

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Departamento de Economia, Contabilidade, Administração e

Secretário Executivo

**IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE
MANUFATURA ENXUTA (LEAN
MANUFACTURING) NA EMBRAER.**

Paulo Cesar Corrêa Lindgren

Monografia apresentada ao Departamento de
Economia, Contabilidade, Administração e
Secretário Executivo da Universidade de Taubaté,
como parte dos requisitos para obtenção da
aprovação no Curso de MBA em Gerência de
Produção e Tecnologia

**Taubaté – SP
2001**

COMISSÃO JULGADORA

Data _____

Resultado _____

Prof. Dr. _____

Assinatura _____

Prof. Dr. _____

Assinatura _____

Prof. Dr. _____

Assinatura _____

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Departamento de Economia, Contabilidade, Administração e

Secretário Executivo

IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE MANUFATURA ENXUTA (LEAN MANUFACTURING) NA EMBRAER.

Paulo Cesar Corrêa Lindgren

Monografia apresentada ao Departamento de Economia, Contabilidade, Administração e Secretário Executivo da Universidade de Taubaté, como parte dos requisitos para obtenção da aprovação no Curso de MBA em Gerência de Produção e Tecnologia

Orientador: Prof. Dr. Luís Gonzaga Trabasso

**Taubaté – SP
2001**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família e à memória de meu querido pai, Paulo de Freitas Lindgren, que não poupou esforços para poder deixar a seus filhos o seu maior legado, que nunca poderá ser subtraído ou dilapidado: o grande apreço pelo saber e o zelo pela integridade do caráter.

AGRADECIMENTOS

À Universidade de Taubaté, pela excelente oportunidade de aprofundar meus conceitos em uma área tão moderna e estimulante da Engenharia.

À Embraer, pelo estímulo contínuo ao desenvolvimento pessoal e profissional de seus colaboradores.

Ao Prof. Dr. Luís Gonzaga Trabasso, pela valiosa inspiração e paciente orientação no desenvolvimento do trabalho.

Ao Prof. Dr. Edson Aparecida Araújo Querido Oliveira, pela amizade e inspiração nos sentidos de administração, organização e disciplina, que seguramente contribuíram para a elaboração dessa monografia.

À Prof^a Dr^a Maria Júlia Ferreira Xavier Ribeiro, pela orientação na elaboração e padronização dessa monografia.

Aos professores e funcionários da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade de Taubaté (UNITAU), pelo apoio e amizade conferidos durante todo o período de estudos no MBA – Gerência da Produção e Tecnologia.

Aos colegas da Embraer, em especial a Marcelo Feltrin Pereira, Paulo Roberto Claro da Silva e Julio Cícero Cunha, pela colaboração e receptividade à realização desta monografia.

Aos amigos do curso de MBA pelo apoio e motivação constante e pelas lições valiosas que deixaram para minha vida.

Especialmente à minha querida esposa Regina, pelo amor, companheirismo e espírito de renúncia, com carinho às minhas filhas Marília e Ana Carla e a Deus, na pessoa do Espírito Santo, sempre presente em todos os momentos de minha vida.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	12
GLOSSÁRIO	13
RESUMO	26
1 INTRODUÇÃO	28
1.1 A Evolução Histórica dos Conceitos de Manufatura	28
1.2 O Sistema de Manufatura Enxuta	32
1.3 A Implementação da Manufatura Enxuta na Embraer	32
2 UM HISTÓRICO DA EMBRAER E SEUS PROCESSOS PRODUTIVOS	34
2.1 Caracterização do Arranjo Produtivo em São José dos Campos	34
2.2 Origem e Desenvolvimento	35
2.3 Desenvolvimento de Capacitação e Inovação Tecnológica	44
2.3.1 Mecanismos Formais e Informais para Inovação e Aprendizagem	44
2.4 Processo Produtivo, Base Tecnológica e Logística	48
2.5 Estratégia de Inovação	50
3 MANUFATURA ENXUTA (LEAN MANUFACTURING)	55
3.1 Histórico da Manufatura Enxuta	55
3.2 Principais Conceitos e Definições	58
3.2.1 Os Conceitos	58
3.2.2 O Pensamento Enxuto e Seus Princípios	61
3.2.2.1 Valor	62
3.2.2.2 A Cadeia de Valor	62
3.2.2.3 Fluxo	63
3.2.2.4 Produção Puxada	64

