



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

MARCELO LINDENBERG GRAVINA

Análise técnico-econômica do processo de fabricação de
componentes de hidrogeradores

São Paulo

2006

MARCELO LINDENBERG GRAVINA

Análise técnico-econômica do processo de fabricação de
componentes de hidrogeradores

Trabalho de Formatura apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Graduação em Engenharia Mecânica.

Área de Concentração: Engenharia Industrial
Orientador: Prof. Dr. Gilberto Martha de Souza

São Paulo

2006

FICHA CATALOGRÁFICA

Gravina, Marcelo Lindenberg

Análise técnico-econômica do processo de fabricação de componentes de hidrogeradores / M.L. Gravina. -- São Paulo, 2006.

83p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1.manufatura enxuta 2.Hidrogerador 3.Custo industrial 4.Ar- ranjo físico I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica II.t.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a Deus, pois sem ele nada é possível.

Ao suporte dado pela minha família, principalmente a minha Mãe e meu Pai, que fizeram de tudo para que eu pudesse ter a oportunidade de me formar.

Aos meus amigos sempre presentes, nos bons e maus momentos.

À Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, pela oportunidade da realização do curso de graduação em Engenharia Mecânica.

À Voith Siemens, pela assistência e a oportunidade do desenvolvimento do trabalho.

Ao Prof. Dr. Gilberto Martha de Souza, pelo auxílio dado ao colocar sua experiência e conhecimento a minha disposição.

EPÍGRAFE

“O curso dos tempos nos
incumbe de lutar por valores
humanitários e intelectuais.”

Hanns Voith

RESUMO

No sentido de realizar um estudo analítico dos processos relativos a fabricação das peças de um hidrogerador, inicialmente foram feitas diversas entrevistas com gerentes das áreas relacionadas, com o objetivo de esclarecer de que forma são compostos e divididos os custos de fabricação dessas peças. Depois de feita essa extensa análise, o problema foi rapidamente identificado, algumas peças estão sendo fabricadas por um custo semelhante ao preço de venda de alguns fabricantes e isso, de acordo com alguns deles, se deve ao tamanho da empresa, isto é, quanto maior a empresa, maiores serão seus custos. Nos custos de fabricação estão incluídos, além dos custos da fábrica, diversos outros custos relativos à administração, sendo que estes podem representar até 36% do custo da hora standard de uma máquina. Foram analisados, além do sistema de custos, a seqüência de fabricação, o processo de outsourcing, o layout e a produtividade da fábrica, sendo que este último, ao ser otimizado, com a ajuda das técnicas de manufatura enxuta, tem o maior potencial de redução de custos (podendo chegar a mais de 50% em alguns casos), colocando assim a Voith Siemens numa posição muito favorável em relação aos seus concorrentes.

Palavras-chave: hidrogerador, manufatura, custo, fabricação, manufatura enxuta, arranjo físico.

ABSTRACT

In order to carry out an analytic study of the processes related to the manufacturing of generator parts initially several interviews were made with the related areas managers, with the purpose of revealing how these manufacturing costs are divided and composed. After having this extensive analysis made, the problem was quickly identified. Some of the parts are been produced with a cost similar to the sales price of some of other manufacturers. According to some of them it is owe to the size of the company, that is, the bigger the corporation is, the grater will its costs be. To the manufacturing costs are linked, besides the fabrication costs, lots of other costs related to the administration and that can represent 36% of the standard hour cost of a machine. In addition to the costs system, the manufacturing sequence, the outsourcing process, the plant's layout and its productivity were analyzed. Been this last one when optimized with the help of Lean Manufacturing techniques, has the most potential of cost reduction (that could reach values over 50%), putting Voith Siemens in a very comfortable market position.

Keywords: hydrogenerator, manufacture, cost, manufacturing, lean manufacturing, plant layout.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Contexto.....	10
2	JUSTIFICATIVA	21
3	FABRICAÇÃO.....	26
3.1	Carcaça.....	26
3.2	Cubo Aranha - com braços	32
4	FÁBRICA	41
4.1	Processos de Produção.....	41
4.2	Tipos de layout e processos de produção.....	42
5	VOITH SIEMENS	48
5.1	Organização	48
5.2	Célula de Componentes Soldados.....	50
5.3	Célula de Componentes Usinados	50
5.4	Estrutura de Custos	54
5.5	Outsourcing.....	57
6	MANUFATURA ENXUTA OU “LEAN MANUFACTURING”	58
6.1	Introdução	58
6.2	Valor	59
6.3	Cadeia de Valor.....	60
6.4	Fluxo	64
6.5	Produção Puxada.....	66

6.6	Perfeição	68
6.7	Lean na Voith Siemens	69
7	CONCLUSÃO	75
8	REFERÊNCIAS.....	78

Lista de Figuras

Figura 1.1 – Componentes de um Hidrogerador.....	9
Figura 1.2 – Cubo do Rotor do Gerador	9
Figura 1.3 – Carcaça do Estator do Gerador.....	10
Figura 1.4 – Eletricidade gerada em TWh	12
Figura 1.5 – Distribuição da energia primária fornecida no mundo	12
Figura 1.6 – Distribuição da eletricidade gerada no mundo	12
Figura 1.7 – Oferta de Eletricidade no Brasil	14
Figura 1.8 – Distribuição da energia primária fornecida no Brasil.....	15
Figura 1.9 – Estrutura da oferta de energia elétrica no Brasil	15
Figura 1.10 – Crescimento do consumo de energia no Brasil	16
Figura 1.11 – Turbina Francis.....	17
Figura 1.12 – Turbina Pelton	17
Figura 1.13 – Turbina Kaplan.....	17
Figura 1.14 – Planta da Voith São Paulo	18
Figura 1.15 – Itaipú.....	19
Figura 1.16 – Fatias do mercado de hidrogeração	19
Figura 2.1 – Comparativo de Custos/Preço do Cubo do rotor	21
Figura 2.2 – Comparativo de Custos/Preço da Carcaça do estator	22
Figura 2.3 – Matriz de Importância e Desempenho.....	23
Figura 2.4 – Distribuição dos custos da matéria-prima dos componentes do gerador	24
Figura 2.5 – Distribuição das horas de fabricação dos componentes do gerador	24

Figura 2.6 – Distribuição do custo nos diversos grupos de componentes do gerador	25
Figura 3.1 – Suportes da Carcaça	26
Figura 3.2 – Montagem com tubo guia	27
Figura 3.3 – Montagem com alinhamento	28
Figura 3.4 – Posicionamento na Madrilhadora	29
Figura 3.5 – Detalhe da solda dos dedos de pressão.....	29
Figura 3.6 – Suporte simulador.....	30
Figura 3.7 – Detalhe de montagem das garras de andorinha	31
Figura 3.8 – Solda das garras de andorinha	31
Figura 3.9 – Subconjuntos 1 e 2 (Central)	32
Figura 3.10 – Subconjunto 3 (Central)	33
Figura 3.11 – Subconjunto 4 (Central)	34
Figura 3.12 – Subconjunto 5 (Central)	34
Figura 3.13 – Subconjunto 6 (Central)	35
Figura 3.14 – Pré usinagem	36
Figura 3.15 – Subconjunto 1 (Braços)	37
Figura 3.16 – Subconjunto 2 (Braços)	38
Figura 3.17 – Subconjunto 3 (Braços)	39
Figura 3.18 – Subconjunto 1 (Freio).....	40
Figura 4.1 – Representação dos Sistemas de manufatura	41
Figura 4.2 – Conceito de layout.....	43
Figura 4.3 – Arranjo físico celular por processos e produtos	46
Figura 4.4 – Posição do processo no contínuo volume.....	47
Figura 5.1 – VSPA	48
Figura 5.2 – Arranjo físico celular	49

Figura 5.3 – Organograma da célula de usinagem.....	49
Figura 5.4 – Mandriladora Horizontal CNC EUROMILL 200	51
Figura 5.5 – Mandriladora Horizontal CNC RAPID 6A	51
Figura 5.6 – Mandriladora Horizontal CNC CUT MAX 2.....	52
Figura 5.7 – Torno Vertical CNC DOERRIES SDE 800 V16	53
Figura 5.8 – Torno Vertical CNC DOERRIES CTE 500/32	53
Figura 5.9 – Torno Vertical CNC DOERRIES CT200.....	54
Figura 5.10 – Composição da hora standard da Caldeiraria	56
Figura 6.1 – Mapa da cadeia de valor (estado presente).....	61
Figura 6.2 – Mapa da cadeia de valor (estado futuro)	62
Figura 6.3 – Simbologia das figuras 1 e 2	63
Figura 6.4 – Fluxo de informações e peças.....	67
Figura 6.5 – Matriz do desdobramento da política	69
Figura 6.6 – Ferramentas do sistema Toyota de produção	70
Figura 6.7 – Fluxograma de implementação da manufatura enxuta.....	72
Figura 6.8 – Folha A3	73
Figura 6.9 – Produção não nivelada.....	74
Figura 6.10 – Produção nivelada	74
Figura 7.1 – Fluxograma da implementação das melhorias	77

1 INTRODUÇÃO

O trabalho desenvolvido tem como tema a “Análise técnico-econômica do processo de fabricação de componentes de hidrogeradores” (Fig 1.1, 1.2, 1.3) e tem como objetivo, a avaliação dos processos fabris, de forma a tornar esses produtos mais competitivos. Dois são os produtos com as maiores diferenças frente o mercado, a carcaça do estator e o cubo do rotor do gerador.

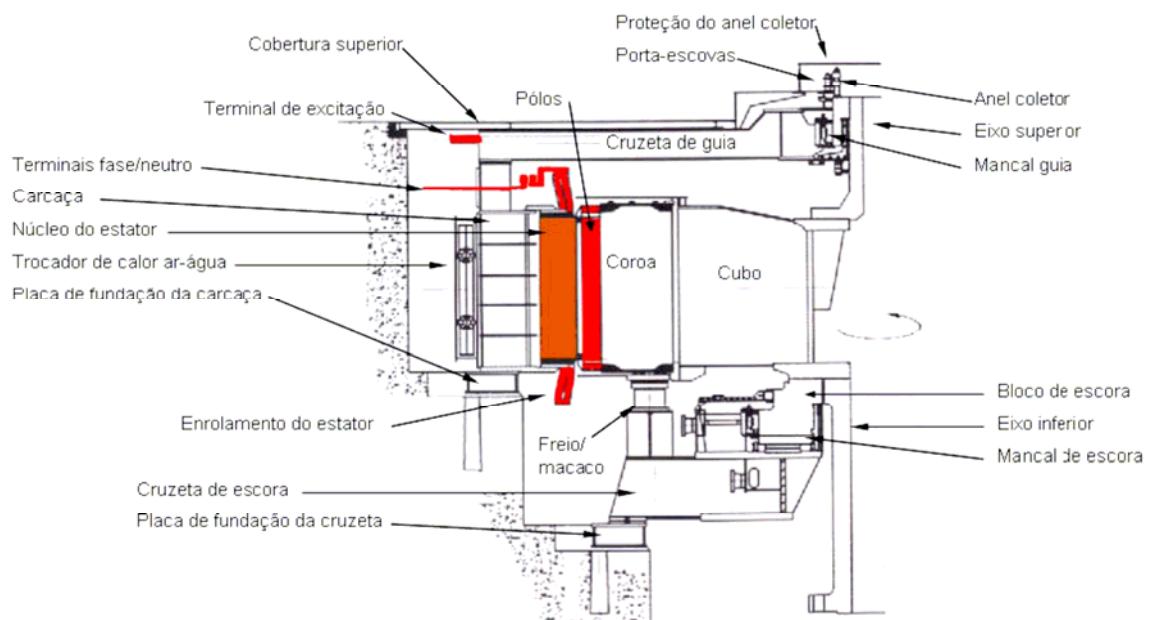


Figura 1.1 – Componentes de um Hidrogerador (KRAMER et al, 2003)

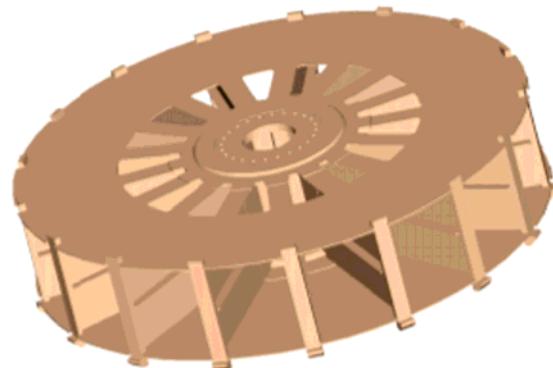


Figura 1.2 – Cubo do Rotor do Gerador (KRAMER et al, 2003)

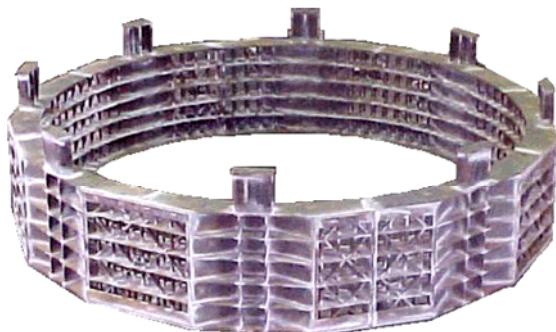


Figura 1.3 – Carcaça do Estator do Gerador (KRAMER et al, 2003)

A carcaça do gerador tem como função principal transmitir os esforços, provenientes de seu próprio peso, do torque magnético e dependendo do arranjo de máquina, até dos pesos da cruzeta e das partes rotativas do gerador e da turbina, às fundações (SIEMENSa, 1998).

O cubo do gerador é o elemento de ligação entre a coroa do rotor e o eixo e tem a função de transmitir o torque e absorver as forças provenientes da pré-tensão da coroa, já que esta é fixada por contração térmica (SIEMENSb, 1998).

1.1 Contexto

1.1.1 Mundo

Desde o início, a história da energia se confunde com a da humanidade. O fogo foi a primeira fonte, sendo ela utilizada para a defesa, para o aquecimento, para cozinhar e mais tarde, para fazer armas e ferramentas (ENERSUL, 2006).

Algum tempo depois, com a domesticação, a força animal foi muito utilizada em trabalhos pesados, assim como, para arar a terra, para girar moendas e para transportar cargas (ENERSUL, 2006).

A próxima fonte de energia a ser utilizada foi o vento. Essa teve um papel muito importante na história da humanidade, pois foi com ela que os grandes descobridores e conquistadores conseguiram navegar os sete mares a procura de novas terras e riquezas, e sem ela a América não teria sido descoberta. Os ventos deram, também, uma grande contribuição em uma das primeiras atividades industriais, a produção de produtos primários por moinhos (ENERSUL, 2006).

Em seguida com a revolução industrial no século XVIII, vieram as máquinas a vapor, trazidas por Thomas Newcomen e James Watt. Esse foi um grande marco histórico dos tempos modernos, pois contribuiu imensamente para as atividades industriais e comerciais da época, agilizando o transporte (locomotivas e navios) e alguns processos industriais, como na área têxtil com os teares mecânicos (ENERSUL, 2006).

Mais recentemente no século XIX, novos tipos de energia tiveram grande destaque, o petróleo e a eletricidade. Essas duas novas formas foram as grandes responsáveis por esse grande salto no desenvolvimento da humanidade culminado na prosperidade tecnológica dos dias atuais (ENERSUL, 2006).

A história da eletricidade teve seu início quando Thomas Edison conectou pela primeira vez, no final do século XIX, um gerador elétrico a uma máquina a vapor alimentada por carvão para fornecer energia elétrica para iluminação. Somente um ano depois, a primeira central hidrelétrica do mundo entrou em funcionamento em Appleton no estado de Wisconsin (UCS, 2006).

Desde então, as usinas hidrelétricas vêm crescendo cada vez mais em tamanho e número (Fig 1.4), chegando assim nos dias atuais. Hoje em dia, a energia hidráulica representa aproximadamente 2,2% de toda a energia primária fornecida no mundo (Fig 1.5) e 15,9% de toda a eletricidade gerada no mundo (Fig 1.6) (IEA, 2005).

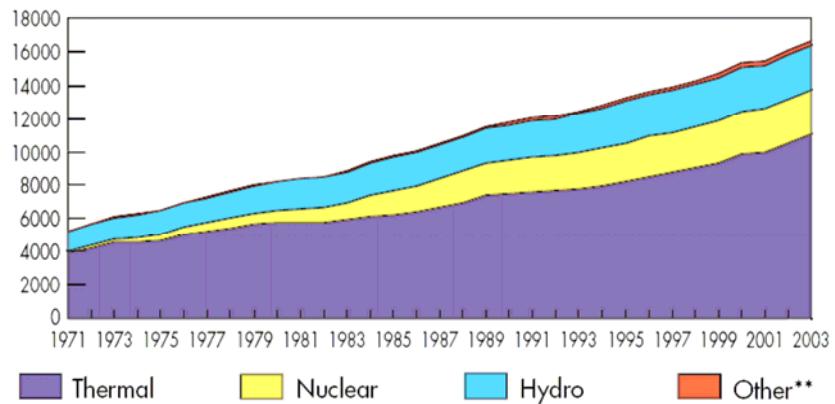


Figura 1.4 – Eletricidade gerada em TWh (IEA, 2005)

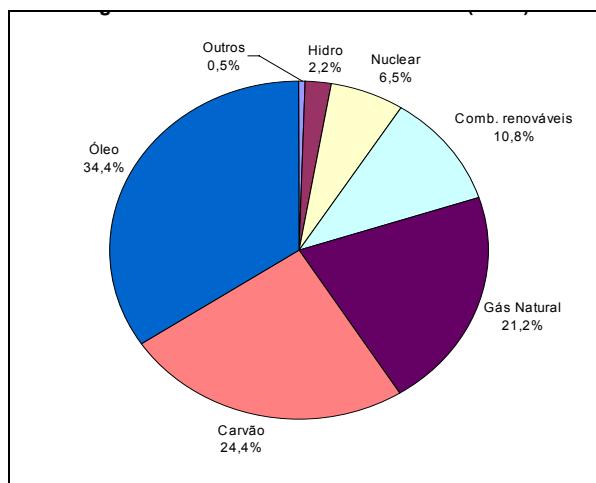


Figura 1.5 – Distribuição da energia primária fornecida no mundo (IEA, 2005)

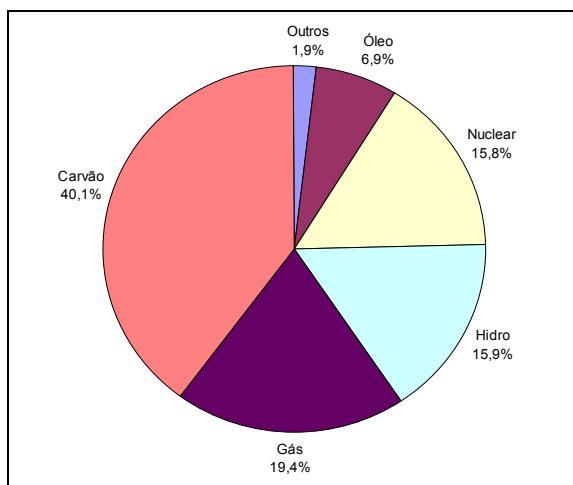


Figura 1.6 – Distribuição da eletricidade gerada no mundo (IEA, 2005)

1.1.2 Brasil

No Brasil, a história da eletricidade começou quando em 1879, D. Pedro II concedeu a Thomas Alva Edison o privilégio de aplicar suas invenções referentes à energia elétrica na iluminação pública (ELETROBRÁS, 2006).

