2 informa o 6.3 que a fresa está preparada. O 6.3 fresa o dentado de indexação da peça e informa o 6.1 que necessita de mais peças e envia as peças para o próximo processador.



**Figura 65 - Peça após processo de fresa do “Dog Boby”**

#### 8.4.4.7 Processador PFQ 7 - Shaver



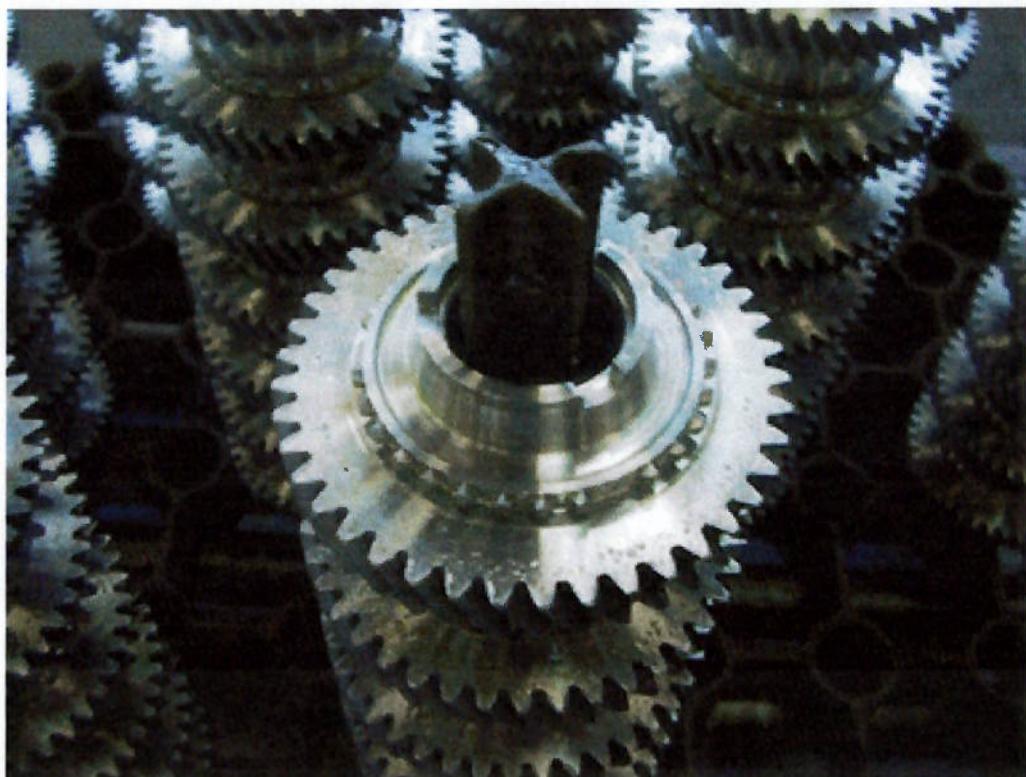
**Figura 66 – Sistemógrafo Processador PFQ-7 Shaver**

**PFQ 7.1** Transporte. Transporte da matéria prima para a operação de corte.

**PFQ 7.2** Preparação. Prepara o “Shaving” para o processo de corte

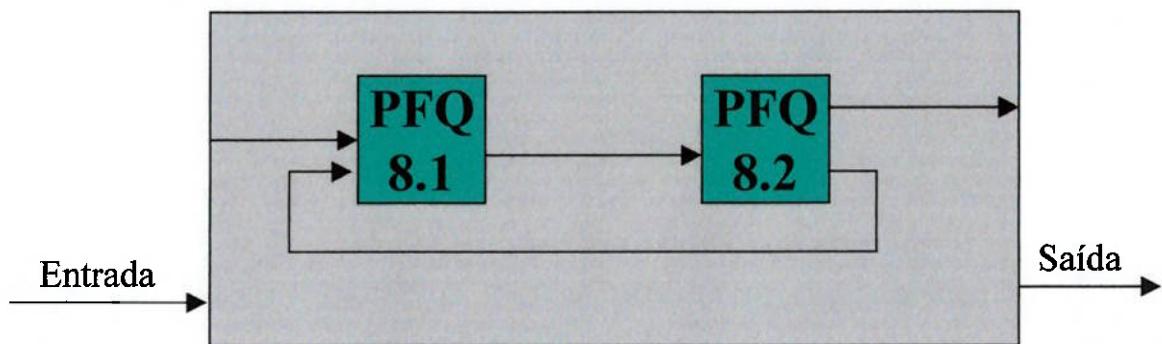
**PFQ 7.3** Corte do dentado da engrenagem.

O processador PFQ-6 informa o 7.1 e o 7.2 sobre a existência de peças a serem trabalhadas. O 7.1 informa ao 7.3 sobre o transporte da peça para o “shaver” e o 7.2 informa o 7.3 que o “shaver” está preparado. O 7.3 corta o dentado da engrenagem e informa o 7.1 que necessita de mais peças, notifica a engenharia sobre a produção e as peças são estocadas em pallets.