3.2.2.5 Perfeição	64
3.3 Mapeamento do Fluxo de Valor	65
3.3.1 O Fluxo de Valor	66
3.3.2 Fluxos de Material e Informação	67
3.3.3 O Gerente do Fluxo de Valor	68
3.3.4 Usando a Ferramenta Mapeamento	69
3.3.5 Desenhando o Mapa do Estado Atual	70
3.3.6 O Que Torna um Fluxo de Valor Enxuto	73
3.3.7 Características de um Fluxo Enxuto de Valor	73
3.3.8 O Mapa do Estado Futuro	78
3.3.9 Atingindo o Estado Futuro	80
3.3.10 Responsabilidades da Administração	82
3.4 A Implementação do Empreendimento Enxuto (Lean Enterprise)	83
3.4.1 Efeitos sobre os Recursos Humanos e a Organização	84
3.4.2 Uma Proposta para a Gestão Enxuta de Efetivo (Pessoal)	86
3.5 Treinamento: Workshop sobre Manufatura Enxuta na Embraer	89
3.5.1 Workshop Parte I	90
3.5.2 Workshop Parte II	99
3.5.3 Resultados	102
4 A INDÚSTRIA AERONÁUTICA E A MANUFATURA ENXUTA (LEAN MANUFACTURING)	105
4.1 Características da Indústria Aeronáutica Tradicional	105
4.2 LAI – Lean Aircraft Initiative	107
4.2.1 Histórico	107
4.2.2 Os Benefícios da Implementação das Práticas Lean e o Impacto da LAI na Indústria Aeroespacial de Defesa e nas Agências do Governo Norte-Americano	108

4.3 LEM – Lean Enterprise Model	116
4.4 LEI – Lean Enterprise Institute	119
5 A IMPLANTAÇÃO DA MANUFATURA ENXUTA NA EMBRAER	120
5.1 Características da Área de Fabricação (GFU)	120
5.1.1 Evolução da GFU	120
5.1.2 Definição do Negócio da Área	121
5.1.3 Recursos – Máquinas e Equipamentos	121
5.2 O Processo de Manufatura Enxuta da Aeronave ERJ-145 – Uma Visão Geral	127
5.2.1 Noções Gerais sobre o Wing Stub	128
5.3 O Projeto de Implementação da Manufatura Enxuta no Wing Stub	130
5.3.1 Conceito Geral	130
5.3.2 A Escolha como Projeto-Piloto	131
5.4 A Implementação da Manufatura Enxuta no Wing Stub	134
5.4.1 O projeto da “Célula do conjunto Wing Stub”	134
5.4.2 Desenvolvimento	136
5.4.2.1 Introdução	136
5.4.2.2 Etapa 1	136
5.4.2.3 Etapa 2	137
5.4.2.4 Especificação do Processo	137
a) Definição do Universo de Peças	137
b) Levantamento do fluxo das peças e dos tempos de fabricação das peças por CT (Mapeamento do Fluxo de Valor)	137
c) Identificação e eliminação das restrições ao fluxo de valor	138
d) Definição do Layout das peças na fresadora Gantry	141
e) Kit Célula de ferramentas de corte	141
f) Ganhos obtidos com a implantação da Célula de Manufatura	

do conjunto Wing Stub	142
f.1) Ganhos Reais em Cadência, Ciclo de Produção e Movimentação	142
f.2) Grande Melhoria no Aspecto Visual	144
g) Cenário Efetivo Após Implementação	146
6 CONCLUSÃO	150
7 PERSPECTIVAS FUTURAS	155
7.1 O Futuro: A Manufatura Ágil	155
7.2 Comparação entre Produção Enxuta e Ágil	156
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	158
9 ANEXOS	160
9.1 Características das fresadoras 5 eixos Gantry	160
9.2 Atualidades sobre a Manufatura Enxuta	162
9.2.1 A New Benchmark for Manufacturers: “Lean Operation Standard” Published by SAE	162
9.2.2 Small Companies Also Using Lean Manufacturing	164
9.2.3 How Barry Controls is Handling the Transition to Lean	170
9.3 Casos de Sucesso	175
9.3.1 Major Oil Company	175
9.3.2 Major Automotive Manufacturer	175
9.3.3 Diversified Aerospace, Automotive and Chemical Company	175
9.3.4 Major Automotive Manufacturer Joint Venture in South América	176
9.3.5 Major Automotive Manufacturer	176
ABSTRACT	178