Em 1983, a primeira usina hidrelétrica foi inaugurada no Ribeirão do Inferno na cidade da Diamantina e, em 1889, a primeira usina hidrelétrica de maior porte entrou em operação, a usina de Marmelos-Zero (ELETROBRÁS, 2006).

No ano de 1903 o primeiro texto regulamentando o uso da energia elétrica no Brasil foi aprovado pelo Congresso (ELETROBRÁS, 2006).

Em 1939, o presidente Getúlio Vargas criou o Conselho Nacional de Águas e Energia - CNAE para sanear os problemas de suprimento, regulamentação e tarifa referentes à indústria de energia elétrica do país. E em 1940, as termoelétricas foram integradas no Código das Águas (ELETROBRÁS, 2006).

Foi criada, então, em 1945, a primeira empresa de eletricidade de âmbito federal, a Companhia Hidro Elétrica do São Francisco - CHESF (ELETROBRÁS, 2006).

Em 1960, o presidente Juscelino Kubitschek, como parte de sua política agressiva de desenvolvimento, implementou o chamado Plano de Metas, que previa a criação do Ministério de Minas e Energia. No ano seguinte, com Jânio Quadros, a Eletrobrás foi criada para coordenar o setor de energia elétrica brasileiro (ELETROBRÁS, 2006).

Em 1973, nascida de um acordo internacional entre Brasil e Paraguai, foi iniciada a construção da maior usina hidrelétrica do mundo na época, Itaipú, podendo gerar até 13 GW de potência (ELETROBRÁS, 2006).

Agora, com o principal objetivo de regular a vazão do Rio São Francisco, a Usina de Sobradinho foi construída, aproveitando o maior reservatório do país. Esta se trata de uma

usina de grande porte com 6 turbinas, que geram cada uma 178 MW de potência (ELETROBRÁS, 2006).

No ano de 1985, o Brasil deu um grande passo na utilização da energia termonuclear, pois foi nesse ano que a usina Angra I entrou em operação (ELETROBRÁS, 2006).

Em 1990, deu-se o início das privatizações no ramo da energia elétrica. Nesse ano, o presidente Fernando Collor criou o Programa Nacional da Desestatização – PND, que visava a privatização dos segmentos de distribuição e geração de energia. Em 1997, um novo órgão regulador do setor foi criado, a chamada Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (ELETROBRÁS, 2006).

O Brasil continuou se desenvolvendo até que, em 2001, houve a maior crise energética que o país já experimentou, culminando no chamado “apagão”. Esse evento ocorreu porque, além de terem havido baixos investimentos na área nos últimos anos, as condições hidrológicas não estavam favoráveis, uma vez que nesse ano a energia elétrica gerada por hidrelétricas era responsável por mais de 75% da matriz energética nacional (Fig 1.7). Em decorrência da gravidade dessa situação, o governo federal criou, em maio, a Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica (GCE), com o objetivo de “propor e implementar medidas de natureza emergencial para compatibilizar a demanda e a oferta de energia elétrica” (ELETROBRÁS, 2006).

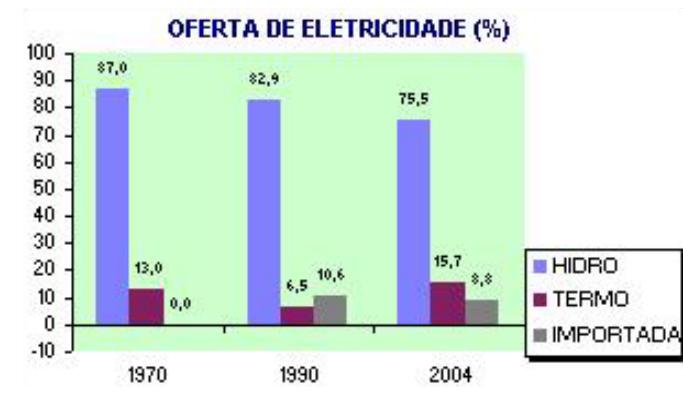


Figura 1.7 – Oferta de Eletricidade no Brasil (BEN, 2005)

Hoje em dia, o setor energético se encontra muito favorável para empresas que atuam nessa área, uma vez que o Brasil conta com uma estrutura hídrica que favorece a geração de energia hidráulica (Fig 1.8, Fig 1.9) e por ser de uma nação em desenvolvimento (Fig 1.10). E, é nesse cenário de prosperidade e de oportunidades que se encaixa a empresa a ser analisada, Voith Siemens (unidade produtiva de São Paulo).

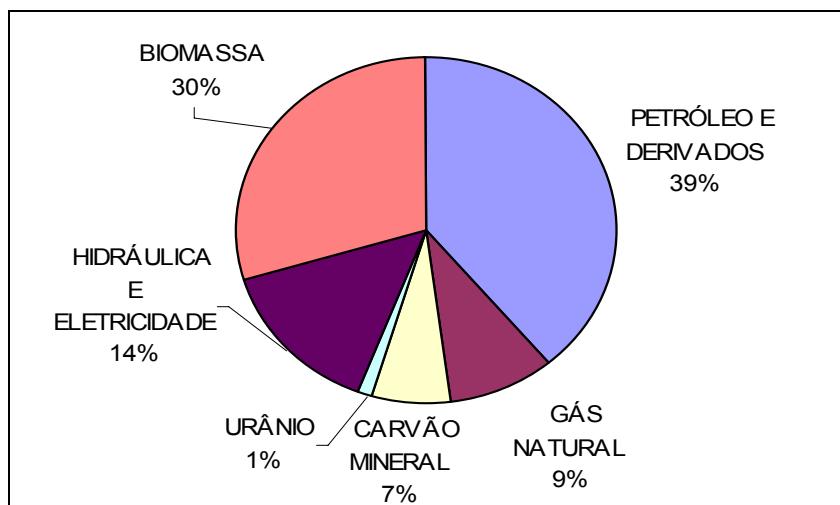


Figura 1.8 – Distribuição da energia primária fornecida no Brasil (BEN, 2005)

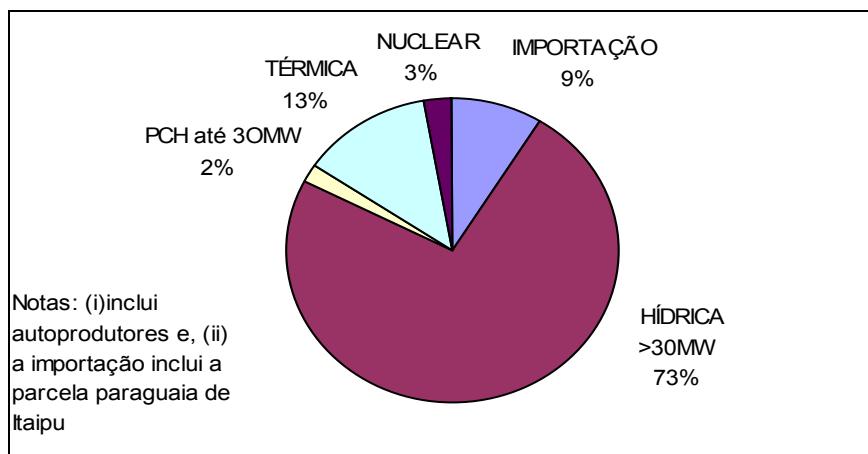


Figura 1.9 – Estrutura da oferta de energia elétrica no Brasil (BEN, 2005)

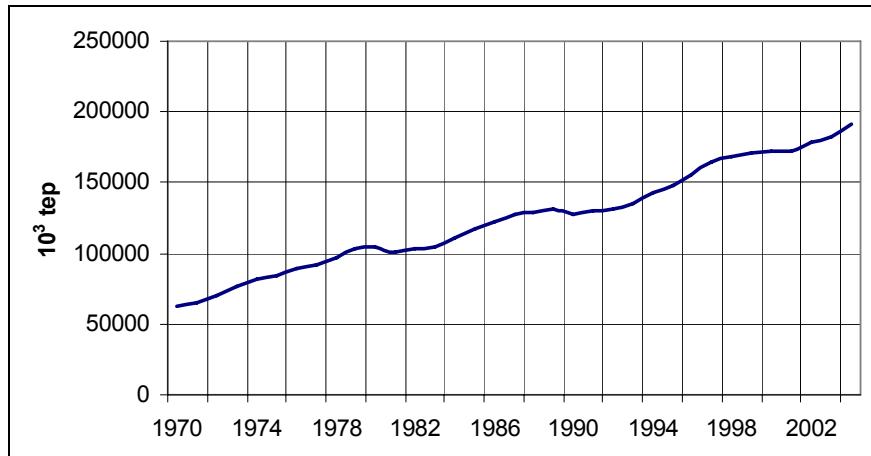


Figura 1.10 – Crescimento do consumo de energia no Brasil (BEN, 2005)

1.1.3 Voith Siemens

A Voith foi fundada oficialmente em 1867, quando Johann Matthaeus Voith passou para as mãos de seu filho, Friedrich, sua serralheria. A empresa passou por diversas etapas até chegar nos dias de hoje (VOITH SIEMENSa, 2004).

Com a Revolução Industrial, a indústria de papel começou a crescer muito e assim, a empresa começou a acreditar nesse setor. Em 1870, com o intuito de expandir os negócios, seguindo a estratégia de Johann, a Voith desenvolveu como segundo ramo, a construção de turbinas hidráulicas, sendo a primeira produzida a de Henschel-Jonval com 100 HP (VOITH SIEMENSa, 2004).

Em 1873, a primeira turbina Francis (Fig 1.11) é fornecida para uma tecelagem e, em 1881, a Voith fornece a primeira máquina de papel completa. Em 1893, turbinas Pelton (Fig 1.12) começam também a serem produzidas (VOITH SIEMENSa, 2004).



Figura 1.11 – Turbina Francis



Figura 1.12 – Turbina Pelton

Em 1917, no 50º aniversário, já haviam sido produzidas 6000 turbinas, 200 máquinas de papel e 100 desfibriladores (VOITH SIEMENSA, 2004).

Em 1922, a turbina Kaplan (Fig 1.13) é inventada e produzida pela primeira vez com 1100 HP (VOITH SIEMENSA, 2004).



Figura 1.13 – Turbina Kaplan

Em 1964, é inaugurada a subsidiária Voith S.A. em São Paulo–Brasil, com o objetivo de conquistar novos mercados para os principais produtos Voith a longo prazo (Fig 1.14) (VOITH SIEMENSA, 2004).



Figura 1.14 – Planta da Voith São Paulo

O ano de 1966 foi muito importante para a empresa em termos de pedidos. A maior máquina de papel newsprint do mundo, com uma largura de tela de 9 m foi encomendada pelos Estados Unidos, que também pediu as duas maiores turbinas Pelton do mundo, com 226.000 HP (VOITH SIEMENSA, 2004).

Em 1978, se deu a construção de Itaipu (Fig 1.15) com potência instalada de 13.000 GW com 12 das 18 turbinas Francis fornecidas pela Voith (VOITH SIEMENSA, 2004).



Figura 1.15 – Itaipú (KRAMER et al, 2003)

E finalmente, em 2000, a Voith e a Siemens celebram uma joint venture no setor hidroelétrico e fundam a Voith Siemens Hydro Power Generation (VOITH SIEMENSA, 2004).

Atualmente, a Voith Siemens é o líder mundial de geração de energia hidrelétrica (Fig 1.16), possuindo vendas anuais da ordem de U\$500 mi, aproximadamente 2.100 empregados e está presente na Áustria, no Brasil, no Canadá, na China, na França, na Alemanha, na Itália, no Japão, na Noruega, na Espanha e nos Estados Unidos.

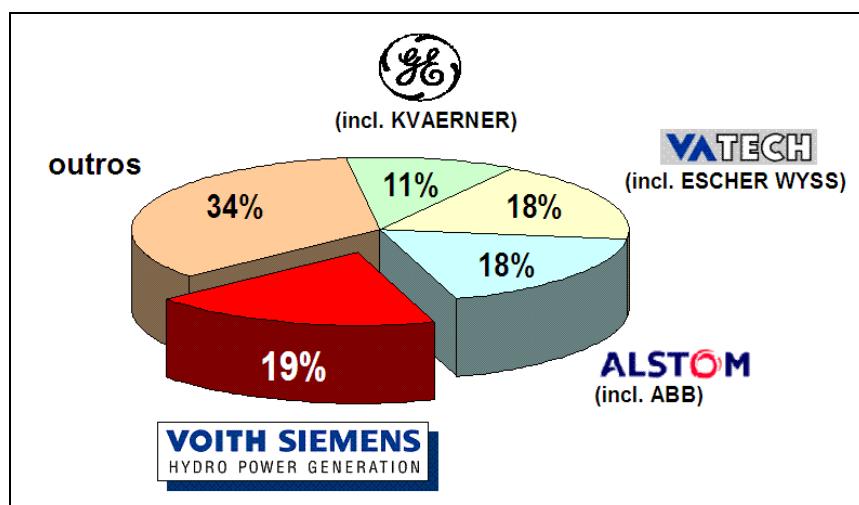


Figura 1.16 – Fatias do mercado de hidrogeração

Durante todos esses anos de história, a Voith desenvolveu valores e missões que fazem parte da cultura da empresa, isto é, no que a empresa acredita e busca.

Valores:

- Excelência nos serviços ao cliente
- Eficiência de suas atividades
- Espírito de seus funcionários

Missões:

- Ser um parceiro confiável de seus clientes
- Oferecer um amplo espectro de desempenho para seus clientes
- Estar próxima de seus clientes em qualquer parte do mundo

E é nesse cenário globalizado, disputado e de grandes oportunidades que se insere este trabalho.

2 JUSTIFICATIVA

O presente trabalho visa uma necessidade encontrada em projetos desenvolvidos pela empresa Voith Siemens Hydro.

No decorrer de algumas análises feitas pela empresa, no sentido de avaliar o seu custo de fabricação em relação ao preço da terceirização de algumas peças, chegou-se a alguns resultados que devem ser alvos de grandes reflexões. As figuras 2.1 e 2.2 ilustram bem o problema, fazendo uma comparação dos preços de terceiros e dos custos internos da Voith Siemens São Paulo – VSPA das peças mais críticas, o cubo do rotor e a carcaça do estator do gerador, respectivamente.

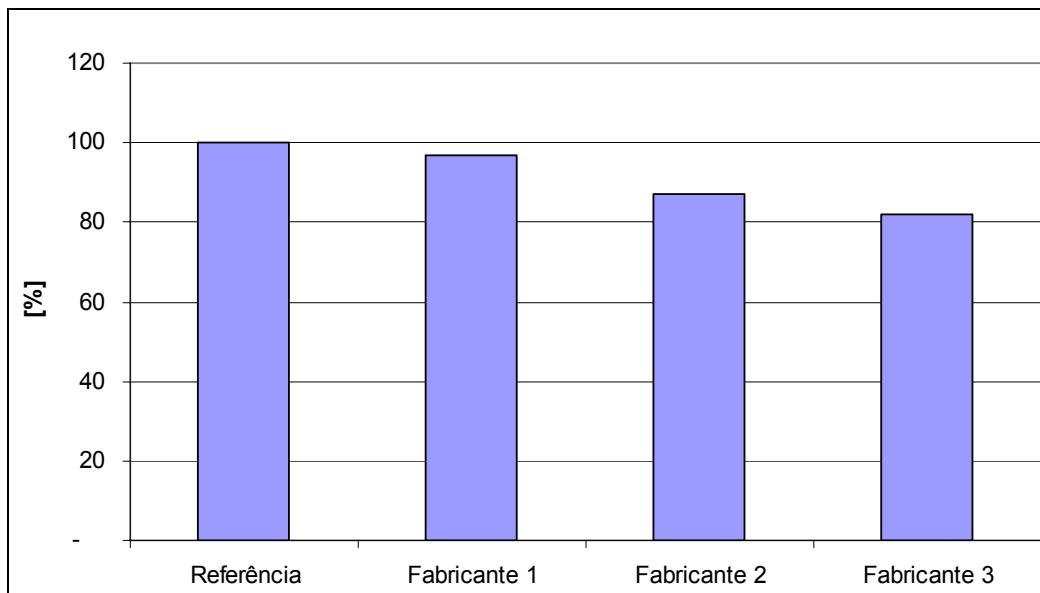


Figura 2.1 – Comparativo de Custos/Preço do Cubo do rotor

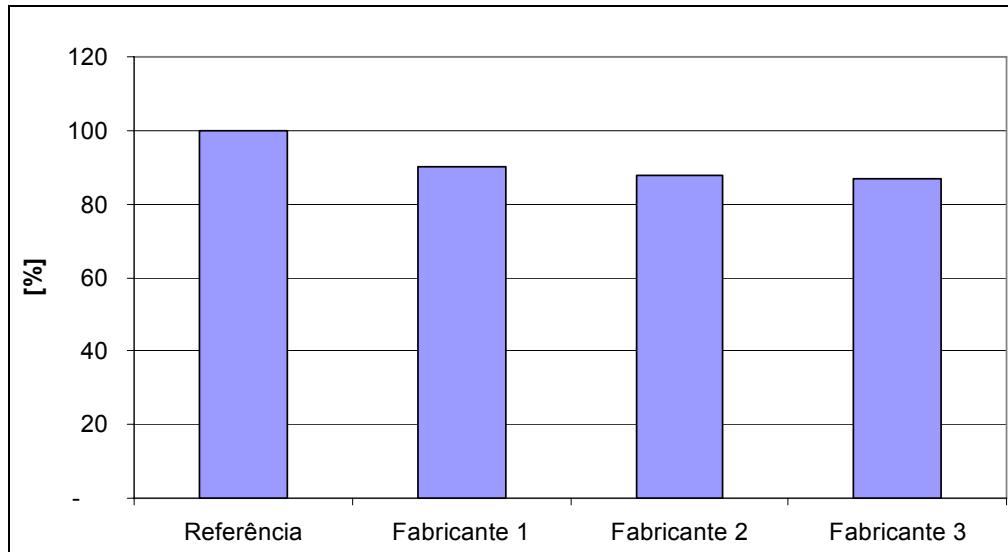


Figura 2.2 – Comparativo de Custos/Preço da Carcaça do estator

Observa-se nos gráficos apresentados, que as diferenças encontradas entre os diversos fabricantes e a VSPA são bastante significantes, o que evidencia a existência de problemas no processo de fabricação dessas peças.