**Figura 67 – Peças após processo de corte do dentado no shaver**

#### 8.4.4.8 Processador PFQ 8 - Lavagem



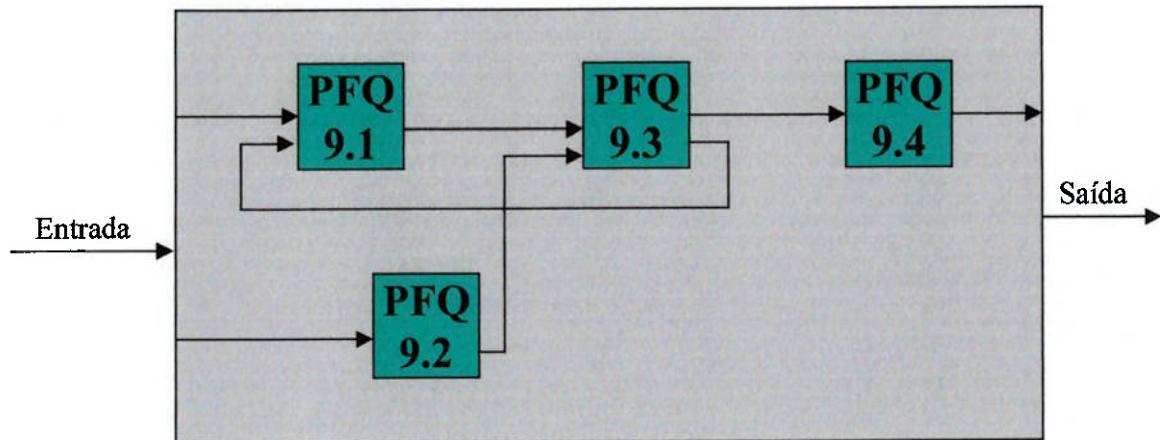
**Figura 68 – Sistemógrafo Processador PFQ-8 Lavagem 1**

**PFQ 8.1** Transporte. Recebe os pallets com as engrenagens e alimenta a esteira

**PFQ 8.2** Lavagem.

O processador PFQ 7 informa o 8.1 sobre a existência de pallets completos de peças produzidas a serem lavadas. Este informa 8.2 para que este execute a lavagem. O 8.2 dá início informará o proximo processador para que este comece o controle do forno e liberará as peças para próximo processo.

#### 8.4.4.9 Processador PFQ 9 – Forno 1



**Figura 69 – Sistemógrafo Processador PFQ-9 Forno 1**

**PFQ 9.1 Transporte.** Transporte dos pallets completos para o forno.

**PFQ 9.2 Preparação e controle.** Prepara o forno ( temperatura ) para o processo de cementação e controla o tempo de cementação.

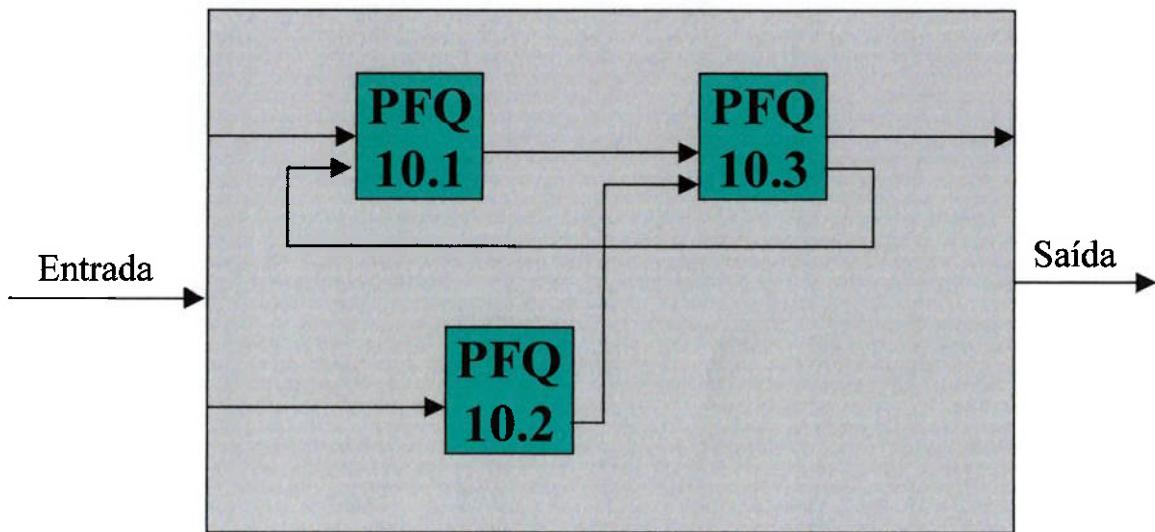
**PFQ 9.3 Cementação.**

**PFQ 9.4 Tempera.** Mergulho em óleo

O processador PFQ-8 informa o 9.1 e o 9.2 sobre a existência de pallets de engrenagens a serem cementados. O 9.1 informa ao 9.3 sobre o transporte dos pallets para o forno e o 9.2 informa o 9.3 que o forno está preparado. O 9.3 recebe os pallets e somente liberará as peças após o tempo decorrido controlado por 9.2. Quando o 9.2 libera a saída das peças, esta seguem para o 9.4. O 9.4 é informado pelo 9.3 sobre os pallets e então estes são mergulhados em óleo para a tempera. Em seguida as peças seguem para o próximo forno e

o PQF 8 é informado sobre a liberação do forno. Durante o processo a Ferramentaria acompanha o funcionamento do forno (9.3).

#### 8.4.4.10 Processador PFQ 10 – Forno 2



**Figura 70 – Sistemógrafo Processador PFQ-10 Forno 2**

**PFQ 10.1 Transporte.** Transporte dos pallets completos para o forno 2.

**PFQ 10.2 Preparação e controle.** Prepara o forno ( temperatura – 600°C) para o processo de Revenimento e controla o tempo de revenimento ( 3 a 4 horas ).