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – O Fluxo de Valor	66
Figura 2 – Fluxos de Material e de Informação	68
Figura 3 – Gerenciando o Fluxo de Valor	69
Figura 4 – Estratégia de Mapeamento	70
Figura 5 – Exemplo de um Mapa do Estado Atual	72
Figura 6 – Takt & cycle times	74
Figura 7 – Exemplo de um Mapa do Estado Futuro	80
Figura 8 – Orientadores da Manufatura Enxuta	91
Figura 9 – Etapas da Implementação	91
Figura 10 – Kaizen	93
Figura 11 – Adição de Valor na Manufatura	94
Figura 12 – SIPOC	99
Figura 13 – 5 S	100
Figura 14 – Melhoria do Fluxo do Processo	101
Figura 15 – Lean Enterprise Model	118
Figura 16 – Layout Simplificado da GFU	122
Figura 17 – Recursos GFU – Fresadora 5 eixos Gantry (vista 1)	125
Figura 18 – Recursos GFU – Fresadora 5 eixos Gantry (vista 2)	126
Figura 19 – Recursos GFU – Fresadora 5 eixos HSM Makino	126
Figura 20 – Processo de Manufatura – ERJ-145	127
Figura 21 – Projeto Implantado – Wing Stub	129
Figura 22 – Vistas do Conjunto Wing Stub, incluindo Gabarito de Montagem	130
Figura 23 – Classificação dos Itens em Categorias	132
Figura 24 – Foco do Projeto Manufatura Enxuta	133
Figura 25 – Estratégia de Implantação	134

Figura 26 – Mapa do Estado Atual – Wing Stub	139
Figura 27 – Mapa do Estado Futuro – Wing Stub	140
Figura 28 – Simulação da Célula de Manufatura do Wing Stub ERJ-145	141
Figura 29 – Área de usinagem antes da Implementação	144
Figura 30 – Área de usinagem depois da Implementação (vista 1)	144
Figura 31 – Área de usinagem depois da Implementação (vista 2)	145
Figura 32 – Matéria-Prima no ponto de uso e na quantidade adequada	145
Figura 33 – Controle de Matéria Prima ao lado da máquina	147
Figura 34 – Controle de Saída de Material (vista 1)	147
Figura 35 – Controle de Saída de Material (vista 2)	148
Figura 36 – Carro de transporte de kits para montagem (vista 1)	148
Figura 37 – Carro de transporte de kits para montagem (vista 2)	149
Figura 38 – Controle de peças na montagem	149
Figura 39 – Capability – Uma Visão da Manufatura	151

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fatores Críticos de Competitividade na Indústria Aeronáutica Civil	39
Tabela 2 – Evolução da Produção das Aeronaves da Embraer	40
Tabela 3 – Cronologia dos Eventos Históricos	41
Tabela 4 – Indicadores de Produção	49
Tabela 5 – Tecnologias Críticas no Mercado Aeronáutico Civil	51
Tabela 6 – Indicadores de Investimentos da Embraer	53
Tabela 7 – Conceitos de Produção	93
Tabela 8 – Funções do Processo de Produção	94
Tabela 9 – Comparação dos Resultados das Simulações	103
Tabela 10 – Dados Quantitativos citados pelos Membros do Consórcio LAI	113
Tabela 11 – Resultados de Padronização dos tipos de ferramentas de corte	142
Tabela 12 – Ganhos Reais em Cadência, Ciclo de Produção e Movimentação	142
Tabela 13 – Cenário efetivo após Implementação	146
Tabela 14 – Comparação entre Manufatura Enxuta e Manufatura Ágil	156

GLOSSÁRIO

Agente de Mudança — Uma pessoa cuja missão é de causar a mudança do estado atual, por exemplo, de lote e fila para o estado ideal futuro: a manufatura enxuta. Alguém que lidera a mudança cultural numa organização.

Análise de Valor — Avaliação do prazo de entrega total e do tempo que agrega valor para identificar a porcentagem gasta em atividades que agregam valor.

Andon — Um sinal visual. Geralmente é uma luz montada sobre a máquina ou na linha para alertar sobre um problema potencial ou a interrupção do trabalho.

Atividade que Não Agrega Valor — Qualquer atividade que acrescenta custo sem acrescentar valor ao produto ou ao processo.

Autonomação — Tradução da palavra "Jidoka". Significa conceder inteligência humana a uma máquina para que possa automaticamente parar quando surgir um problema.

Autoridade para Parar a Linha — Quando ocorrem anomalias, os operadores têm o poder de interromper o processo e impedir que o defeito ou a variação seja passado adiante.