Posto a existência clara de problemas, torna-se necessária uma análise e uma ação corretiva no procedimento em questão de forma a tornar o produto mais competitivo no mercado. Isso pode ser facilmente identificado quando se coloca em uma matriz de importâncias e desempenhos a visão do cliente sobre a Voith Siemens (Fig.2.3).

Matriz de Importância & Desempenho

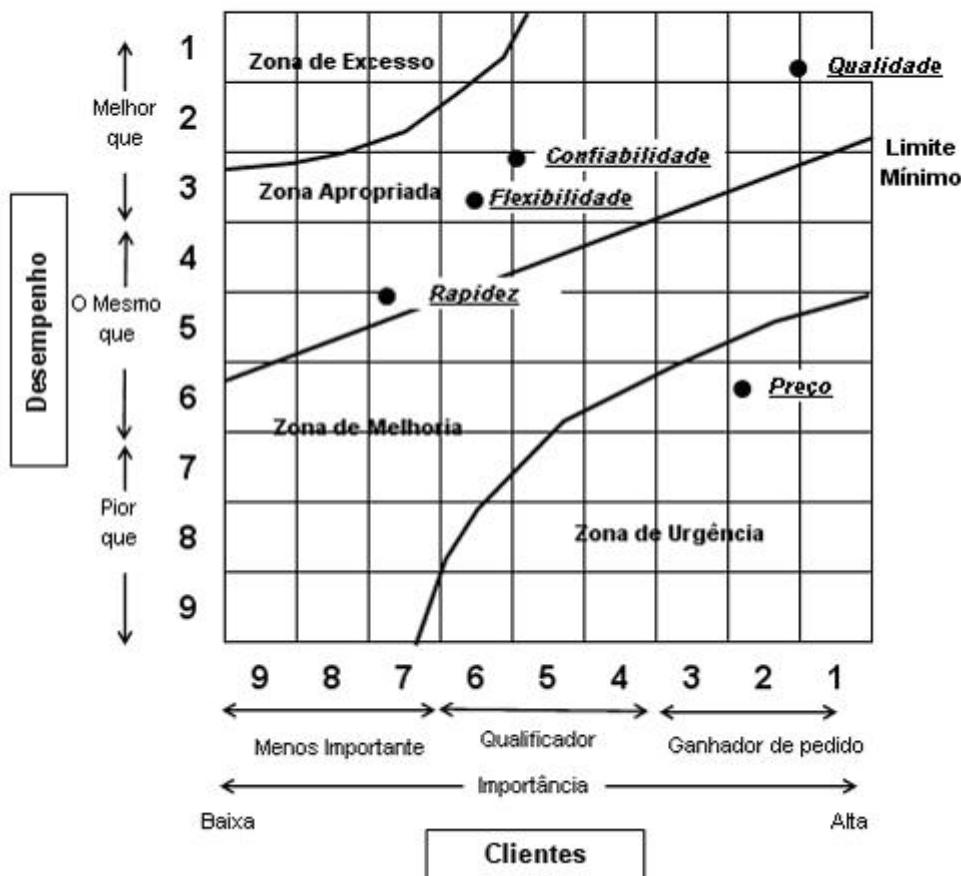


Figura 2.3 – Matriz de Importância e Desempenho

É importante analisar, também, o quanto essas diferenças impactam no custo final da solução, de forma a viabilizar um estudo como esse. Para tanto, estão representadas nas figuras 2.4, 2.5 e 2.6, respectivamente, as distribuições de matéria-prima, das horas de fabricação e dos custos nos diversos componentes do gerador.

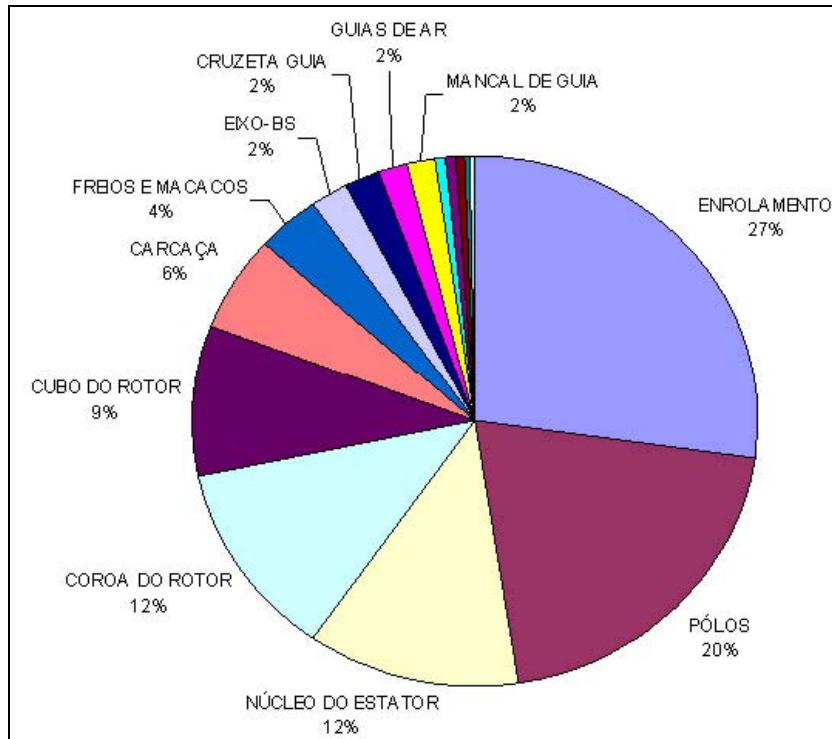


Figura 2.4 – Distribuição dos custos da matéria-prima dos componentes do gerador
(KRAMER et al, 2003)

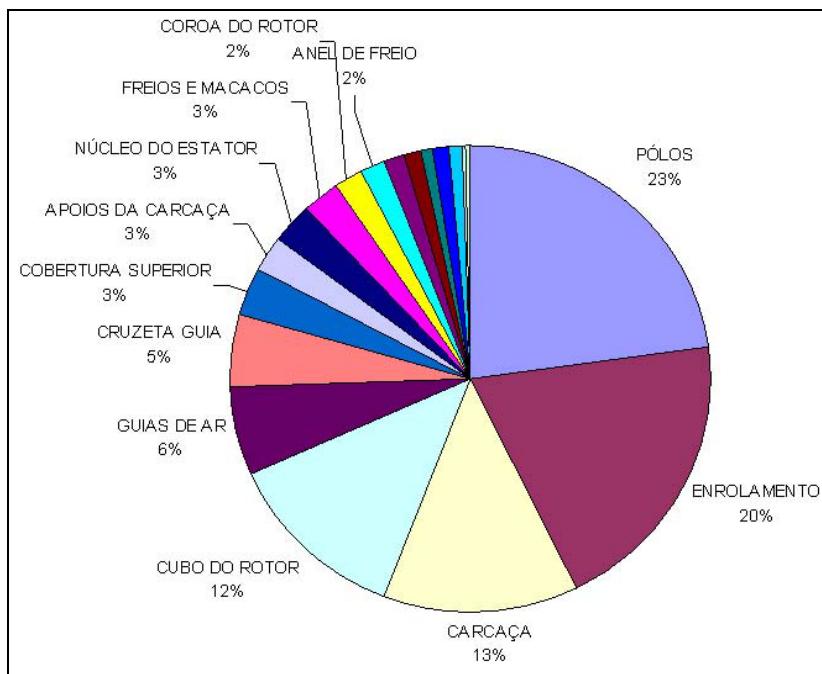


Figura 2.5 – Distribuição das horas de fabricação dos componentes do gerador (KRAMER et al, 2003)

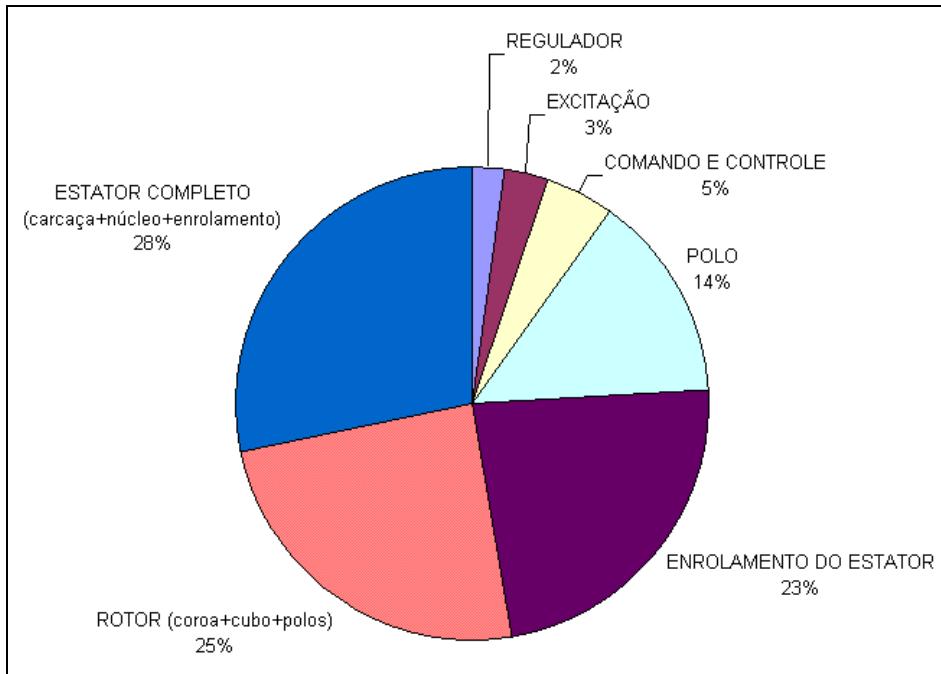


Figura 2.6 – Distribuição do custo nos diversos grupos de componentes do gerador
(KRAMER et al, 2003)

Ao analisar os diagramas acima, nota-se que as peças escolhidas para análise, representam 15 % do total de custos de matéria-prima, 25 % do total das horas de fabricação e assim, consequentemente, concentram uma grande parte dos custos do gerador (Fig 2.4). Esse fato é ainda mais evidenciado ao se retirar as peças especiais, as chamadas de “Core Business”, que não podem ser feitas por terceiros, pois são o “Know-How” da empresa (Pólos e Enrolamento).

3 FABRICAÇÃO

A seguir, as etapas de fabricação da carcaça do estator (SIEMENSc, 1998) e do cubo do rotor do gerador (SIEMENSd, 1998) serão descritas.

3.1 Carcaça

- Soldadores conforme ASME Section IX
- Pré aquecer as chapas a 80° antes da solda
- As chapas devem ser oxicortadas e chanfradas
- Iniciar a montagem por meio do segmento inferior
- Ajustar, montar e soldar os suportes da carcaça (fig 3.1)

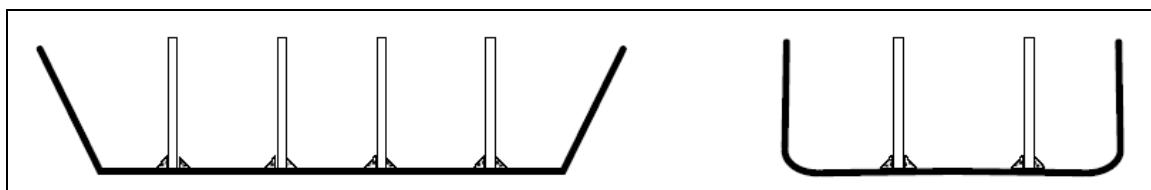


Figura 3.1 – Suportes da Carcaça

- Duas maneiras de montar, usando os tubos mecânicos como guia e colocando os tubos posteriormente (depende grau de precisão e repetitividade do oxicorte dos segmentos intermediários, da quantidade de prateleiras e a qualidade dos tubos quanto aos seus diâmetros e alinhamento)
- Tubos como guia (Fig 3.2)
 - Ajustar e montar os suportes dos tubos
 - Pontear a base

- Introduzir os segmentos intermediários e os suportes
- Alinhar os furos
- Inserir os tubos faltantes
- Posicionar e soldar o segmento superior

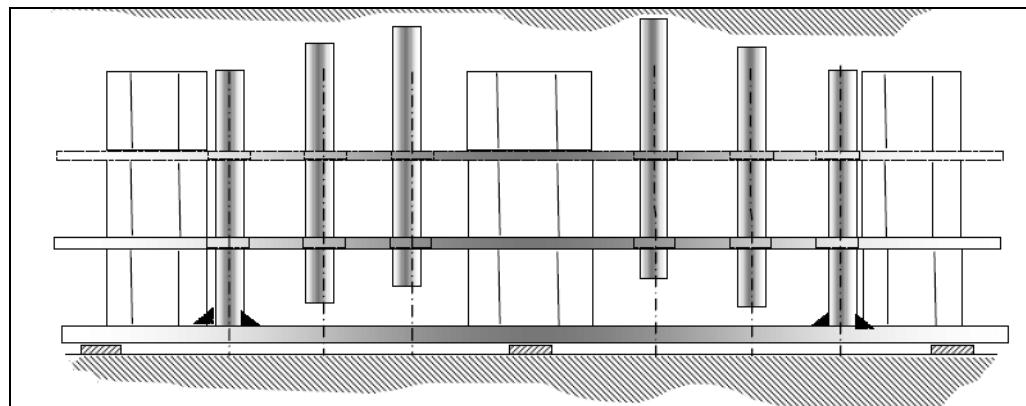


Figura 3.2 – Montagem com tubo guia

- Alinhamento das prateleiras (preferível quando o oxicorte não é muito bom e há poucas prateleiras, 1 ou 2) (Fig 3.3)
 - Ajustar e montar os suportes
 - Alinhar os segmentos e pontear
 - Feito isso com todas as prateleiras, introduzir os tubos
 - Posicionar e soldar o segmento superior
 - Soldar

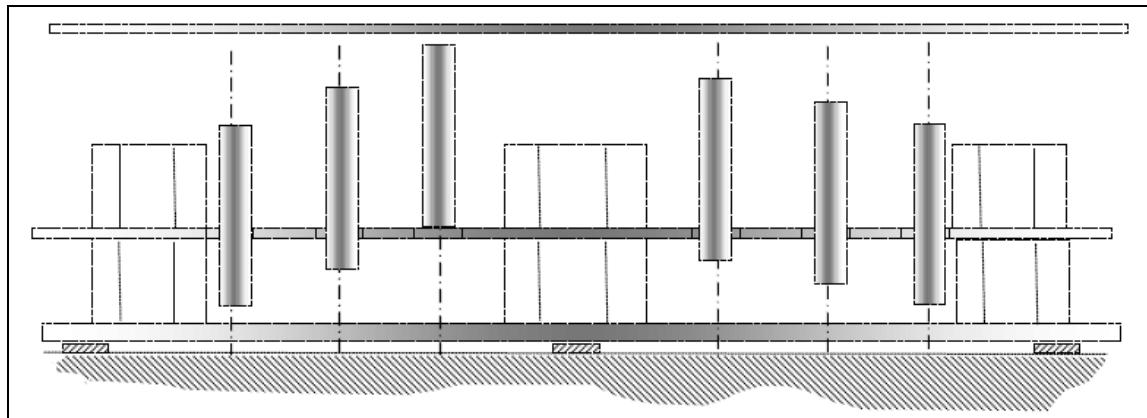


Figura 3.3 – Montagem com alinhamento

- Alinhar os segmentos da carcaça
- Montar e soldar os suportes da cruzeta
- Jatear e Pintar os locais de difícil acesso
- Montar as placas de junção, as capas almofadas e soldar o conjunto
- Executar todos os ensaios não destrutivos (E.N.D.)
- Usinagem
 - Traçar referências para o controle da altura do segmento e para auxiliar o nivelamento
 - Controlar o sobre metal
- Mandriladora
 - Posicionar corretamente (Fig 3.4)
 - Executar a furação dos tirantes, a usinagem do assento dos dedos, o assento da carcaça e chaveta
 - Usinar o assento da carcaça e furações
 - Usinar a face dos flanges das junções

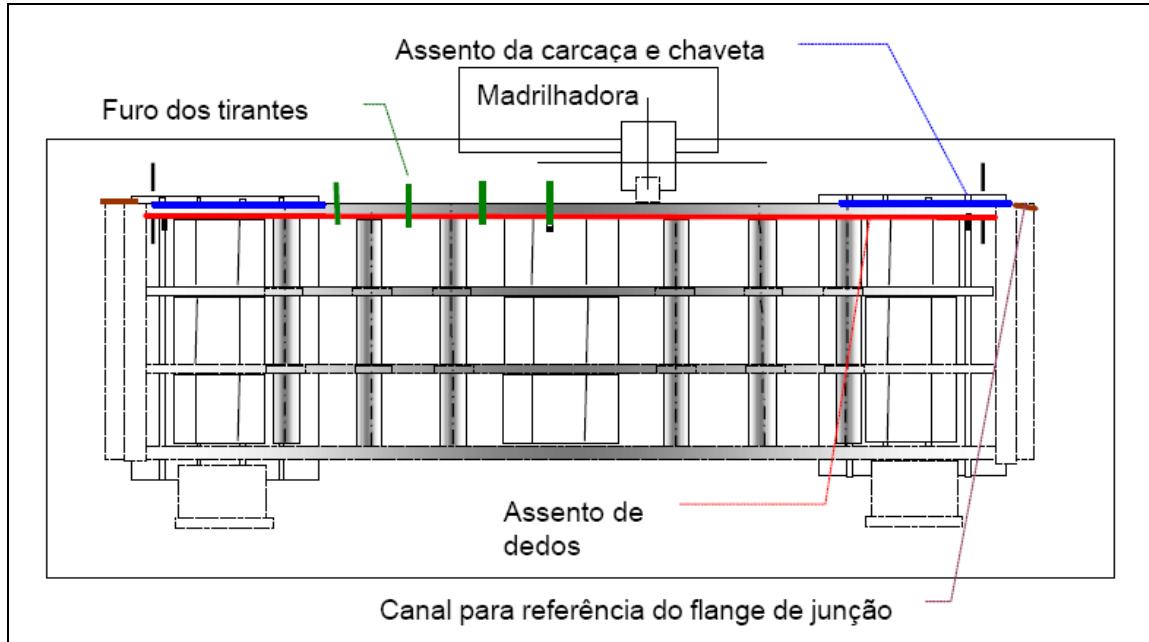


Figura 3.4 – Posicionamento na Madrilhadora

– Montagem

- Nivelar os segmentos e juntar formando a carcaça
- Furar os pinos guias (furadeira radial)
- Posicionar e soldar os dedos de pressão (obs: deixar 5 mm sem soldar de forma a não formar um entalhe) (Fig 3.5)

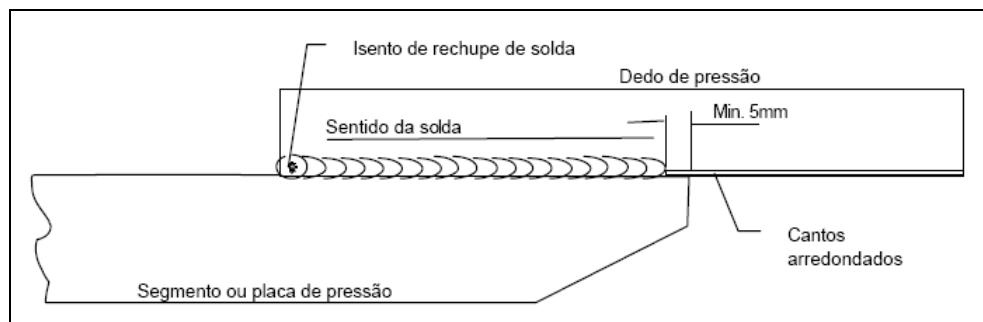


Figura 3.5 – Detalhe da solda dos dedos de pressão

- Montar e soldar todos os apoios
- Executar E.N.D.