**PFQ 10.3 Forno.** Revenimento

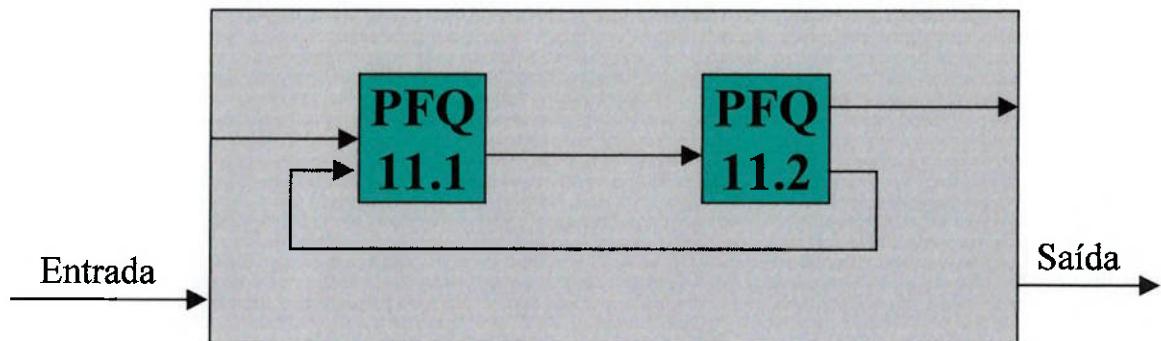
O procesador PFQ-9 informa o 10.1 e o 10.2 sobre a existência de pallets de engrenagens a serem revenidos. O 10.1 informa ao 10.3 sobre o transporte dos pallets para o forno e o 10.2 informa o 10.3 que o forno está preparado. O 10.3 recebe os pallets e somente liberará as peças após o tempo decorrido controlado por 10.2. Quando o 10.2 libera a saída das peças, esta

seguem para o próximo processo e o PQF 9 é informado sobre a liberação do forno 2.



**Figura 71 – Pallets com engrenagens após saída do forno de tratamento térmico**

#### 8.4.4.11 Processador PFQ 11 - Lavagem



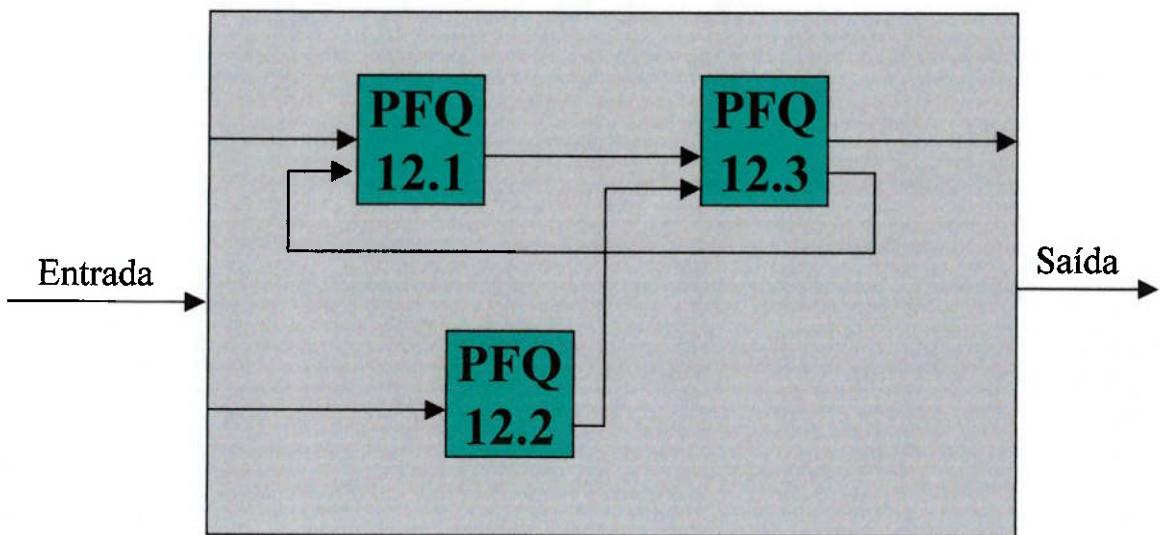
**Figura 72 – Sistemógrafo Processador PFQ-11 Lavagem II**

**PFQ 11.1** Transporte. Recebe os pallets com as engrenagens.

**PFQ 11.2** Descanso. Os pallets ficam em uma área de descanso esfriando e são depois transportados.

O processador PFQ 10 informa o 11.1 sobre a existência de pallets completos de peças saídas do forno 2. Este informa 11.2 para que este execute separe os pallets para a área de descanso e resfriamento. O 11.2 dá informará o próximo processador que existem peças a serem trabalhadas.