CATIA – Computer Aided Tridimensional Interactive Aplication – ferramenta computacional (software de CAD) que permite projetar conjuntos e sistema completos, bem como seus componentes e peças, totalmente com tecnologia 3D. Esta ferramenta

é desenvolvida pela empresa francesa Dassault Systemes, sendo comercializada pela IBM.

CBA-123 – Projeto de uma aeronave turboélice, bimotor “pusher” (com hélices impulsoras montadas em pilones na traseira da fuselagem), para transporte de até 16 passageiros. A denominação CBA significava Cooperação Brasil-Argentina, pois se tratava de um empreendimento conjunto entre as empresas Embraer e FAMA – Fábrica Argentina Militar de Aviones.

Cinco S (5S) — Disciplina primária e condicionante para o Kaizen, este princípio tem sua sigla derivada das iniciais, no idioma original japonês, dos cinco termos que são os objetivos das ações necessárias para se limpar e organizar o local de trabalho de maneira lógica e eficaz (Contador et al, 1998):

- Seiri – identificação/segregação e seleção/descarte (senso de utilidade)
- Seiton – boa disposição/ordenação (senso de ordem)
- Seiso – limpeza/inspeção diária
- Seiketsu – higiene/revisar sempre (saúde)
- Shitsuke – disciplina/motivação para manter

CNC – Comando (ou Controle) Numérico Computadorizado. Também conhecido simplesmente como CN.

Comakership – É a estratégia dirigida ao envolvimento solidário dos fornecedores no complexo empresarial do cliente. Realiza-se através do "just in time" e "free pass", podendo alcançar inclusive uma integração estratégica de processos e negócios.

Controles Visuais — Criação de padrões no local de trabalho que tornam óbvio se algo estiver fora de ordem.

Cycle Time – vide Tempo de Ciclo.

DFMA - Design for Manufacturing and Assembly (Projeto para Fabricação e Montagem).

Desdobramento da Função Qualidade (QFD – Quality Function Deployment) — Metodologia na qual uma equipe multifuncional chega a um consenso quanto às especificações finais do produto, segundo as expectativas do cliente.

Desdobramento de Políticas — Relacionar as metas estratégicas do negócio de uma organização com os seus recursos estratégicos. Comunicar essas metas a toda a organização e conectar todos aos mesmos objetivos.

3Ds — (Dirty, Dangerous, Difficult - sujo, perigoso e difícil)

Embraer – Empresa Brasileira de Aeronáutica S.A.

ERJ 145 – Aeronave bimotor, turbofan, com capacidade para até 50 passageiros e dedicada principalmente ao segmento de aviação regional.

Estoque — Em geral, trata-se da categoria de mais alto custo; o estoque consiste de todas as matérias primas, peças compradas, estoque de processo e produtos acabados que ainda não foram entregues a um cliente.

Estoque de Material em Processo (WIP – Work In Process) — Estoque esperando entre os passos da operação.

Estoque Standard de Processo — Necessidade mínima de material para que o operador complete um ciclo de trabalho sem atrasos.

Estratégia Baseada no Tempo — Organização dos objetivos do negócio em torno de princípios de economia de tempo.

Fábrica Balanceada — Uma fábrica onde toda capacidade disponível encontra-se balanceada exatamente com a demanda de mercado.

Fluxo de Uma Peça — Uma filosofia de manufatura que suporta o movimento do produto de uma estação de trabalho para a seguinte - uma peça de cada vez - sem permitir que aumente o estoque entre as estações.

Folha de Combinação de Trabalho Standard — Documento que mostra a sequência de passos da produção designados a um único operador. Utilizado para ilustrar a melhor combinação de operador e máquina.

Free Pass - Autorização para que o produto do fornecedor certificado chegue diretamente à linha, eliminando a inspeção de recebimento.

Gargalo — É um recurso (área ou estação de trabalho) num ambiente de manufatura com capacidade igual ou inferior à demanda, que limita a capacidade de todo o processo.

Gerenciamento de Anomalias — A habilidade de perceber e reagir a uma anormalidade (qualquer violação das operações standard) de modo oportuno.

Gerenciamento Visual — Sistema que habilita qualquer pessoa a rapidamente notar anormalidades no local de trabalho, independente de seu conhecimento do processo.

Hanedashi — Dispositivo que permite que uma máquina automaticamente descarregue uma peça sem precisar esperar pelo operador.

Heijunka — Nivelamento da produção. Criação de uma seqüência determinada por uma programação pela média de demanda do cliente.

HPWO - High Performance Work Organizations (Organizações de Trabalho de Alto Desempenho).