- Executar furos e roscas restantes
- Controlar e protocolar medidas
- Jatear e Pintar com tinta de fundo
- Preparação para o empilhamento
 - Local coberto sem poeira
 - Empilhamentos simulados - posicionar as garras (Fig 3.6)

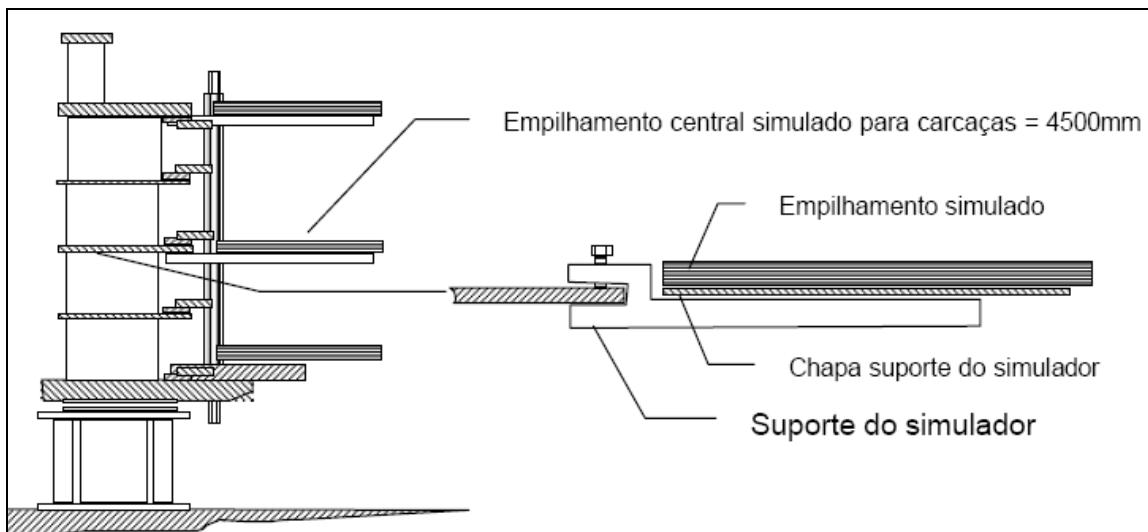


Figura 3.6 – Suporte simulador

- Inserção das garras rabo de andorinha (Fig3.7)
 - Aplicar parafina no perfil da barra
 - Encaixar todas garras rabo de andorinha com as barras ainda fora do local
 - Inserir a barra no rasgo
 - Após o posicionamento, introduzir as cunhas entre a barra e a garra

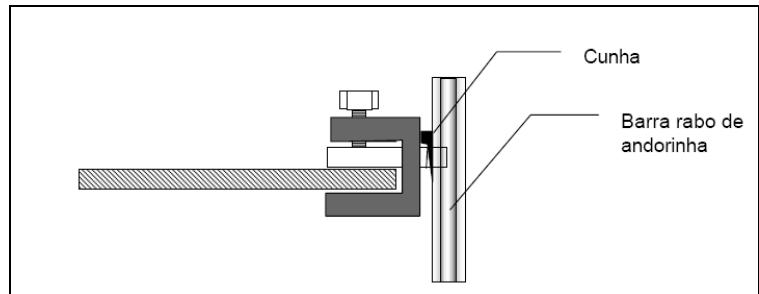


Figura 3.7 – Detalhe de montagem das garras de andorinha

– Soldagem das garras (Fig 3.8)

- Verificar o posicionamento das garras sobre as almofadas e as cunhas
- Executar o ponteamento das garras
- Executar as soldas finais na carcaça com soldadores simetricamente distribuídos ao redor da carcaça

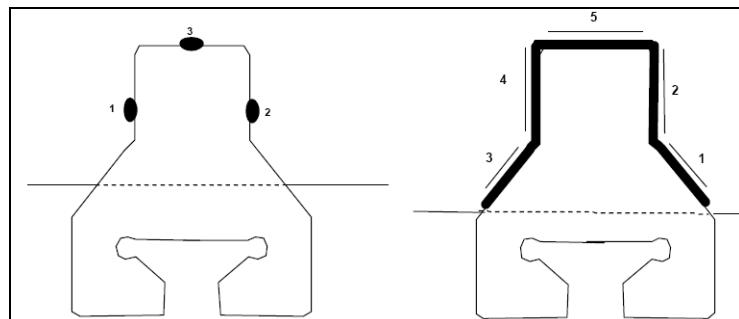


Figura 3.8 – Solda das garras de andorinha

- Controle geral
- Pintar
- Desmontar as chapas de empilhamento simulado
- Retirar as barras de perfil de rabo de andorinha
- Colocar suporte na carcaça para evitar a deformação

3.2 Cubo Aranha - com braços

Parte Central

- Executar os E.N.D. no recebimento das chapas, nas faces e chanfros de solda
- Subconjunto 1/2 (Fig 3.9)
 - Montar o anel superior/inferior a flange superior /inferior e pontear para soldagem
 - Executar a soldagem
 - Controlar visual e dimensional
 - Executar E.N.D. nas soldas
 - Traçar referências para montar as nervuras internas e externas

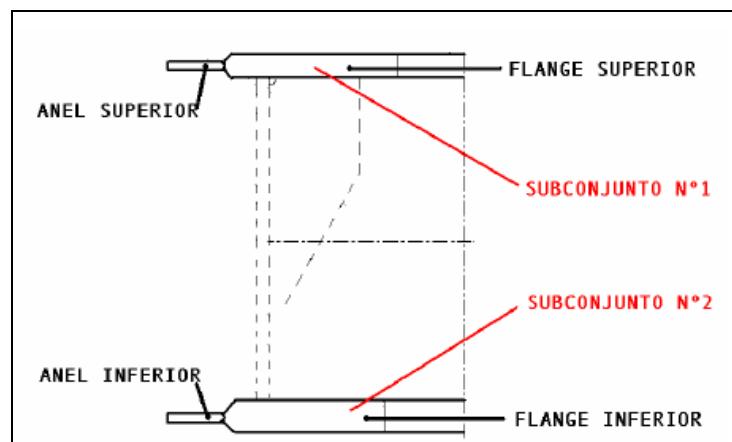


Figura 3.9 – Subconjuntos 1 e 2 (Central)

- Subconjunto 3 (Fig 3.10)
 - Montar o cilindro central
 - Montar metade da quantidade de nervuras internas - facilitar o acesso de soldagem
 - Soldar o cilindro

- Controlar
- Executar E.N.D.
- Montar e Soldar as nervuras restantes internas
- Controlar
- Executar E.N.D. nas soldas

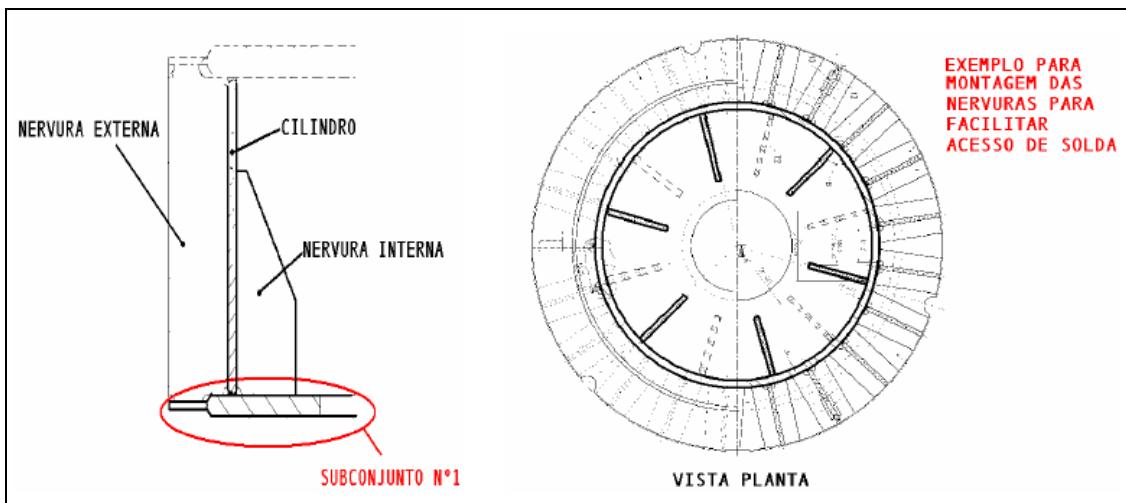


Figura 3.10 – Subconjunto 3 (Central)

- Subconjunto 4 (Fig 3.11)
 - Soldar o subconjunto3 com o subconjunto 2
 - Controlar
 - Executar E.N.D. nas soldas

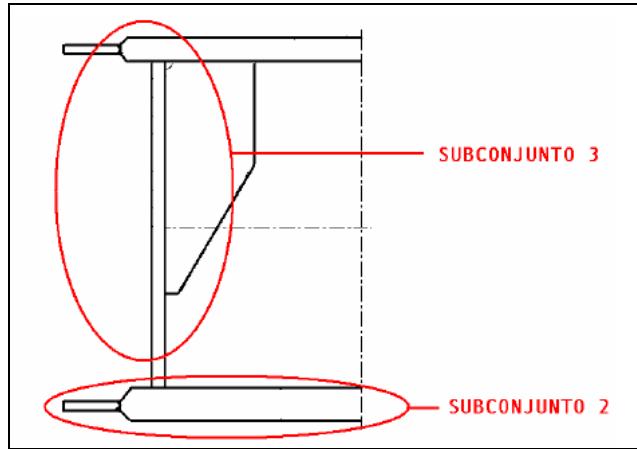


Figura 3.11 – Subconjunto 4 (Central)

- Subconjunto 5 (Fig 3.12)
 - Posicionar a nervura externa na posição horizontal sobre os calços
 - Montar reforços e alças nos dois lados da nervura e pontear para soldagem
 - Soldar reforços
 - Controlar
 - Executar E.N.D. nas soldas

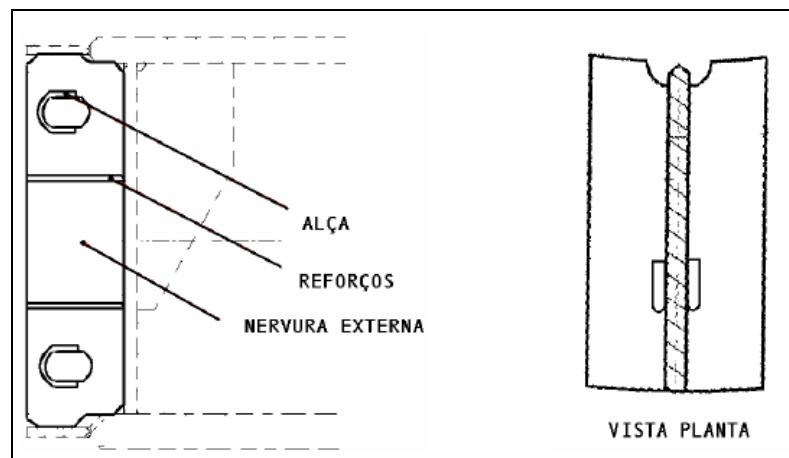


Figura 3.12 – Subconjunto 5 (Central)

- Subconjunto 6 (Fig 3.13)

- Posicionar o subconjunto 4 sobre calços
- Montar o subconjunto 5 no subconjunto 4 e pontear
- Soldar o subconjunto
- Controlar
- Executar E.N.D. nas soldas

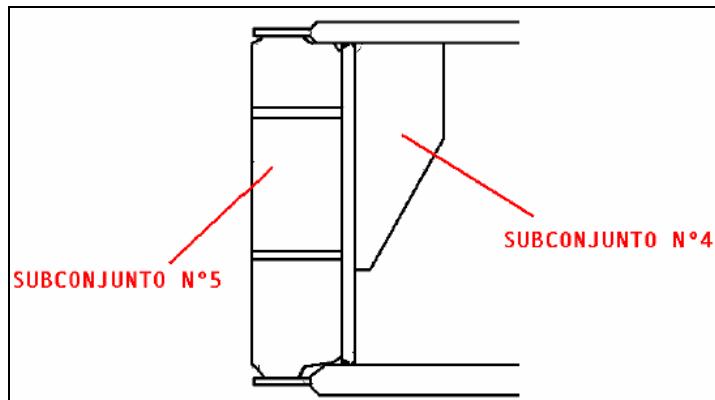


Figura 3.13 – Subconjunto 6 (Central)

- Alívio de tensões
- Controlar
- E.N.D.
- Jateamento e pintura
- Pré usinagem (Fig 3.14)
 - Tirar o mínimo necessário
 - Controlar

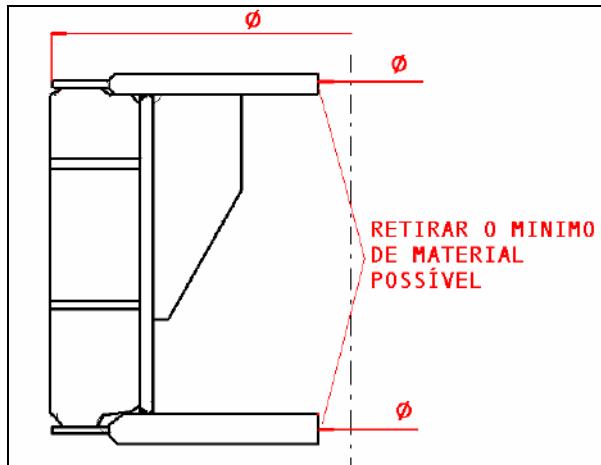


Figura 3.14 – Pré usinagem

Braços (aranha)

- Preparar os segmentos individuais que formarão a base dos braços
- Montar os segmentos e preparar para soldagem
- Controlar
- Soldar
- Controlar
- Executar E.N.D. nas soldas
- Subconjunto 1 (Fig 3.15)
 - Preparar nervuras na posição horizontal sobre calços
 - Montar reforços
 - Soldar reforços
 - Controlar
 - Executar E.N.D. nas soldas

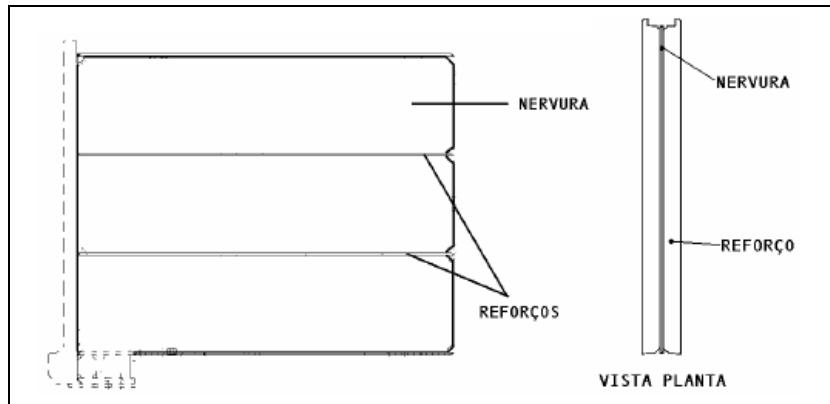


Figura 3.15 – Subconjunto 1 (Braços)

- Subconjunto 2 (Fig 3.16)
 - Preparar segmento inferior sobre calços
 - Montar aba superior e pontear
 - Montar o subconjunto 1 e pontear
 - Soldar subconjunto mantendo um trecho de ~200 mm na extremidade interna inferior somente ponteado, para futuras ajustagens.
 - Controlar
 - Executar E.N.D. nas soldas

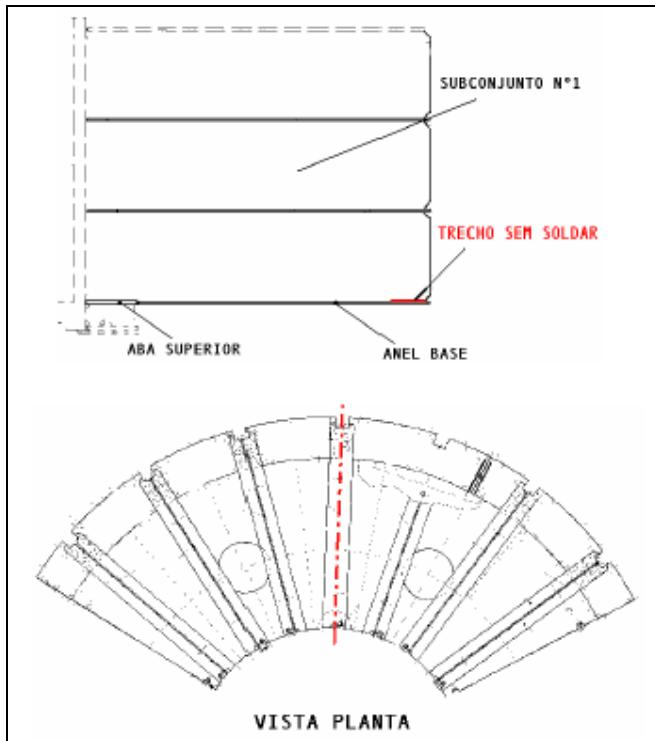


Figura 3.16 – Subconjunto 2 (Braços)

- Subconjunto 3 (Fig 3.17)
 - Preparar subconjunto 2 sobre calços
 - Montar segmento superior
 - Montar vigas
 - Pontear
 - Soldar subconjunto mantendo um trecho de ~200 mm na extremidade interna inferior somente ponteado, para futuras ajustagens.
 - Controlar
 - Executar E.N.D. nas soldas