#### 8.4.4.12 Processador PFQ 12 - Brunimento



**Figura 73 – Sistemógrafo Processador PFQ-12 Brunidora**

**PFQ 12.1** Transporte. Transporte da matéria prima para a operação de brunimento.

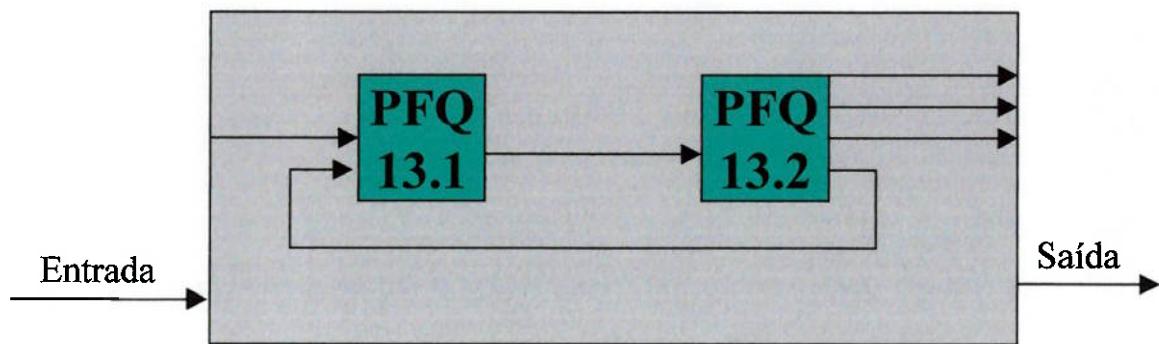
**PFQ 12.2** Preparação. Prepara a brunidora para o processo de brunimento do diâmetro interno da engrenagem.

**PFQ 12.3** Brunimento do diâmetro interno da engrenagem.

O processador 12 é o primeiro processador após o processo de tratamento térmico havendo assim peças em grande quantidade em pallets esperando serem processadas. Assim a Engenharia de Manufatura e Produto devem passar os dados referentes a essas peças. O processador PFQ-11 informa o 12.1 e o 12.2 sobre a existência de peças a serem trabalhadas saídas do processo de tratamento térmico. O 12.1 informa ao 12.3 sobre o transporte da peça para a brunidora e o 12.2 informa o 12.3 que a brunidora está preparada. O 12.3 faz o brunimento do diâmetro interno da engrenagem e

informa o 12.1 que necessita de mais peças e libera a peça para o próximo processo.

#### 8.4.4.13 Processador PFQ 13 - Metrologia



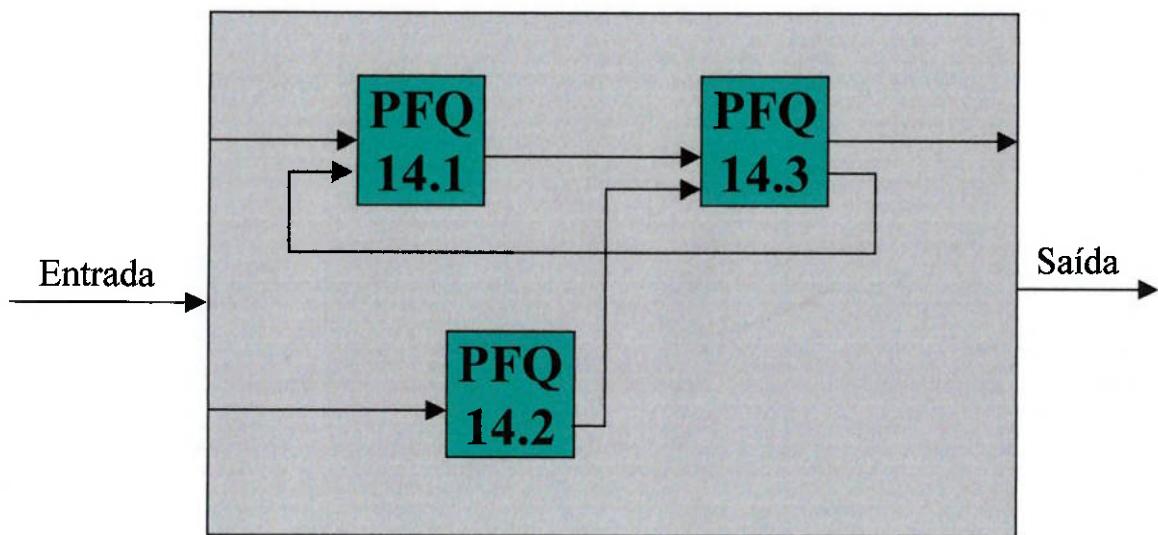
**Figura 74 – Sistemógrafo Processador PFQ-13 Metrologia**

**PFQ 13.1 Transporte.** Transporta e posiciona a peça para medição

**PFQ 13.2 Medição.** Mede a excentricidade da peça torneada.

O processador PFQ 12 informa o 13.1 sobre a existência de peças brunidas a serem medidas. Este informa 13.2 para que este execute a medição da excentricidade do diâmetro interno e o diâmetro do dentado. Conforme o resultado o 13.2 envia as peças para o próximo processo ou a peça é descartada. O 3.2 informa ainda a Ferramentaria sobre possíveis problemas e o PFQ 12 para acertar os valores de usinagem.