HSM – High Speed Machine (Máquina de Usinagem em Alta Velocidade).

IMVP - International Motor Vehicle Program (Programa Internacional para Veículos a Motor).

IPPD - Integrated Product and Process Development (Desenvolvimento Integrado de Produto e Processo)

IPT – Integrated Product Team (Time de Desenvolvimento Integrado do Produto).

IPT - CTA – Instituto de Pesquisas Tecnológicas (parte da estrutura do CTA).

Jidoka — Consulte "autonomação". É o termo japonês para transferência de inteligência humana para a máquina.

JIT – Just In Time - JIT é um sistema estruturado de controle de estoques e execução de tarefas/operações, com entrega dos materiais certos, no tempo certo e na quantidade certa, e que tem por objetivo desenvolver um sistema de manufatura que permita a um fabricante ter somente os materiais, equipamentos e pessoas necessários a cada tarefa.

Kaikaku — Melhoria radical; geralmente num processo do negócio que afeta o fluxo futuro de valor.

Kaizen — Uma combinação de duas palavras japonesas: "Kai" (mudar) e "Zen" (bem). Geralmente definida como significando "melhoria contínua".

Kaizen Chão de Fábrica — Um método sensível ao tempo e de desenvolvimento rápido que emprega uma abordagem concentrada baseada no trabalho de equipe. Melhoria contínua.

Kaizen Direcionado — Atividade de melhoria intensamente direcionada a uma única estação de trabalho, realizada rapidamente por dois ou três especialistas. Segue-se sempre a um evento kaizen plenamente desenvolvido.

Kanban — Sinalização visual. Em geral, consiste de um cartão de repetição de pedido ou outro método de disparar o sistema de puxar a produção, com base na utilização atual de materiais. Deve estar disponível para uso no ponto de fabricação.

LAI – Lean Aircraft Initiative (Iniciativa Enxuta para Aeronaves) – Atualmente passou a significar Lean Aerospace Initiative.

Layout de Trabalho Standard — Diagrama de uma estação de trabalho ou célula mostrando como se realiza um trabalho standard.

Lead Time (Prazo de Entrega) — O tempo necessário para produzir um único produto, da hora em que o cliente faz o pedido até o despacho.

Lean Manufacturing (Manufatura Enxuta) — Utilização de uma quantidade mínima de recursos totais, pessoal, materiais, dinheiro, máquinas etc., para fabricar/gerar um produto, com o máximo rendimento, e entregá-lo pontualmente.

LEI – Lean Enterprise Institute – Instituto do Empreendimento Enxuto.

LEM – Lean Enterprise Model – Modelo de Empreendimento Enxuto.

Linha Chaku-Chaku — Significa "carga-carga" em japonês, e descreve uma célula de trabalho onde as máquinas fazem o descarregamento automático das peças para que os operadores possam transferir uma peça diretamente de uma máquina para a seguinte sem ter de esperar.

Manufatura Celular — Um arranjo de máquinas na sequência correta de processo, onde os operadores permanecem dentro das células e os materiais lhes são apresentados de fora.

Mapa do Fluxo de Cadeia de Valor — (Também chamado de Mapa da Cadeia de Valor) Um quadro que permite visualizar como material e informação fluem dos fornecedores, através da manufatura até o cliente. Inclui os cálculos do tempo de ciclo total e do total de valor agregado. Preenchido para o estado atual da cadeia de valor e para o futuro, a fim de indicar para onde o negócio está se dirigindo.

Melhoria Contínua — O compromisso de diariamente melhorar os produtos, o ambiente de trabalho e os negócios.

MIT - Massachusetts Institute of Technology (Instituto de Tecnologia de Massachusetts).

MPT ou TPM — Manutenção Produtiva Total.

MRP — Material Requirements Planning ou Planejamento das Necessidades de Materiais.

MRP II — Manufacturing Resources Planning ou Planejamento dos Recursos da Manufatura.

MRP III — é o MRP II em conjunto com o Kanban. O seminário da Stewart~Frazier Tools, Inc. (S.F.T, Inc.) explica que muitos usuários do MRP II experimentaram um problema de gerenciamento de material que é chamado de “overplanning”. Isto ocorre quando o sistema agiliza um Pedido de Compra pendente através da emissão de um novo Pedido de Compra. O comprador tem, então, dois pedidos ativos para os mesmos bens, de modo que o cancelamento do pedido original tem que ser emitido manualmente.