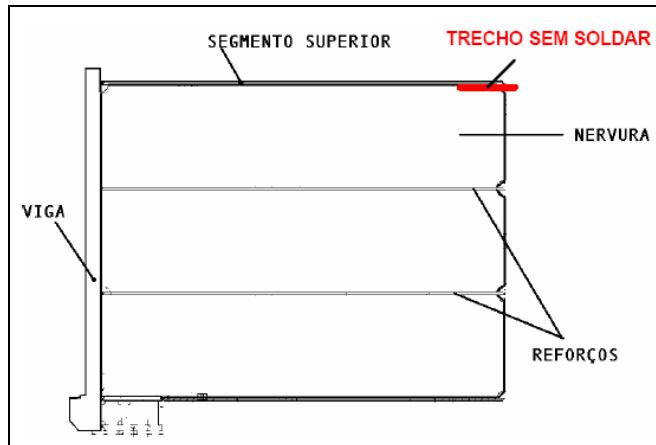


Figura 3.17 – Subconjunto 3 (Braços)

Pista de Freio

- Subconjunto 1 (Fig 3.18)
 - Preparar aba inferior central, aba inferior esquerda e direita sobre calços
 - Montar nervuras
 - Controlar
 - Soldar
 - Controlar
 - Executar E.N.D. nas soldas

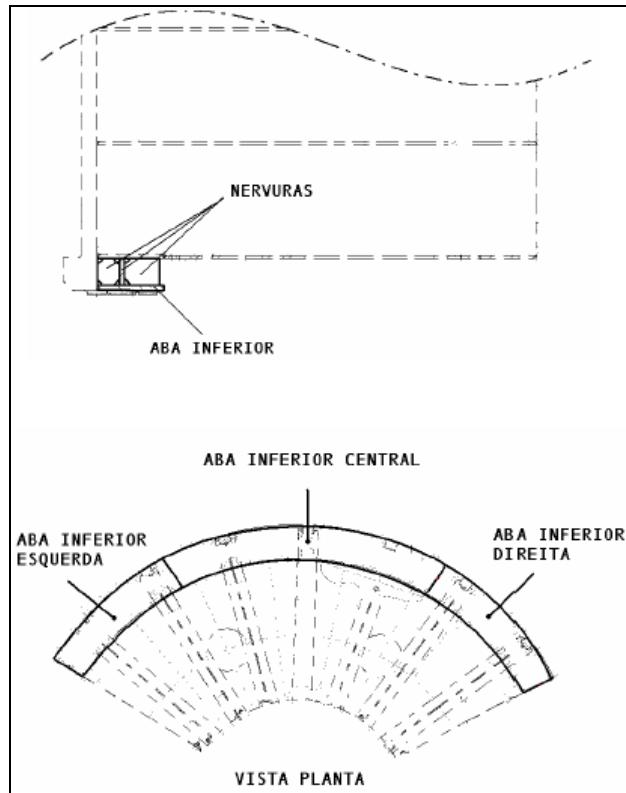


Figura 3.18 – Subconjunto 1 (Freio)

- Braço e pista de freio
 - Prepara braço apoiando o mesmo e nivelando pelo flange superior
 - Montar pista de freio
 - Montar calços
 - Pontear
 - Soldar
 - Controlar
 - Executar E.N.D. nas soldas
- Alívio de tensões
- Controlar
- Executar E.N.D. nas soldas

4 FÁBRICA

A seguir, serão apresentados referenciais teóricos sobre o tema de organização de fábrica, passando pelos aspectos de sistemas de manufatura, processos produtivos e layout industrial.

4.1 Processos de Produção

Segundo Camarotto (2005), classicamente os processos produtivos se dividem em três grupos: os processos contínuos, os repetitivos e os intermitentes. Os quais se distinguem por variáveis como o tipo de ação que se realiza sobre os materiais, o volume e a variedade dos produtos (Fig 4.1).

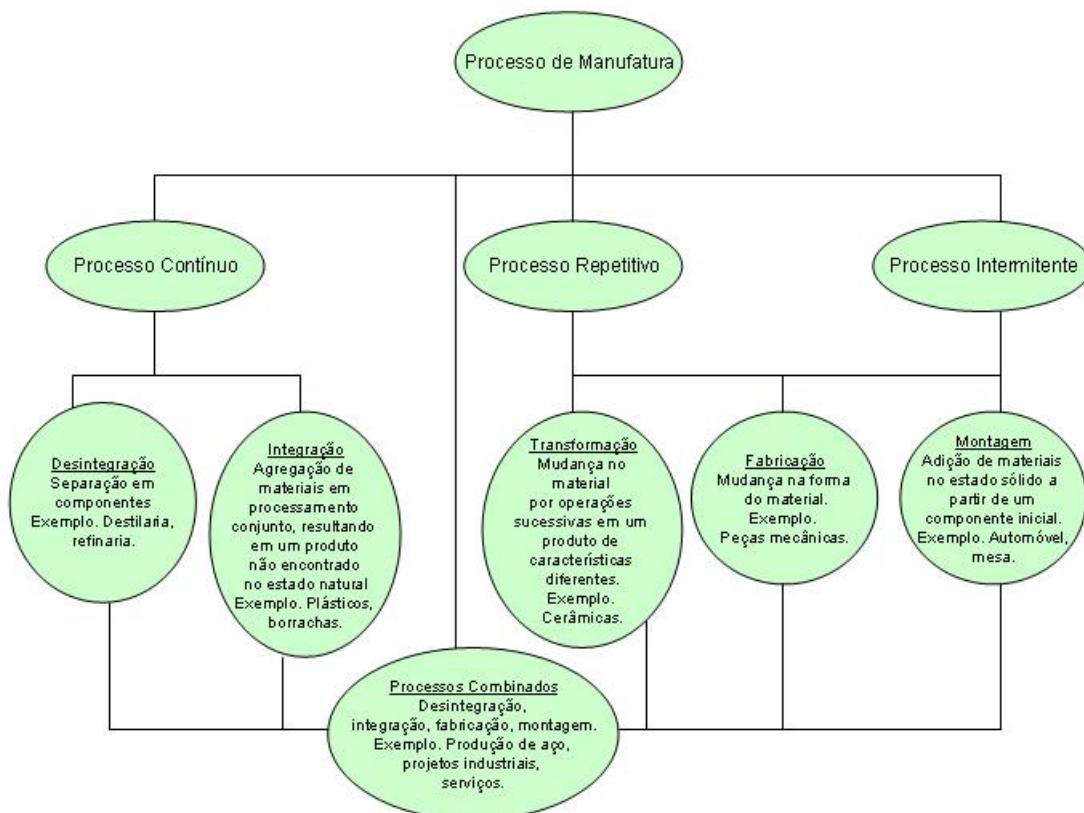


Figura 4.1 – Representação dos Sistemas de manufatura (CRUZ, 2005 apud MOORE, 1962)

Os processos contínuos são característicos de indústrias químicas pela sua peculiaridade de não poder parar, o que o diferencia, e muito, dos outros sistemas. O layout desse tipo de processo é extremamente rígido e com equipamentos dedicados aos produtos (CAMAROTTO, 2005).

Indústrias que operam com produtos em lotes possuem um processamento repetitivo. Nesse caso os produtos são movimentados em quantidades fixas pelo processo. Quando os lotes seguem rigidamente a mesma seqüência de processos em tempos uniformes, o processo assume características de um processo contínuo (CAMAROTTO, 2005).

Indústrias de processamento intermitente operam com um produto ou lotes pequenos sem regularidade, isto é, trabalham sob encomenda e cada produto possui uma especificação diferente da outra (CAMAROTTO, 2005).

4.2 Tipos de layout e processos de produção

Layout industrial, também conhecido como arranjo físico, é definido diferentemente por diversos autores. A figura 4.2 apresenta diversas visões.

Autor (Ano)	Conceito de <i>layout</i>
Slack <i>et al</i> (2002)	"O arranjo físico é decidir onde colocar todas as instalações, máquinas, equipamentos e pessoal da produção. O arranjo físico é uma das características mais evidentes de uma operação produtiva porque determina sua "forma" e aparência."
Camaroto (2005)	" <i>Layout</i> industrial é a representação espacial dos fatores que concorrem para a produção, envolvendo homens, materiais e equipamentos, e as suas interações."
Chiavenato (1991)	"Arranjo físico se refere ao planejamento do espaço físico a ser ocupado e representa a disposição de máquinas e equipamentos necessários à produção dos produtos/serviços de empresa."
Dicerare apud Palomino (2001)	" <i>Layout</i> de manufatura representa a forma como os recursos físicos são distribuídos no chão de fábrica e a sua conexão de um com o outro."

White et al (1984)	"Layout serve para estabelecer uma relação física entre atividades. O layout sofre impacto das variantes produtos, sistemas de manufatura, de distribuição, de gerenciamento e do planejamento dos recursos humanos nas unidades produtivas."
Maynard (1970)	O arranjo físico da fábrica procura a disposição das áreas de operação mais econômica, conservando-se segura e satisfatória para os empregados.

Figura 4.2 – Conceito de layout (adaptado de CRUZ, 2005)

Do mesmo modo que os processos de produção, os tipos de layout são, também, classificados tipicamente em três tipos: posicional, por processo e por produto. Com o passar do tempo foram surgindo novas alternativas para esses sistemas de forma a agregar novas teorias (JIT/KANBAN, Tecnologia de Grupo e Sistemas Flexíveis de Manufatura), como o layout celular (CAMAROTTO, 2005).

4.2.1 Layout Posicional

Segundo Slack et al (2002), o arranjo físico posicional é aquele em que os recursos transformados não se movem e os que transformam se movimentam. Portanto, esse arranjo se torna adequado para serviços muito grandes ou com muita dificuldade de locomoção ou são muito delicados de manusear.

As vantagens deste sistema são:

- O transporte de unidades montadas é reduzido
- Há possibilidade de se fazer freqüentes mudanças nos produtos, nos projetos ou na seqüência de operações
- O arranjo é adaptado à variedade de produtos e à demanda intermitente

- É mais flexível, não requerendo um estudo de arranjo físico altamente organizado ou custoso, planejamento de produção ou provisões contra quebras de continuidade do trabalho

4.2.2 Layout por Processo

Para Slack et al (2002), o arranjo físico por processo é assim chamado, pois é determinado pela necessidade dos recursos transformados. Nesse *layout*, os equipamentos / processos são agrupados por suas similaridades, independentemente do produto processado.

As vantagens desse arranjo são:

- Alta flexibilidade
- Adaptado a demanda intermitente
- Maior incentivo ao trabalhador individual para aumentar seu desempenho

Algumas desvantagens:

- Impossibilidade de se fazer estudos adequados dos tempos e movimentos
- Muitas inspeções são requeridas
- Alta proporção de equipamentos que necessitam de instalações especiais ou supervisão muito técnica
- Necessidades freqüentes de utilização de mesma máquina ou estação de trabalho para duas ou mais operações

4.2.3 Layout por Produto

O arranjo físico por produto, também chamado de arranjo em fluxo ou em linha, visa a distribuição dos recursos produtivos seguindo a melhor conveniência do que está sendo transformado, isto é, a seqüência de atividades requerida para cada produto coincide com o arranjo físico (SLACK et al, 2002), sendo assim esse é um *layout* que permite:

- O manuseio reduzido de materiais
- Quantidades reduzidas de material em processo, permitindo um tempo de produção reduzido (tempo em processo) e menores investimentos em materiais
- Controles mais fáceis da produção e sobre os operários
- Congestionamento reduzido e menos espaço disponível

4.2.4 Layout Celular

Segundo Slack et al (2002), o sistema de layout celular é aquele em que os recursos transformados movimentam-se para células em que suas necessidades imediatas de processamento se encontram, o que não as impedem de seguirem para outras células depois de processadas. As células podem ser arranjadas por processo ou por produto (Fig 4.3).

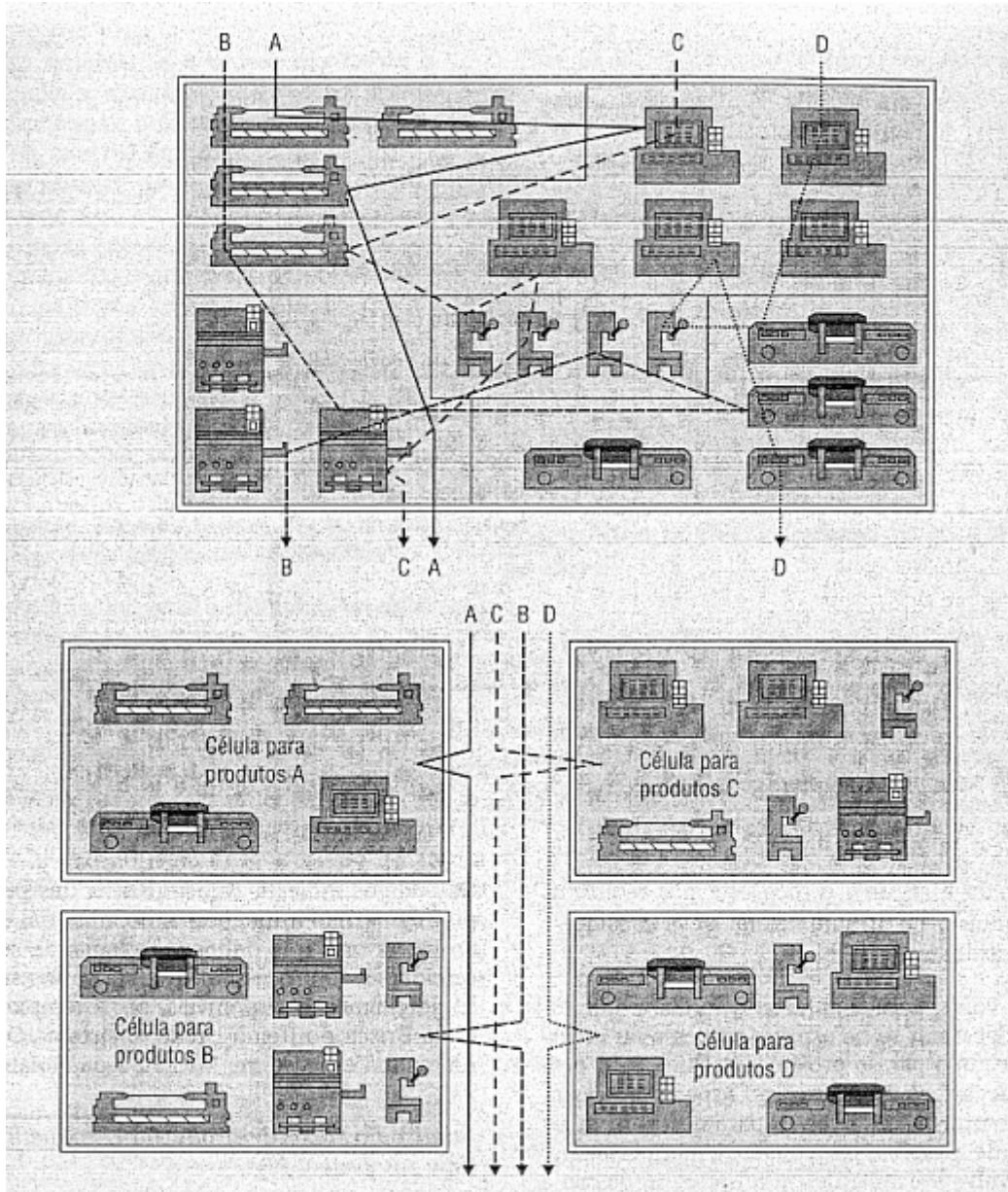


Figura 4.3 – Arranjo físico celular por processos e produtos (SLACK et al, 2002)

O layout em questão é semelhante ao arranjo físico por processo, mas foi criado na tentativa de ordenar seu fluxo. Slack et al (2002) complementam dizendo que as células representam um compromisso entre a flexibilidade do layout por processo e a simplicidade do layout por produto. A figura 4.4 ilustra essa sobreposição citada entre os arranjos.

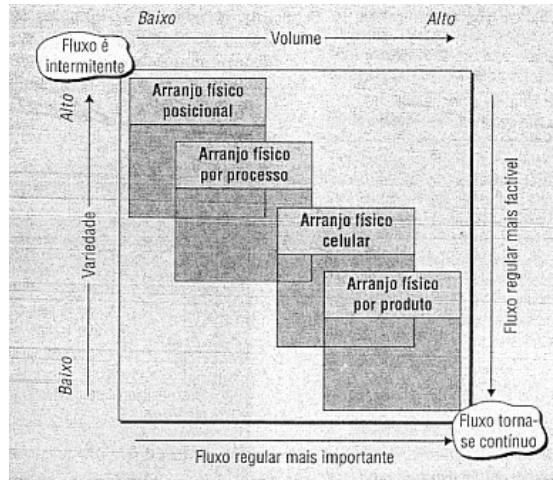


Figura 4.4 – Posição do processo no contínuo volume (SLACK et al, 2002)

De modo a complementar, a tecnologia de grupo foi a ferramenta utilizada para a formação das células de manufatura. Nesse novo método, as características comuns a cada peça são exploradas, agrupando-as em famílias (CAMAROTTO, 2005).

O sistema apresentado mostra diversas vantagens, além de melhorar a qualidade dos produtos, de reduzir a movimentação de materiais, os tempos de fila, lead times, os requisitos de máquinas e ferramentas e o estoque em processo (CRUZ apud LOPES, 2005). O layout celular facilita a programação das cargas-máquinas e o melhor aproveitamento da mão-de-obra, podendo um mesmo operador trabalhar simultaneamente em mais de uma máquina, tornando-se polivalente (CRUZ apud SANTOS JR, 2005).

Cruz (2005 apud VAKHARIA, 1990 apud LOPES, 1998) afirma que há vários outros objetivos relacionados às células de manufatura, como:

- Independência de cada célula de modo que as peças não tenham que passar por outras células
- Flexibilidade da célula em termos de novos processos e alternância de máquinas e células

5 VOITH SIEMENS

5.1 Organização

A unidade produtiva da Voith em São Paulo ocupa uma área de 296.600 m², sendo que a VSPA possui 28.800 m² de área construída (Fig 5.1). Nesta planta estão, além da Voith Siemens (VSPA), outras empresas do grupo Voith, a Voith Paper, a Voith Turbo e a Voith Service e contam com uma grande gama de equipamentos de grande porte de usinagem, fundição, solda, montagem, tratamento térmico, estampagem, todos os outros equipamentos necessários para a fabricação dos elementos mecânicos e elétricos. A capacidade de produção atual é de 450.000 horas/ano (fabricação interna) e 90.000 horas/ano (outsourcing).



Figura 5.1 – VSPA

A produção da empresa pode ser caracterizada, em termos de repetitividade, como sendo intermitente, uma vez que a totalidade de sua produção é feita por encomenda (customizada) e seus produtos são altamente especializados, complexos e largamente técnicos, caracterizando assim uma empresa “Engineer-to-Order”. As características citadas favorecem amplamente o

layout celular apresentado na empresa (Fig 5.2), cujo organograma típico está apresentado na figura 5.3.