#### 8.4.4.14 Processador PFQ 14 – Torno 3



**Figura 75 – Sistemógrafo Processador PFQ-14 Torno 3**

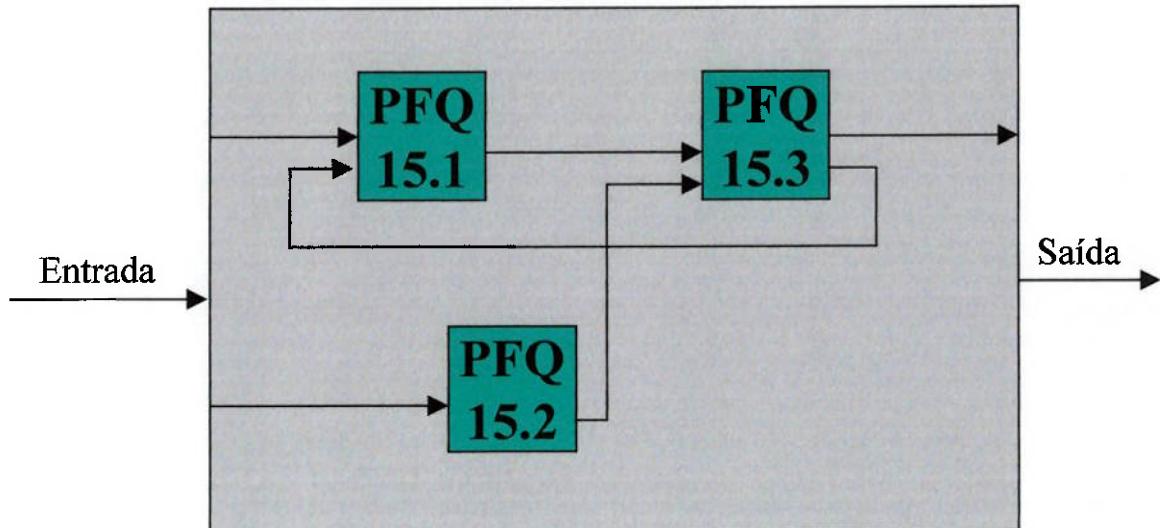
**PFQ 14.1 Transporte** . Transporte da matéria prima para a operação de torneamento.

**PFQ 14.2 Preparação** – Prepara o torno para o processo de torneamento

**PFQ 14.3 Torneamento** do cone de sincronização da engrenagem.

O processador PFQ-13 informa o 14.1 e o 14.2 sobre a existência de peças a serem trabalhadas. O 14.1 informa ao 14.3 sobre o transporte da peça para o torno e o 14.2 informa o 14.3 que o torno está preparado. O 14.3 torneia os cones e informa o 14.1 que necessita de mais peças ao mesmo tempo que envia as peças trabalhadas para o próximo processador.

#### 8.4.4.15 Processador PFQ 15 - Lapiamento



**Figura 76 – Sistemógrafo Processador PFQ-15 Lapiamento**

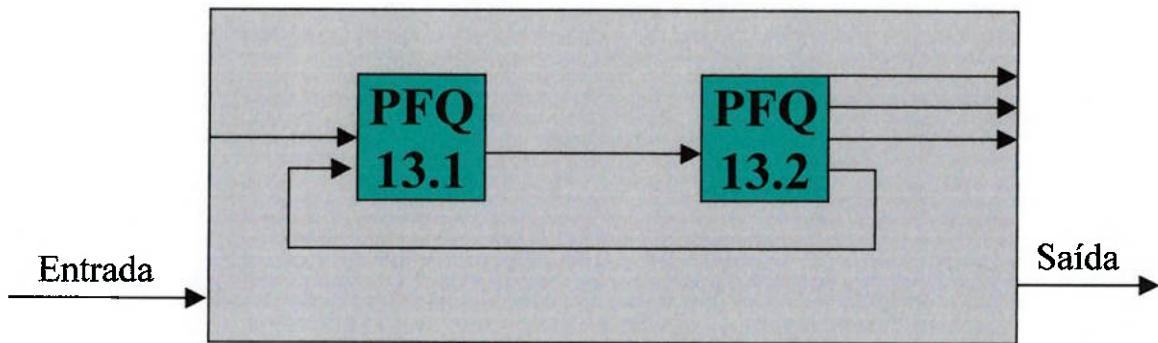
**PFQ 15.1 Transporte** . Transporte da matéria prima para a operação de lapiamento.

**PFQ 15.2 Preparação** – Prepara a lapidadora para o processo de lapiamento

**PFQ 15.3 Lapiamento do cone de sincronização da engrenagem.**

O processador PFQ-14 informa o 15.1 e o 15.2 sobre a existência de peças a serem trabalhadas. O 15.1 informa ao 15.3 sobre o transporte da peça para a lapidadora e o 15.2 informa o 15.3 que a lapidadora está preparada. O 15.3 lapiça os cones e informa o 15.1 que está pronto para receber mais peças ao mesmo tempo que envia as peças trabalhadas para o próximo processador.

#### 8.4.4.16 Processador PFQ 16 - Metrologia



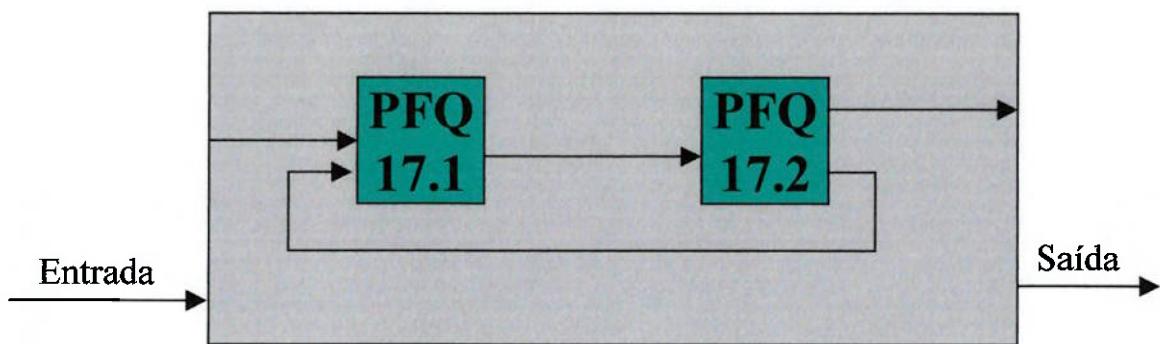
**Figura 77 – Sistemógrafo Processador PFQ-13 Metrologia**

**PFQ 16.1 Transporte.** Transporta e posiciona a peça para medição;

**PFQ 16.2 Medição.** Mede o diâmetro do cone e a altura total da engrenagem.

O processador PFQ 15 informa o 16.1 sobre a existência de peças lapidadas a serem medidas. Este informa 16.2 para que este execute a medição da do diâmetro do cone a da altura total da engrenagem. Conforme o resultado o 16.2 envia as peças para o próximo processo ou a peça é descartada. O 16.2 informa ainda a Ferramentaria sobre possíveis problemas e o PFQ 15 para acertar os valores da lapidação.

#### 8.4.4.17 Processador PFQ 17 - Lavagem



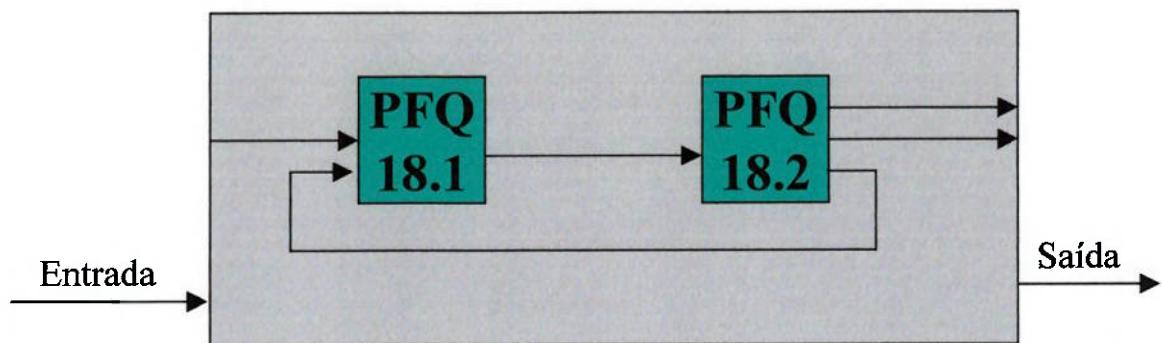
**Figura 78 – Sistemógrafo Processador PFQ-17 Lavagem 3**

**PFQ 17.1 Transporte.** Recebe os pallets com as engrenagens e alimenta a esteira

**PFQ 17.2 Lavagem.**

O processador PFQ 16 informa o 17.1 sobre a existência de pallets completos de peças produzidas a serem lavadas. Este informa 17.2 para que este execute a lavagem e liberará as peças para o próximo processo.