- | | |
|--|---|
| Célula de Conjuntos Soldados
Célula de Componentes Fundidos
Célula de Usinagem
Célula de Montagem | Célula de Estamparia
Célula de Pólos
Célula de Barras e Bobinas
Célula de Testes Elétricos |
|--|---|

Figura 5.2 – Arranjo físico celular

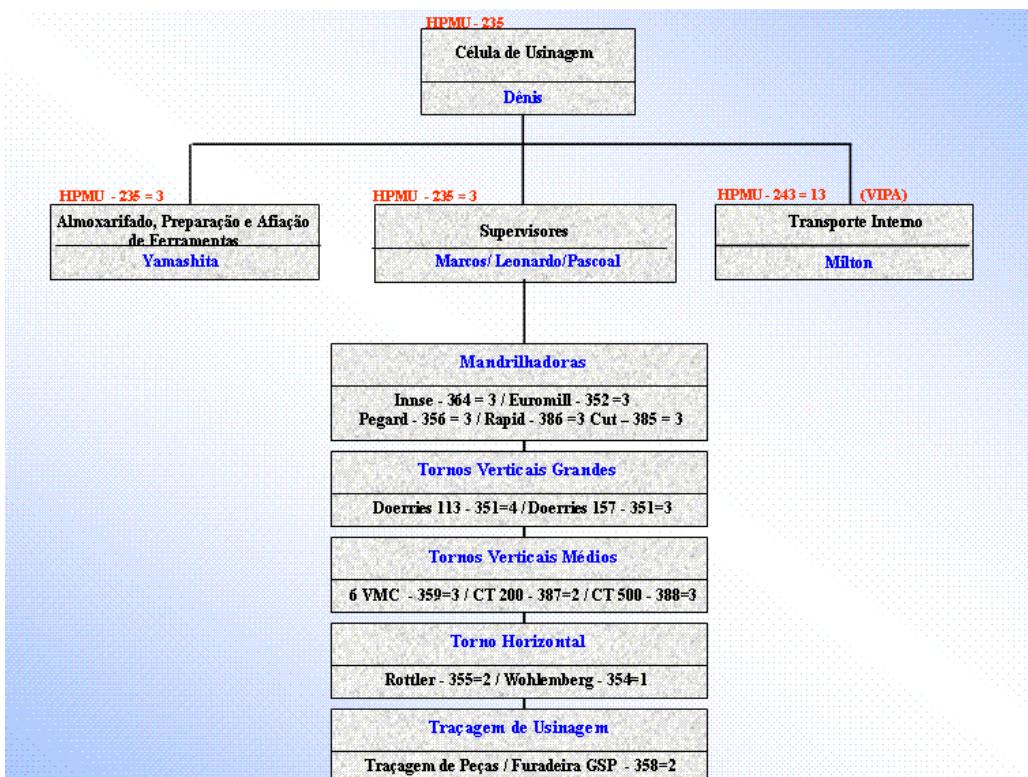


Figura 5.3 – Organograma da célula de usinagem

A seguir, serão descritas as células (células de componentes soldados e usinados) que influenciam diretamente nas peças a serem analisadas, a carcaça e o cubo do gerador.

5.2 Célula de Componentes Soldados

A célula para fabricação de componentes soldados possui a capacidade de produção de 10.000 horas/mês em uma área de 4.196m² e capacidade para movimentação e levantamento de equipamentos de até 300 toneladas.

Os processos de soldagem mais utilizados são:

- Submerged Arc Welding
- Tandem Arc Welding
- Twin Arc Welding
- Electric Slag Welding
- Flux Cored Arc Welding
- Gas Metal Arc Welding

5.3 Célula de Componentes Usinados

A célula de fabricação de componentes usinados tem uma capacidade de produção de 6.500 horas/mês em uma área de 5.759m² e uma capacidade para movimentação e levantamento de equipamentos com até 300 toneladas.

As principais máquinas existentes na VSPA são:

- Mandriladora Horizontal CNC EUROMILL 200



Figura 5.4 – Mandriladora Horizontal CNC EUROMILL 200

Esta máquina poderá ser utilizada na usinagem dos componentes de grande porte como:

- Usinagem dos braços e vigas do cubo do gerador
 - Fresamento e usinagem das furações nos flanges de separação do Aro câmara do rotor
 - Fresamento da junta de separação do Cone Suporte
 - Fresamento da junta de separação da Camisa externa
 - Fresamento e usinagem das furações nas juntas de separação da Carcaça do Estator
 - Usinagem dos bocais do Cubo do Rotor
-
- Mandriladora Horizontal CNC RAPID 6A



Figura 5.5 – Mandriladora Horizontal CNC RAPID 6A

Esta máquina poderá ser utilizada na usinagem dos componentes de médio porte, tais como:

- Fresamento da junta de separação e furação da Câmara do Mancal Combinado
- Fresamento e furação na ogiva
- Mandriladora Horizontal CNC CUT MAX 2



Figura 5.6 – Mandriladora Horizontal CNC CUT MAX 2

Esta máquina poderá ser utilizada na usinagem dos componentes de pequeno porte como:

- Partes internas do rotor (alavancas, bielas e embolo).
- Torno Vertical CNC DOERRIES SDE 800 V16



Figura 5.7 – Torno Vertical CNC DOERRIES SDE 800 V16

Esta máquina poderá ser utilizada no torneamento dos componentes de grande porte como:

- Torneamento dos diâmetros do Cubo do Rotor do Gerador
 - Torneamento dos diâmetros do Aro Câmara do Rotor
 - Torneamento dos diâmetros do flange da Carcaça
 - Torneamento dos diâmetros da Carcaça do Estator
-
- Torno Vertical CNC DOERRIES CTE 500/32



Figura 5.8 – Torno Vertical CNC DOERRIES CTE 500/32

Esta máquina poderá ser utilizada no torneamento dos componentes de médio porte como:

- Torneamento dos diâmetros da Câmara do Mancal Combinado
- Torneamento dos diâmetros do Cubo do Rotor do Gerador
- Torneamento do Cubo do Rotor

- Torno Vertical CNC DOERRIES CT200



Figura 5.9 – Torno Vertical CNC DOERRIES CT200

Esta máquina poderá ser utilizada no Torneamento dos componentes de pequeno porte como:

- Partes internas do rotor (camisa, cilindro, tampa)

5.4 Estrutura de Custos

O layout celular em sua essência procura a independência das células. Na empresa analisada, as células são autogerenciáveis e possuem as seguintes responsabilidades:

- Administração técnica
- Planejamento de investimentos
- Orçamento de pessoal e despesas

- Atuação na gestão dos recursos humanos
- Interface com métodos e tempos
- Interface com o planejamento e controle da produção
- Interface com a programação de máquinas CNC (Robô)
- Interface com a Manutenção Eletro-mecânica
- Rastreabilidade de documentos controlados
- Desenvolvimento tecnológico
- Modernização de equipamentos
- Desenvolvimento de novas tecnologias de consumíveis e equipamentos
- Movimentação e transporte interno inerente à área
- Segurança
- Apoio técnico a terceirização (*Outsourcing*)
- Intercâmbio técnico com fornecedores

As células são, portanto, responsáveis pelo controle e composição de seus custos. Geralmente para esses cálculos são utilizados conceitos de custo da hora standard. Nesse custo entram todos os custos relativos à fabricação e a gestão dos processos, entre eles estão:

- Salários e encargos sociais dos operários
- Treinamentos
- Horas extras
- Ferramentas
- Transporte
- Insumos da fabricação
- Limpeza
- Descanso remunerado na semana

- Manutenção
- Luz
- Depreciação das máquinas
- Custos do setor de suprimentos
- Custos do setor de gerenciamento de projetos
- Custos da diretoria
- Custos do setor de engenharia

Esses custos anuais divididos pelas horas que um dado equipamento pode executar em um ano, resulta no custo de hora standard do equipamento.

Pela própria maneira que o custo descrito é formado, o custo de fabricação, não é propriamente o custo da fabricação de uma dada peça, já que são adicionados valores referentes à parte administrativa da empresa, os chamados rateios. Essas adições são efetuadas mesmo que a peça venha por um processo de intercompany¹. Um exemplo disso é a célula de caldeiraria, em que os rateios chegam a representar 35,5% do custo da hora standard (Fig 5.10).

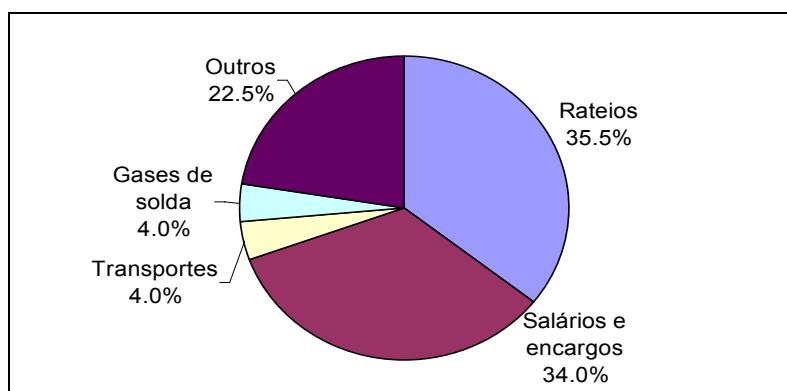


Figura 5.10 – Composição da hora standard da Caldeiraria

¹ Processo de Intercompany: são processos pelos quais as outras unidades da Voith Siemens requisitam a fabricação de alguma peça na VSPA, isto é, somente a fabricação esta envolvida, o projeto já vem pronto.

5.5 Outsourcing

O setor de outsourcing da Voith Siemens (hpo) é responsável por fazer cotações comparativas entre mercado e a casa e por monitorar os fornecedores quando um pedido estiver sendo feito fora.

Este setor tem o seguinte funcionamento: a fábrica (hpp), quando acha necessário, faz uma requisição de cotação para hpo. Em seguida, o hpo seleciona alguns fornecedores (4 ou 5), devendo todos serem fornecedores homologados pela empresa e que tenham a capacidade para executar sozinhos os procedimentos (elaborados e seguidos dentro da fábrica da VSPA) necessários, e faz as solicitações. Feito isso, dependendo da peça, uma reunião para solucionar as dúvidas é feita.

Ao chegar as cotações, o preço dos fornecedores é comparado com o custo da VSPA (Custo x Preço). Se o preço do fornecedor for mais baixo que o custo da VSPA e do Budget I², ele fará a peça.

Durante a fabricação das peças o fornecedor recebe freqüentemente técnicos e engenheiros da qualidade da VSPA, de forma a verificar se os procedimentos estão sendo seguidos e para efetuar testes de qualidade. As peças finalizadas vêm, então, para a VSPA e a fase de testes é completada.

² Budget I: é o custo estimado na fase da proposta para a licitação da peça em questão, isto é, o custo considerado na venda.

6 MANUFATURA ENXUTA OU “LEAN MANUFACTURING”

6.1 Introdução

A mentalidade enxuta teve as suas origens no Sistema de Produção Toyota, sendo o seu mentor o executivo Taiichi Ohno, que era o maior crítico do desperdício (*muda*³) que a humanidade já conheceu. Este modo de encarar as coisas tem como objetivo eliminar qualquer atividade humana que absorva recursos e não crie valor, como correções, acúmulo de mercadorias, movimentação desnecessária de pessoas, materiais e informações, esperas, produção de itens que não atendam a necessidade do cliente, etc (WOMACK, J., JONES, D., 1998).

Tendo em vista o *muda* como pior inimigo da mentalidade enxuta, a produção baseada neste modo de pensar, possui uma definição bem simples: fazer cada vez mais com cada vez menos (WOMACK, J., JONES, D., 1998).

Para a implementação com sucesso, de acordo com Womack e Jones (1998), das diversas técnicas englobadas por esse tipo de produção, alguns passos devem ser seguidos:

1. Especificar o valor
2. Identificar a cadeia de valor
3. Eliminar o *muda*
4. Criar um fluxo

³ *Muda*: palavra japonesa que significa desperdício.

6.2 Valor

O valor só pode ser determinado pelo cliente final e só tem significado quando expresso em termos de um produto específico que atenda às necessidades do cliente a um preço correto e em um momento específico. Entretanto, quem cria o valor são os produtores e aí está a grande dificuldade. Os produtores se preocupam com os processos, como foram feitos e desenvolvidos os produtos e é justamente nisso que o cliente final não está interessado. Esse problema é muito difícil de se resolver, uma vez que os produtores só querem produzir o que já produzem e os consumidores só pedem variações do que já existe e estão recebendo, caindo geralmente em sugestões do tipo: menores preços, maior variedade e entrega imediata (WOMACK, J., JONES, D., 1998).

Outra dificuldade identificada por Womack e Jones (1998), agora fora da interface com o cliente, é que cada parte da empresa pensa isoladamente do todo, isto é, cada setor define o valor de acordo com as próprias necessidades, o que nem sempre acaba reunindo as melhores definições, não obtendo assim o melhor resultado global. O valor deve ser obtido com uma visão geral da empresa, concretizando assim o primeiro passo para a conquista de um dos prêmios do pensamento enxuto, o *kaikaku*⁴.

Uma vez determinado o valor da cadeia produtiva e, consequentemente, os mudas identificados, passa-se a determinação do custo alvo. Este corresponde aos gastos da produção após os desperdícios terem sido totalmente eliminados e o valor começar a fluir. Esse custo certamente ficará bem abaixo dos praticados pelos concorrentes, dando a empresa enxuta algumas opções (WOMACK, J., JONES, D., 1998):

1. Reduzir os preços
2. Acrescentar recursos ou capacidade ao produto

⁴ Kaikaku: palavra japonesa que significa “melhora radical”.

3. Acrescentar serviços (criar valor)
4. Expandir a rede de distribuição e serviços
5. Investir os lucros em novos produtos

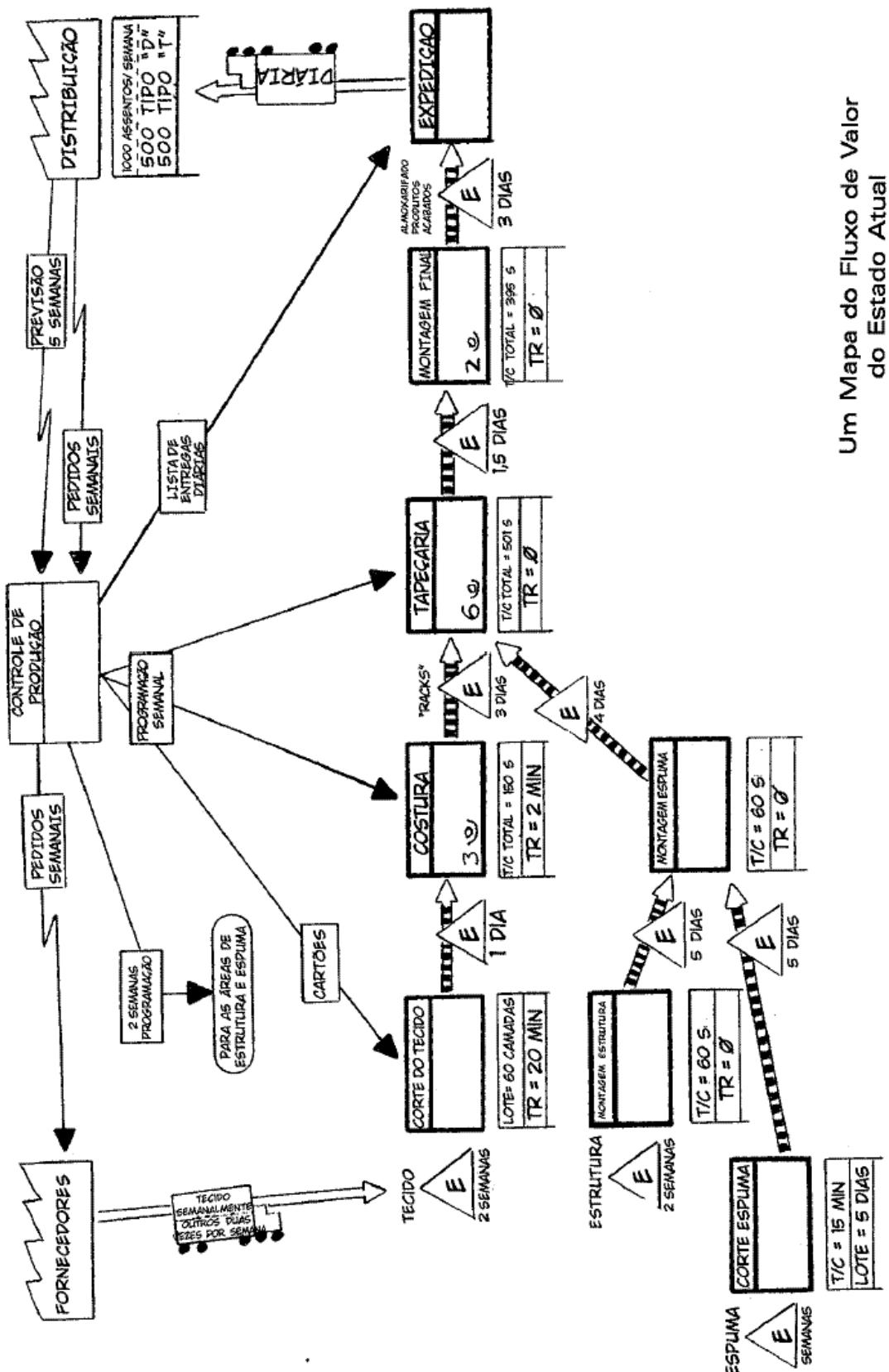
6.3 Cadeia de Valor

A cadeia de valor é o conjunto das atividades necessárias para levar um produto específico pelas três principais atividades: a tarefa de solucionar o problema, a de gerenciar a informação e a da transformação física do produto (WOMACK, J., JONES, D., 1998).

A análise da cadeia de valor geralmente mostra a ocorrência de três tipos de atividades (WOMACK, J., JONES, D., 1998):

1. Atividades que criam valor
2. Atividades que não criam valor, mas são inevitáveis (muda do tipo um)
3. Atividades que não criam valor e devem ser eliminadas (muda do tipo dois)

Womack e Jones (1998) afirmam que a melhor maneira de se fazer uma análise da cadeia, identificar o muda e eliminá-lo, é criar um mapa dos processos do estado atual que compõem a cadeia de valor inteira, da matéria-prima ao consumidor (Fig. 6.1) e tentar criar também um possível estado futuro para o processo (Fig. 6.2).