#### 8.4.4.18 Processador PFQ 18 - Engrenometro

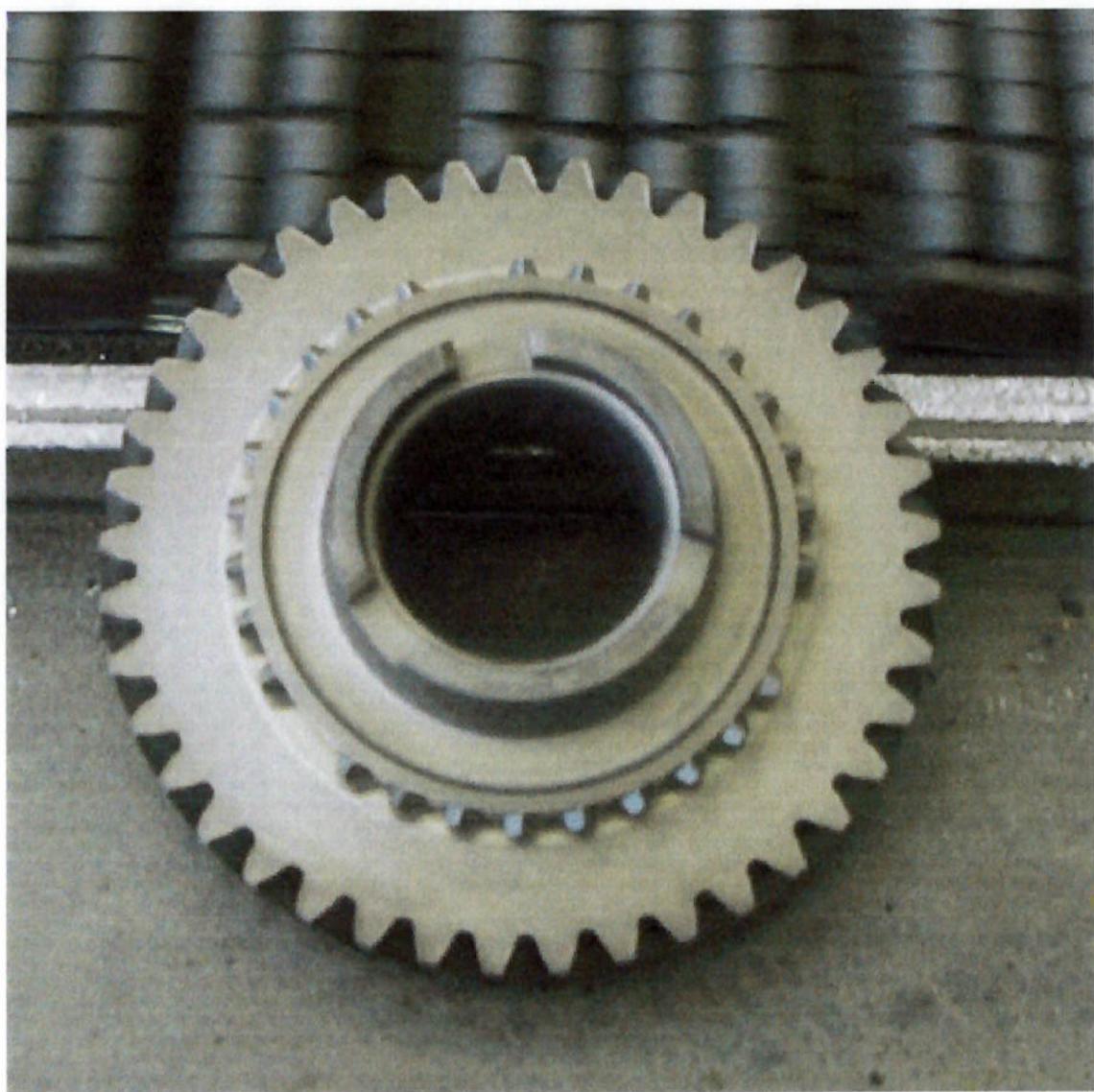


**Figura 79 – Sistemógrafo Processador PFQ-18 Engrenômetro**

**PFQ 18.1 Transporte.** Recebe os pallets com as engrenagens

**PFQ 18.2 Teste de Engrenamento**

O processador PFQ 17 informa o 18.1 sobre a existência de pallets completos de peças produzidas a serem testadas. O 18.1 informa o 18.2 para que este execute o teste de 100% das engrenagens no engrenômetro e as peças dentro das especificações serão enviadas para a expedição. As peças foras de especificação serão descartadas.



**Figura 80 – Engrenagem acabada**

## 9. Conclusões

Nesse trabalho foi analisado a parte referente ao planejamento estratégico industrial, através da modelagem dos processos envolvidos na produção que agora podem ser analisados e discutidos de forma a, em conjunto com os interesses dessa indústria, buscar objetivos de produtividade, eficiência e eficácia com a automação de processos afim do melhor aproveitamento dos meios de produção e consequente redução de custos. No entanto, uma segunda parte do planejamento estratégico continua pendente: os sistemas informacionais. Esses sistemas, a partir da modelagem dos processos, no caso foi utilizado a sistemografia, podem ser criados de maneira a prover toda e qualquer informação do processo produtivo, bem como os tempos de operação instantâneos como diagnosticar problemas ou deficiências no processo em tempo real. Um sistema de informação na produção, bem utilizado e conectado a um sistema de informação gerencial de uma empresa pode e irá aumentar sua flexibilidade em se adaptar à complexa competitividade do mercado.

O uso de um método de modelagem mais acurado e meticoloso como a sistemografia em relação ao sistema mais simples de caixas pretas do Workflow, permite que toda a linha de produção possa ser estudada em detalhes dando forma ao esqueleto básico de fluxo de trabalho a ser controlado.

O estudo da modelagem por sistemografia permitiu também um melhor entendimento do processo de fabricação de uma engrenagem e dos fatores associados.

Como próximo passo para o contínuo aprioramento do trabalho em desenvolvimento seria interessante o estudo das ferramentas de construção de softwares compatíveis com as necessidades para o controle total do sistema de produção com a finalidade do melhor aproveitamento dos meios de produção e consequente redução de custos.

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRESCIANI, E.F., D'OTTAVIANO, I.M.L.; Conceitos Básicos de Sistêmica, Campinas, Unicamp, 1999.
2. BRESCIANI, E.F.; Método de estudo de Sistemas – Sistemografia, Campinas, Unicamp e Puc-Campinas, Fevereiro 1999, pp. 1-17.
3. KINTSCHNER, F., BRESCIANI E.F.; Racionalização e informatização de área de administração de materiais, Campinas, UNICAMP, 1999.
4. KINTSCHNER, F.; Metodologia de Reestruturação de administração de materiais em Empresa Industrial, Campinas, 1998, pp. 6-31. Dissertação (Mestrado), Instituto de Informática, Pontifícia Universidade Católica de Campinas.
5. SALAZAR, C.E.V.; Sistemógrafo de um sistema de administração de materiais para Blanks Soldados, São Paulo, EPUSP, 1999. Texto do Seminário apresentado na disciplina: Fundamentos da Engenharia dos Sistemas de Produção, ministrada pelo Prof. Dr. Ettore Bresciani Filho, na Faculdade de Mecânica da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), outubro de 1999.
6. TAVARES, J.J.P.Z.S., BATALHA, G.F., SILVA, J.R.; Formalization of the information system of material management for a case study: tailored welded blank manufacturing, São Paulo, EPUSP, 2000.
7. SILVA, I.B., BRESCIANI, E.F.; Modelo de Sistema Integrado de produto e processo com Melhoria Contínua de Qualidade, Campinas, UNICAMP, 2000, pp 1-55.