Um Mapa do Fluxo de Valor
do Estado Atual

Figura 6.1 – Mapa da cadeia de valor (estado presente) (ROTHER, M., SHOOK, M.,

1999)

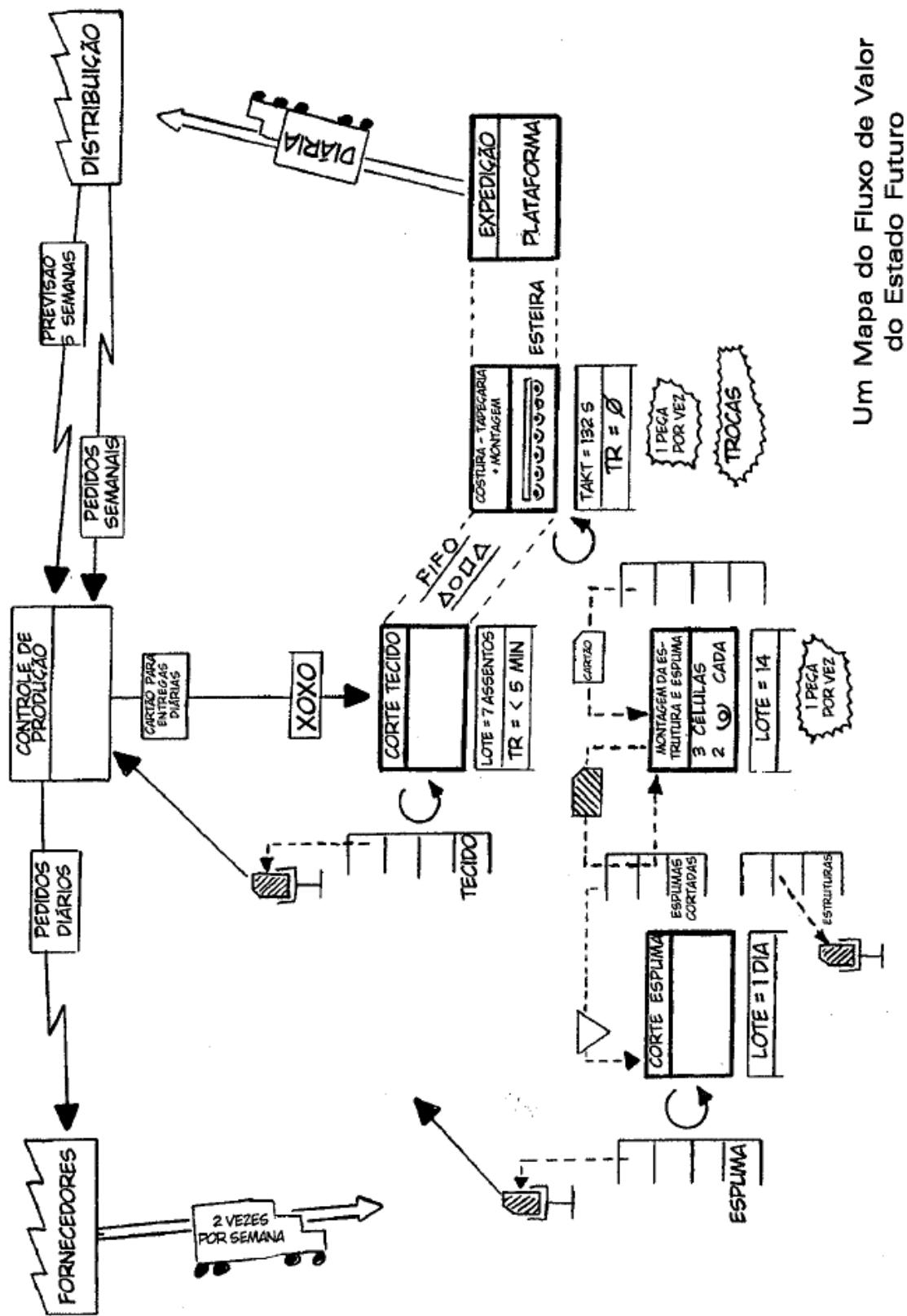


Figura 6.2 – Mapa da cadeia de valor (estado futuro) (ROOTHER, M., SHOOK, M., 1999)

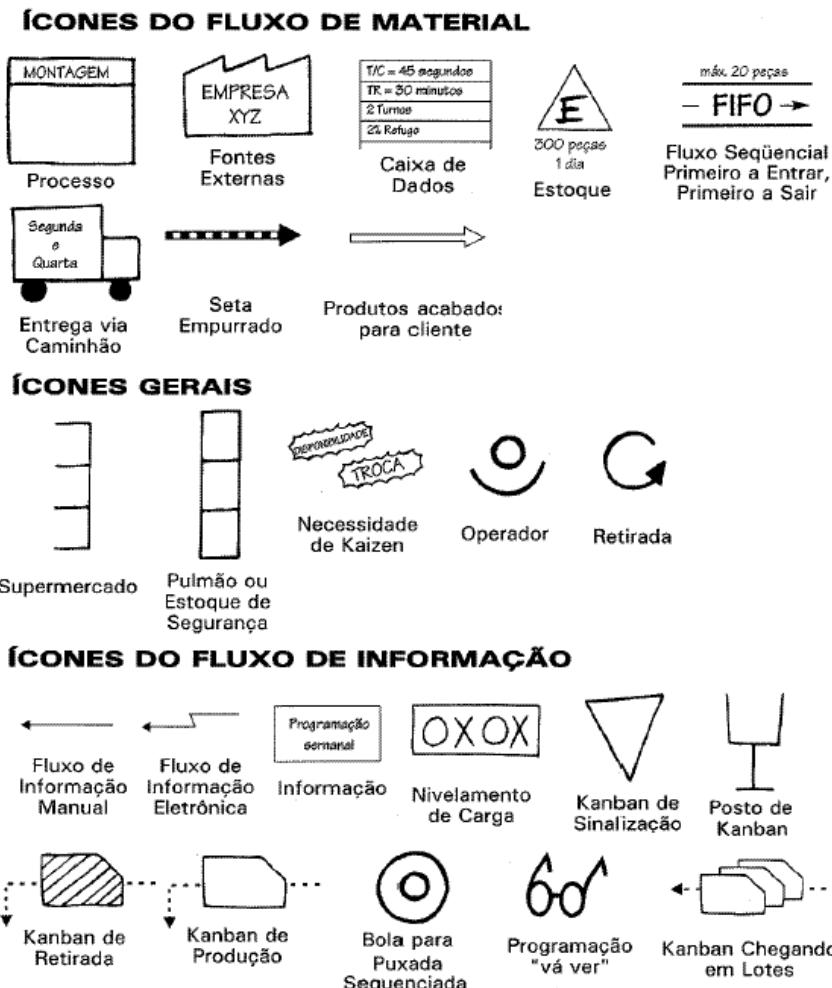


Figura 6.3 – Simbologia das figuras 1 e 2 (ROTHER, M., SHOOK, M., 1999)

Os resultados das práticas do pensamento enxuto dão tão certo que seus adeptos consideram o *benchmarking*⁵ uma perda de tempo, pois aqueles que o fazem e descobrem que são melhores acabam por relaxar, deixando assim de lado o *kaizen*⁶. Enquanto que os adeptos da produção em massa ao descobrirem sua inferioridade teriam dificuldade de entender o porquê, pois acabam se prendendo em diferenças fáceis de medir ou impossíveis de considerar nos custos. Portanto, cabe aqui a dica de esquecer os concorrentes e buscar a perfeição (*poka-yoke*⁷) (WOMACK, J., JONES, D., 1998).

⁵ Benchmarking: palavra que caracteriza a comparação da empresa em questão com outras.

⁶ Kaizen: palavra japonesa que significa “melhoria incremental contínua”.

⁷ Poka-Yoke: palavra japonesa que significa “à prova de erros”.

6.4 Fluxo

Uma vez determinado o valor, a cadeia do produto completamente identificada e os processos desnecessários eliminados, o próximo passo a ser dado é fazer com que as etapas restantes fluam livremente. Esse passo é de extrema importância ao mesmo tempo difícil, uma vez que se tende a pensar em termos de “funções” e “departamentos”, o que nos leva a gerar produtos em lotes, pois é como se acredita ser a forma mais eficiente de se produzir, uma questão de “bom senso”. E esse pensamento que deve ser combatido se se deseja implementar uma produção enxuta (WOMACK, J., JONES, D., 1998).

Henry Ford foi o percussor desse pensamento fazendo com que a produção do Ford T em 1913 fluísse, conseguindo assim uma estonteante redução de 90% do tempo necessário para levar a matéria-prima ao produto final (WOMACK, J., JONES, D., 1998).

Agora, em termos práticos, para fazer com que o valor flua, Womack e Jones (1998) propõem as seguintes ações:

1. Focalizar o objeto real, por exemplo, um projeto, um produto, um pedido, etc...
2. Ignorar as fronteiras tradicionais de tarefas, profissões, funções (departamentos) e empresas
3. Repensar as práticas e ferramentas de trabalho de forma a eliminar os retrofluxos, sucata e paralisações

As ações supracitadas são as básicas e devem ser feitas simultaneamente, porém existem duas outras técnicas adicionais que são muito úteis na hora de fazer as atividades fluírem, o conceito de tempo takt e o Just-in-Time (JIT) (WOMACK, J., JONES, D., 1998).

O conceito de tempo takt é responsável por sincronizar as velocidades da produção e a velocidade de vendas. O tempo takt representa o intervalo de tempo entre um pedido e outro,

por exemplo, se uma fábrica de bicicletas vende 48 unidades por dia e a empresa trabalha em um turno de 8 horas, então o tempo takt dessa companhia deverá ser de 10 minutos (WOMACK, J., JONES, D., 1998).

O JIT foi visto pela primeira vez na Toyota, na década de 50, imaginada por Taiichi Ohno com o objetivo de eliminar as imprecisões de estoque que estava tendo. Essa técnica consiste basicamente em sincronizar o recebimento da matéria-prima com a produção de modo a eliminar o estoque desnecessário (WOMACK, J., JONES, D., 1998).

Entretanto, esta inovação não pode ser aplicada com sucessos se alguns cuidados não forem tomados. Um exemplo de prática que acaba por impedir o sucesso da técnica é a programação nivelada (*heijunka*) para amenizar as perturbações da demanda, pois estas gerarão rapidamente gargalos nas operações iniciais e concomitantemente, estoques intermediários de segurança serão introduzidos (WOMACK, J., JONES, D., 1998).

Além destas restrições de uso, existem também requisitos qualificadores de sucesso. Um deles é um baixo tempo de preparação (*setup*) das máquinas o que geralmente significa máquinas mais simples e menos automatizadas, indo de encontro ao que geralmente os gerentes acreditam. Outro ponto seria que as máquinas e operários devem ser sempre “capazes”, isto é, precisam estar sempre disponíveis para operar em perfeitas condições e fabricar peças perfeitas. Isso quer dizer que a equipe de produção deve ter múltiplas habilidades, que as máquinas devem estar 100% do tempo aptas para operar (manutenção preventiva) e que as máquinas e funcionários devem ser capazes de monitorar seu próprio trabalho de forma a não passar peças defeituosas para a próxima etapa (*poka-yoke*) (WOMACK, J., JONES, D., 1998).

Outra atividade, citada por Womack e Jones (1998), que ajuda na criação do fluxo é aumentar a integração entre vendas e produção, o que ajuda a prevenir contra um dos grandes

males dos sistemas tradicionais de vendas por bonificações, uma vez que esta prática costuma gerar grandes deformações na produção e em vendas gerando muda.

Uma outra prática comum que acaba gerando muda são os sistemas contábeis tradicionais baseados em “custo padrão”, que adotam, como medida de desempenho, a utilização de máquinas e funcionários. Portanto, os gerentes acreditam que devem manter a fábrica operante em 100% do tempo e acabam trabalhando desnecessariamente, gerando assim grandes desperdícios (WOMACK, J., JONES, D., 1998).

6.5 Produção Puxada

O primeiro efeito visível da produção em fluxo é a diminuição drástica nos tempos necessários para ir da concepção ao cliente. De acordo com Womack e Jones (1998), se não se conseguir uma redução de tempo de 50 % no desenvolvimento de produtos, 75 % no processamento de pedidos e 90 % na produção física, alguma coisa de errado está acontecendo.

A vantagem que se obtém imediatamente dessa diminuição é o aumento do fluxo de caixa provocado pela redução dos estoques, uma vez que a empresa enxuta tem a capacidade de absorver quaisquer variações na demanda que venham a ocorrer. E essas variações são e devem ser causadas pelo cliente que tem o papel de “puxar” a produção, independentemente se o cliente é o elemento final da linha ou somente um processo posterior e esse é o princípio da produção puxada (Fig. 6.4) (WOMACK, J., JONES, D., 1998).

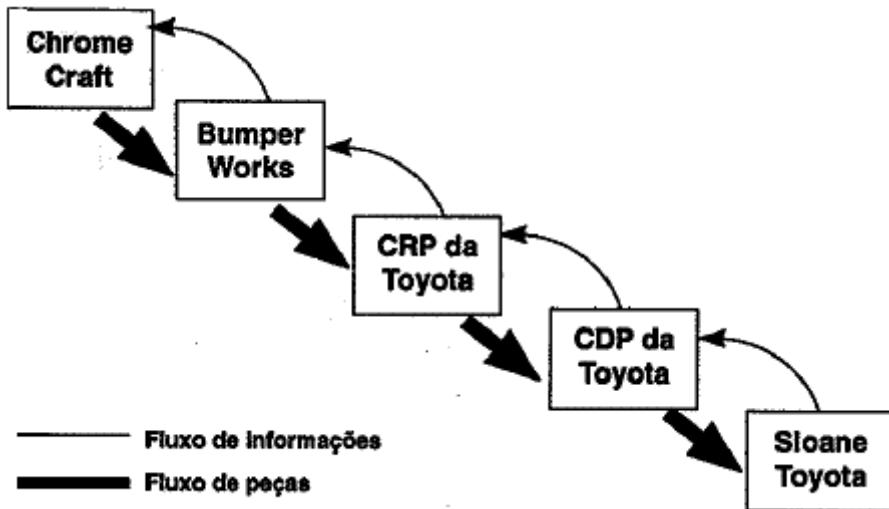


Figura 6.4 – Fluxo de informações e peças (WOMACK, J., JONES, D., 1998)

Nesta outra técnica do Sistema Toyota de Produção, os estoques são mais uma vez atacados. Existem diversas razões para a formação de estoques, duas chamam a atenção: a falta de envolvimento dos fornecedores que não conseguem lidar com pequenos lotes e pedidos freqüentes, e a falta de nivelamento das vendas, pois estas geram muda através de estoques de peças acabadas, com o objetivo de nunca deixar o cliente insatisfeito (WOMACK, J., JONES, D., 1998).

A produção puxada, em conjunto com as outras técnicas já citadas, possibilita a redução dos estoques através de pedidos mais freqüentes puxados pelo cliente final, melhorando assim a qualidade dos produtos, aumentando a agilidade de atendimento, diminuindo a quantidade de mercadorias em trânsito e consequentemente, liberando espaço de armazenamento e capital para investimentos (WOMACK, J., JONES, D., 1998).

Para finalizar, é importante lembrar que até este momento não foram feitos praticamente investimentos em equipamento, uma vez que as modificações nas ferramentas de trabalho foram feitas como parte do processo de *kaizen* dos operários (WOMACK, J., JONES, D., 1998).

6.6 Perfeição

A perfeição, também lembrada na publicação de Womack e Jones (1998), é outro conceito muito importante para qualquer empresa enxuta e mais uma vez a melhoria contínua radical e incremental são elementos essenciais para o sucesso, isto porque o conceito de perfeição é parecido com o conceito do infinito, sempre se pode chegar mais perto, porém nunca até o fim. Para a implementação do *kaikaku* e do *kaizen* duas visões são necessárias: a primeira, a visão do que seria a perfeição e para isso são necessárias as outras técnicas já citas: especificação do valor, identificação da cadeia de valor, fluxo e produção puxada; A segunda é útil para resolver que formas de muda serão atacadas.

Nesta etapa ainda não há motivos para preocupação com investimentos, uma vez que investir quantidades significativas de capital na melhoria de determinadas atividades normalmente não é a forma correta de se buscar a perfeição. Além disso, a maioria das cadeias de valor podem ser drasticamente melhoradas somente utilizando os mecanismos de análise corretos (WOMACK, J., JONES, D., 1998).

Para Womack e Jones (1998), durante a implementação desta etapa, definir um cronograma ousado é muito importante e é a diferença entre muitas empresas que fizeram muito e outras que quase nada fizeram. Outra atividade importante nesta fase é verificar os recursos disponíveis, de forma a restringir a um número restrito de atividades a serem desenvolvidas por vez e a envolver todos os que serão afetados por elas. Uma maneira muito utilizada de se fazer isto é através de uma matriz do desdobramento da política (Fig. 6.5).



Figura 6.5 – Matriz do desdobramento da política (WOMACK, J., JONES, D., 1998)

Um grande problema enfrentado durante a implementação é a resistência das pessoas a essa nova maneira de encarar as atividades, portanto para esta tarefa, geralmente, é necessário que alguém de fora (agente de mudança) seja responsável pela implementação, já que este agente rapidamente se torna o tirano da história. Entretanto, existem diferentes tipos de tiranos, os tiranos que conseguem criar sistemas enxutos e que, a longo prazo, são compreendidos, pois os participantes vêem os benefícios que as idéias oferecem; e o outro grupo, que fracassa e acaba sendo muito mal falado e muito criticado, podendo ser vítima até de sabotagem ativa (WOMACK, J., JONES, D., 1998).

6.7 Lean na Voith Siemens

Primeiramente, a idéia de se implementar o sistema Lean de produção veio, mais do que da iniciativa do novo diretor presidente Osvaldo San Martin, mas da necessidade de se adaptar às novas exigências do mercado, ou nas palavras do próprio diretor: “As pressões que a nossa empresa vem sentindo por prazos e custos menores nunca têm sido tão grande quanto nos dias

de hoje. Com a intensa competição que existe no ambiente atual de negócios, o direcionador chave das empresas bem sucedidas é a habilidade de fornecer os seus produtos aos seus clientes de forma rápida e a custos competitivos. Conseqüentemente, a única alternativa que temos é nos reinventarmos através da implementação de uma nova forma de produzir os nossos produtos, permitindo que estes cheguem até nossos clientes de forma organizada (através do fluxo), a preços atraentes, e mais rápido do que os nossos concorrentes.“

Após a necessidade do uso da ferramenta ser identificada, a próxima etapa é a de implementação, para isso, o “Lean Institute” foi contratado para treinar pessoas chave da empresa para iniciar o processo. A metodologia ensinada por essa empresa é a mesma descrita no livro “A Mentalidade Enxuta nas Empresas” de Womack e Jones. No curso, que é ministrado por consultores que dão palestras sobre a teoria e, em seguida, abordam um caso prático do cliente, sendo que no caso da VS, os produtos abordados foram os Rotores Francis e as Barras Estatóricas. É importante ressaltar que em teoria, seria mais interessante começar a implementação pelo final da cadeia, isto é, pelo cliente, assim como o fluxo puxado. Mas isso seria muito complicado, portanto geralmente se começa a implementação pela fábrica, sendo mais específico, pela expedição, e depois expandindo o programa para a obra e escritórios.



Figura 6.6 – Ferramentas do sistema Toyota de produção (VOITH SIEMENS, 2006)

Para que a implementação do Lean Manufacturing tenha sucesso, não basta imitar tudo o que a Toyota faz no Japão e aplicar todas as suas ferramentas (Fig. 6.6) indiscriminadamente, é preciso adaptar a metodologia à cultura da empresa. Em seu livro, Womack e Jones (1998), já alerta que diversas empresas a tentaram implementar sem passar por essa etapa e falharam. Portanto, a VS tendo isso em vista e por se tratar de uma empresa alemã, o que em termos de cultura difere e muito da cultura japonesa, não se focou muito em como as atividades são feitas no Japão, mas sim, no conceito de cada ferramenta.

Neste processo de adaptação, algumas ferramentas foram priorizadas, tendo em vista as principais características da empresa:

- *Kaizen* – esta ferramenta já é conhecida da empresa a diversos anos, uma vez que a certificação ISO 9001 exige;
- Princípio de Setup rápido – esta ferramenta possibilita o *Heijunka* e o Sistema puxado, já que hoje em dia, em alguns casos, o tempo de preparação de uma máquina, devido as grandes proporções dos produtos fabricados, pode chegar a 6 horas o que impossibilita o fluxo dos processos.

A metodologia de implementação da manufatura enxuta é basicamente a mesma para qualquer empresa. O fluxograma da figura 6.7 ilustra as fases deste processo. Os processos indicados nesta figura já foram explanados anteriormente neste trabalho, com exceção da determinação das famílias, da Folha A3 e do balanceamento / nivelamento que foram rapidamente citados.

A determinação das famílias nada mais é do que dividir as peças produzidas pela fábrica, em grupos de produtos que passam por processos semelhantes, apresentando assim fluxos similares devendo portanto ser tratados em conjunto.

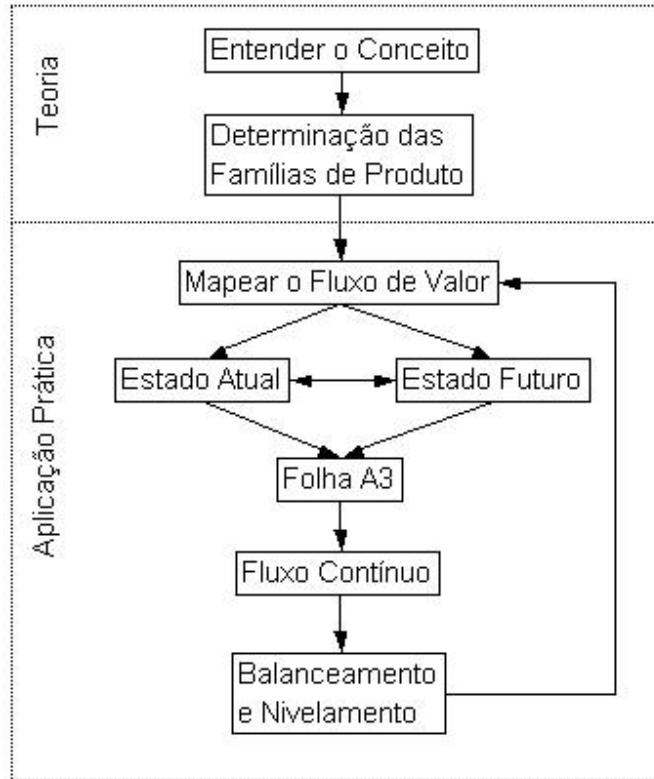


Figura 6.7 – Fluxograma de implementação da manufatura enxuta (FARIA, 2006)

A Folha A3 trata de uma folha no formato A3, dividida em quadrantes, devendo esta conter as seguintes informações a respeito do processo: as metas a serem atingidas, o estado atual, o estado futuro e como atingir esses resultados apresentando os responsáveis por cada atividade. Como se pode observar na figura 6.8, as metas para essa primeira etapa de implementação são bem agressivas, assim como sugerido pela teoria:

- Redução do lead time em mais de 40%
- Redução dos estoques
- Aumento da produtividade em mais de 35%
- Redução dos custos em mais de 30%
- 0% de retrabalho
- Redução do WIP (*Work In Progress* – Peças que já foram trabalhadas, mas ainda não foram concluídas)

A3 – REPORT - 21/Mar/2006 – V06

Voith Siemens : Rotores

Aprovações		
Líder Projeto	Gerência	Diretoria
Arthur Leotta	Francisco Ribeiro	Sr. Osvaldo
<p>3) Condição Ativo</p> <ul style="list-style-type: none"> -Implementação de fluxos continuos nos Loops s -Definir fundição como ponto de programação (HEIJUNKA BOX) -Redefinir Lay-out nos loop's -Dimensionar "FIOS" (incluindo fundição) -Sistema de produção “PUXADO” -Implementar treinamento para multifuncionalidade de funcionários -Desenvolvimento de dispositivos e ferramentas p/ usinagem -Estudo de melhoria de processo -Padronização de equipamentos e processos -Adequação da Gestão Visual -Mudança de cultura nas operações - de horas trabalho para lead time 		
<p>1) Objetivo do Negócio</p> <p>Demand = 5 Rotores Francis / ano 9 Rotores Pelton / ano 270 Pás Francis / ano 27 Pás Kaplan / ano</p> <p>Metas :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Redução do lead time de > 40% nas atividades VSPA+VPP -Reduzir estoques entre operações -Aumento de produtividade > 35% -Redução nos custos > 30% -Índices de retrabalho =0% -Criar fluxo contínuo de materiais -Proteção ao meio ambiente -Redução do WIP > 40% 		
<p>2) Condição Inicial</p> <ul style="list-style-type: none"> -Existência de estoques entre processos -Espera de disponibilidade de máquinas -Não existe fluxo contínuo de materiais -Excesso de transporte de materiais -Fluxo de informação não integrado -Sistema de produção “EMPURRADO” 		
<p>3) Implementação Vida Anexo</p> <p>4) Indicadores / Follow up</p> <ul style="list-style-type: none"> -Reuniões Semanais como grupo de implantação -Quadros de acompanhamento visual 		

Figura 6.8 – Folha A3 (VOITH SIEMENS, 2006)

O Nivelamento / Balanceamento é de extrema importância quando se quer criar um fluxo na produção. Sem fazer esse trabalho (Fig. 6.9), gargalos e estoques são formados com muita facilidade. Entretanto, quando isto é bem feito (Fig. 6.10), todas as atividades são feitas na mesma velocidade, orientadas pelo takt time (ditado pela obra), não necessitando assim de estoques intermediários e o sistema puxado funciona. Para essa atividade as ferramentas de setup rápido e o trabalho padrão⁸ são muito importantes.

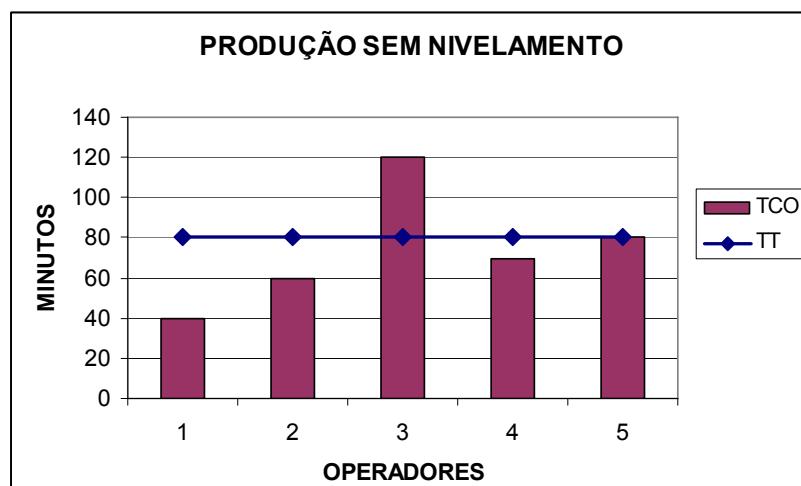


Figura 6.9 – Produção não nivelada

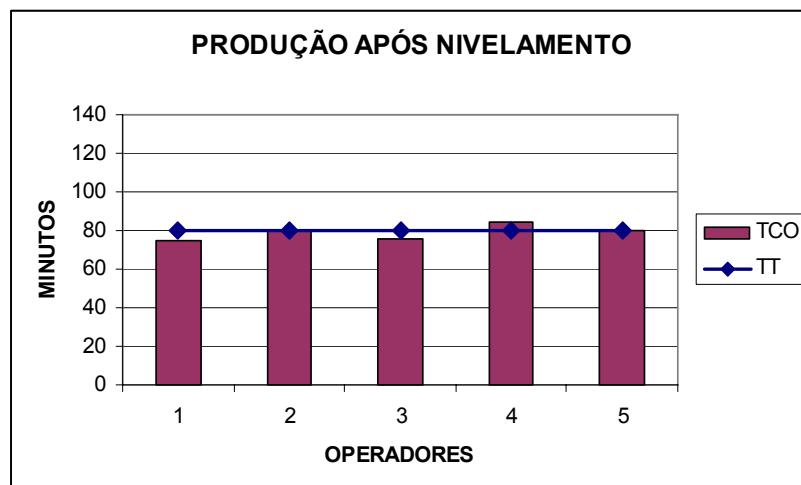


Figura 6.10 – Produção nivelada

⁸ Trabalho padrão: Seqüência pré-determinada de tarefas a serem completadas pelo operador dentro do tempo takt.

7 CONCLUSÃO

Na primeira etapa deste trabalho, a análise teve como objetivo entender o funcionamento da empresa analisada e identificar eventuais problemas a serem explorados na segunda etapa deste trabalho.

Inicialmente achou-se que o problema seria de fabricação propriamente dita, mas essa hipótese foi rapidamente descartada, uma vez que todos os fornecedores devem seguir os procedimentos desenvolvidos pela Voith Siemens.

Em seguida, a hipótese adotada foi de que os operários seriam muitos e muito especializados. Essa idéia foi, também, descartada pois como mostra a figura 5.3, o organograma da fábrica já está bastante enxuto (menos do que um operário por máquina para cada turno) e por requisito de se tratar de uma organização do tipo celular, os operários devem ser experientes e especializados, como o são, para poderem ser polivalentes e conseguirem lidar com a constante mudança nos produtos.

A terceira suposição, que permaneceu e que parece ser plausível e também a mais complicada de ser resolvida, é a de que os valores dos rateios estão muito altos, o que pode ser justificado pelos diversos níveis hierárquicos existentes na empresa, aproximadamente 8. Segundo Main (1994), tamanho número de níveis contraria completamente a idéia de empresa enxuta, desenvolvida pelas teorias atuais da qualidade e as tendências das grandes empresas modernas, que possuem somente de 3 a 4 níveis hierárquicos. Entretanto, de acordo com Veloso (2002), o macro-processo empresarial de produção corresponde, nas empresas manufatureiras, a cerca de 60 a 70% dos custos incorridos neste processo e, com essa informação em mãos, poder-se-ia dizer que os rateios (Fig. 5.10) da Voith Siemens não

seriam a causa do problema levantado. Contudo, este autor sugeriria um estudo mais aprofundado deste assunto em um futuro trabalho.

Um outro aspecto analisado neste trabalho foi o programa de implementação da mentalidade enxuta na empresa, que visa tornar os preços praticados abaixo daqueles exercidos no mercado. Como já foi dito anteriormente, se esse programa for inteiramente aplicado a toda a empresa e a todos os produtos, certamente os custos serão bem menores que os dos concorrentes, trazendo assim a superioridade tanto em qualidade (um dos valores da empresa) quanto em custo.

Em termos práticos, os parâmetros apresentados na Folha A3 (Fig. 6.7) são muito difíceis de serem medidos e, para tanto, ainda se está tentando desenvolver índices que possam indicar com boa acurácia o que se deseja. Entretanto, Faria (2006) não acredita que esses valores venham a ser atingidos na primeira tentativa, mas crê nos seguintes valores para as grandezas que se consegue medir:

- Redução de lead time em ~30%
- Redução de custos em ~20%
- Retrabalho $\neq 0$

Outro problema a ser resolvido antes, de forma que a implementação tenha sucesso, diz respeito ao sistema de custo. Hoje a fábrica é paga pelas horas de máquina (sistema de custos tradicional – custo da hora standard), o que de acordo com Faria (2006), é uma abordagem totalmente ultrapassada. Defende ainda que um sistema de custos ideal teria um custo médio para as máquinas e outro para o pessoal e só serviria para o controle de custos da fábrica, incentivando assim a melhora dos processos e facilitando a gestão.

Após analisar as fontes mais prováveis de serem responsáveis pela falta de competitividade da empresa avaliada, tentando rastrear fraquezas no sistema e/ou nas

atividades do dia-a-dia, este trabalho chegou a duas soluções prováveis: a primeira seria reduzir os custos administrativos; a segunda seria aumentar a produtividade e reduzir os desperdícios da fábrica.

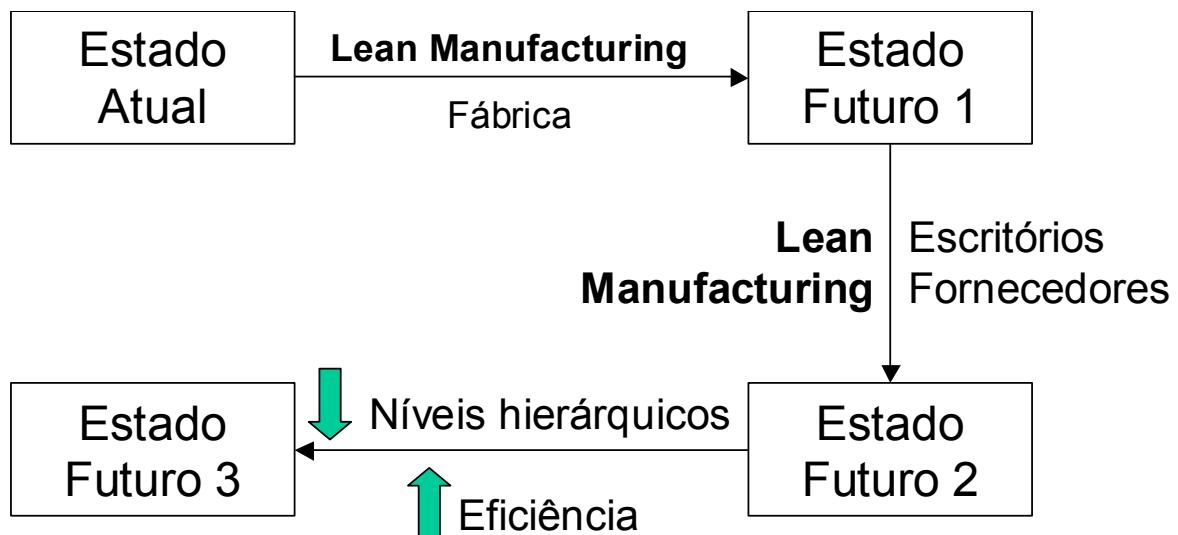


Figura 7.1 – Fluxograma da implementação das melhorias

A melhor maneira de se implementar as soluções citadas, seria seguindo o fluxograma da figura 7.1. O estado atual seria como a VS está hoje. Ao implementar com sucesso o Lean Manufacturing em sua fábrica, chegaria ao estado futuro 1. O segundo passo seria então, ampliar o programa, atingindo os fornecedores e os escritórios, chegando assim ao estado futuro 2. A metodologia, ao agir sobre os escritórios, aumentaria a eficiência deste, possibilitando assim a diminuição do número de níveis hierárquicos, chegando assim ao estado futuro 3.

Portanto, essas medidas ao serem implementadas com sucesso, diminuirão os custos de produção da empresa, colocando assim, todos os critérios na zona apropriada da matriz importância & desempenho (Fig. 2.3) e, consequentemente, aumentando a competitividade da Voith Siemens no mercado.

8 REFERÊNCIAS

CAMAROTTO, J. A. **Conteúdo da Disciplina de Engenharia do Trabalho 3 – Projeto de unidades produtivas.** UFSCar – Departamento de Engenharia de Produção. São Carlos, 2005.

CRUZ, J. B. **Determinação do tempo de máquina em uma célula de usinagem pesada utilizando a Metodologia Multimomento.** 2005. 83 f. Graduação – Dep. de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos. São Paulo, 2005.

ELETROBRÁS. Empresa de capital misto com controle acionário do Governo Federal. Disponível em: <<http://www.memoria.eletrobras.gov.br>>. Acesso em 21 mai. 2006.

ENERSUL. Empresa energética do Mato Grosso do Sul. Disponível em: <<http://www.enersul.com.br>>. Acesso em 20 mai. 2006.

FARIA, A. Implementação da manufatura enxuta na Voith Siemens São Paulo. Entrevista a Marcelo Lindenberg Gravina. São Paulo 04 de out. de 2006.

KRAMER, C. W., HALUSCA, C., SQUAIELLA, D. J. F., NAMORAS, J. F., **Geração de Energia, Hidrogeradores.** Apostila, 2003.

LOPES, M.C. **Modelo para focalização da produção com células de manufatura.** UFSC. Programa de pós graduação - Engenharia de Produção. Florianópolis, 1998.

MAIN, J. **Guerras pela Qualidade:** Os sucessos e fracassos da revolução da qualidade. Rio de Janeiro: Campus, 1994.

ROTHER, Mike e SHOOK, John. **Aprendendo a Enxergar.** Parte I. São Paulo: Lean Institute Brasil, 1999.

SANTOS JR, J.A. **Um modelo de dimensionamento e distribuição de operadores polivalentes em células de manufatura direcionado às empresas com processos repetitivos em lotes.** UFSC. Programa de pós graduação - Engenharia de Produção. Florianópolis, 2001.

SIEMENSA. **Carcaça**: Descritivo. São Paulo, 1998.

SIEMENSb. **Cubo do Rotor**: Descritivo. São Paulo, 1998.

SLACK, N. et al. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2002.

UCS. Union of Concerned Scientists. Disponível em: <<http://www.ucsusa.org>>. Acesso em 20 mai. 2006.

VELOSO, A. L. **Sistemas de Custo da Produção, A Gestão de Custos Fabril para a Competitividade**. Belo Horizonte, 2002.

VOITH SIEMENS. **Complexo do Rio Madeira**: Descritivo. São Paulo, 2005.

VOITH SIEMENS. **Mentalidade Enxuta VSPA**: Transparências de curso interno. São Paulo, 2006.

VOITH SIEMENSA. **A História**. Heidenheim: Voith AG, 2004.

VOITH SIEMENSb. **Fabricação da Carcaça do Hidrogerador**: Procedimento. São Paulo, 2004.

VOITH SIEMENSc. **Montagem e Soldagem de Cubo (aranha) do Gerador**: Procedimento. São Paulo, 2004.

WOMACK, J., JONES, D. **A Mentalidade Enxuta nas Empresas**. 8. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1998.