8. BRYNJOLFSSON, E., RENSHAW, A.A., VAN ALSTYNE, M.; *The Matrix of Change: A Tool for Business Process Reengineering*, Cambridge, MIT Sloan School of Management, 1997.
9. ZACARI, C.L.F.; *Modelagem de Workflows em Processos de Negócios*, Campinas, Instituto de Informática, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, 1999.
10. BARTHELMESS, P.; *Sistemas de Workflow: Análise da Área e Proposta de Modelo*, Campinas, Instituto de Informática, UNICAMP, 1996.
11. ALMEIDA, A.E.L.; *Tecnologia da Informação e Melhoria de Processos: O Foco no Desempenho Empresarial*, Instituto de Informática, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, 1996.
12. PIVA, D.J.; *Recomendações para Otimização e Adaptação de Metodologias de Elaboração do Planejamento Estratégico de Sistemas de Informação aos Novos Tempos*, Campinas, Instituto de Informática, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, 1996.
13. BERNARDES, C.; *Teoria geral das organizações: os fundamentos da administração integrada*, Ed. Atlas, São Paulo, 1988.
14. DAVENPORT, T. H.; *Reengenharia de Processos – Como inovar na empresa através da tecnologia da informação*, 3<sup>a</sup> ed., Rio de Janeiro, Editora Campus Ltda, 1994.
15. HAMMER, M., CHAMPY, J.; *Reengenharia: Revolucionando a empresa em função dos clientes, da concorrência e das grandes mudanças da gerência*, 25<sup>a</sup> ed., Rio de Janeiro, Editor Campus, 1994.
16. JOHANSSON, H.J.; *Business Process Reengineering – Breakpoint Strategies for market dominance*, John Wiley & Sons, New York, 1993.

- 17.ALTER, S.; Information Systems – A Management Perspective, The Benjamin/Cummings Publishing Co., 1992.
- 18.KOTLER, Philip. Administração de Marketing: análise, planejamento, implementação e controle, 3<sup>a</sup> ed., São Paulo, Editora Atlas, 1993.
- 19.PORTER, M.E.; Vantagem Competitiva: criando e sustentando um desempenho superior, ed. Campus, Rio de Janeiro, 1992.
- 20.PRAHALAD, C.K., HAMEL, G.; Competindo pelo Futuro, Editora Campus, Rio de Janeiro, 1995.
- 21.MARTIN, J.; A Grande Transição, Editora Futura, São Paulo, 1996.
- 22.WHEATLEY, M.J.; Liderança e a Nova Ciência, Editora Cultrix, São Paulo, 1992.
- 23.WERKEMA.M.C.C.; As ferramentas da Qualidade no Gerenciamento de Processos, Editora Sogafe, Belo Horizonte, 1995.
- 24.FALCONI, V.C.; Gerenciamento da Rotina do Trabalho do dia-a-dia, 3<sup>a</sup> ed., Editora Bloch, Rio de Janeiro, 1994.
- 25.NAHMIAS, S.; Production and Operations Analysis, 3<sup>rd</sup> ed., McGraw-Hill International Editions, 1997.
26. BÔAS, D.V., BUTTON, S.T.; Estudo de Forjamento a Frio de Peças Automotivas, Campinas, UNICAMP, 1999.
- 27.DOYLE, L.E.; Processos de Fabricação e Materiais para Engenheiros,3<sup>a</sup> ed., Editora Edgard Blücher, 1962.
- 28.SEMIATIN, S.L.; Introduction for forming and forging processes, Metals Handbook, vol. 14, Forming and Forging, ASM International, 1988, p. 15-21.

29. BRYNJOLFSSON, E., HITT, L.; *Creating Value and Destroying Profits? Three Measures of Information Technology's Contributions*, Cambridge, MIT Sloan School of Management, 1994.
30. HIRSCHVOGEN, M., DOMMELEM, H.V.; Some applications of cold and warm forging. In: *Journal of Materials Processing Technology*, 1992. v.35, p. 343-356.
31. WARD, J., GRIFFITHS, P., WHITMORE, P.; *Strategic Planning for Information Systems*, John Wiley & Sons Ltd, England, 1990.
32. TELLES, J.M.F.; *Sistema Gerenciador de Workflows para a Integração de Processos em Ambientes Organizacionais Distribuídos*, Instituto de Informática, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, 1997.
33. REIZIG, W.; *Petri-Nets*. Springer – Verlag, Berlin Heidelberg New York, 1982.
34. TAVARES, J.J.P.Z.S., BATALHA, G.F., SILVA, J.R.; *Informatização da Administração de Materiais na Fabricação de Blank Soldado*, São Paulo, EPUSP, 2000;
35. DEGARMO, E.P. , BLACK, J. T. , KOHSER, R. A.; *Materials and Processes in Manufacturing*, John Wiley & Sons Ltd, England, 1997;
36. FIA – Forging Industry Association. <http://www.forging.org>
37. RA - <http://www.renault-automation.com/Journal/uk/Tailored%20Blank1.htm>
38. HOOGOVENS – <http://www.hoogovens.com>
39. HANNOVER- <http://www.ifum.unihannover.de/5n/forschung/sfb362/>
40. WFM – Workflow Management Coalition – <http://www.aiai.ed.ac.uk>
41. FIAT – Site da Fiat Automóveis – <http://www.fiat.com.br>

42. INTERNET – Sites diversos da internet com referência aos processos de fabricação de engrenagens.