O MRP III eleva o MRP II convencional a um novo nível, o de “expedição inteligente”. Com o MRP III o sistema pesquisa um horizonte mais a frente, visualizando pedidos planejados e pendentes que possam atender ao requerimento de um pedido expresso, não gerando pedidos desnecessários. O problema de “overplanning” é eliminado, assim como a “intranquilidade” que o acompanha nas mensagens emitidas pelo MRP.

Muda — Desperdício; Qualquer atividade que acrescenta custo sem acrescentar valor ao produto.

Mura — Variações de qualidade, custo e entrega de um processo.

Muri — Irracionalidade; a demanda excede a capacidade.

Nivelamento da Produção — Método para programar a produção para que, por um certo período de tempo, se elimine da manufatura a flutuação na demanda do cliente, produzindo-se cada peça todo dia.

Operações Standard — A melhor combinação do operador e da máquina, utilizando a menor quantidade de mão-de-obra, espaço, estoque e equipamento.

Pacemaker (Marcador de Ritmo) — Técnica usada para deixar um processo em ritmo de tempo takt.

Piper – Empresa norte-americana, fabricante de aeronaves leves de transporte na classe de 4 a 12 passageiros.

Poka Yoke — Palavra japonesa que significa, "a prova de erros"; um dispositivo poka yoke previne que erros humanos afetem uma máquina ou um processo; impede que os erros de um operador se convertam em defeitos.

Produção (Throughput) — Quantidade produzida pela qual o sistema gera dinheiro.

Redução do Setup — Redução do tempo ocioso que vai da troca da última peça até a primeira peça boa da operação seguinte.

Restrição — Uma estação de trabalho ou um processo que limita a capacidade de todo o sistema.

Retrofit – Reforma. Diz-se do serviço, ou conjunto de serviços, que tem por objetivo recuperar as características físicas ou de desempenho de uma máquina ou equipamento, podendo também conferir ao mesmo atributos mais modernos.

Sensei — Mestre ou professor respeitável.

Seqüência de Trabalho — Os passos corretos que o operador adota, na ordem em que deveriam ser adotados.

Setup Externo — Atividades de preparação das ferramentas que podem ser executadas com segurança enquanto a máquina estiver funcionando.

Setup Interno — Atividades de preparação das ferramentas que devem ocorrer enquanto a máquina estiver parada.

Sistema Global de Produção — Expansão do Sistema de Produção da Toyota; trata-se da estratégia que habilita uma manufatura enxuta, utilizando a metodologia Kaizen.

Sistema Nagara — Executar duas ou mais atividades com um único movimento.

Sistema Toyota de Produção — Baseado em alguns dos princípios iniciais de Henry Ford, o sistema descreve a filosofia de uma das mais bem sucedidas empresas do mundo. A fundação do STP é o nivelamento da produção, os suportes do Just-in-Time e o Jidoka.

SPI - Single Process Initiative (Iniciativa para Unificação do Processo).

SQS - Single Quality Systems (Sistemas para Qualidade Unificada).

Sub-otimização — Otimização de cada peça do equipamento; manter todas as máquinas funcionando, não importa o custo ou a consequência. É normal que isso inflacione o principal custo de produção: material.

Supermercado — Local no chão de fábrica junto à linha de produção onde as peças são classificadas e ficam prontas para disponibilização aos operadores.

Tabela de Capacidade do Processo — Tabela usada principalmente no ambiente de processamento das máquinas que compara a carga da máquina com a capacidade disponível.

Takt Time – vide Tempo Takt.

Tempo Automático da Máquina — O tempo que uma máquina necessita para produzir uma unidade, excluindo os tempos de carga e descarga.

Tempo de Ciclo (no original: Cycle Time) — O tempo que um operador leva para completar um ciclo de trabalho. Em geral, é o tempo que dura antes que o ciclo se repita. Consulte, Tempo de Ciclo do Operador e Tempo de Ciclo da Máquina.

Tempo de Ciclo da Máquina — O tempo que uma máquina necessita para produzir uma unidade, incluindo o tempo de carga e descarga.

Tempo de Ciclo do Operador — O tempo gasto para que um operador complete uma sequência de operações predeterminada, incluindo a carga e descarga, e excluindo o tempo de espera.

Tempo Elementar — Tempo estipulado para uma etapa operacional específica dentro do trabalho standard.

Tempo TAKT (no original: Takt Time) — O tempo líquido operacional total e diário dividido pela demanda total diária do cliente.

Top Level Architecture – Arquitetura de Alto Nível

Trabalho Standard — Sequência predeterminada de tarefas a serem completadas pelo operador dentro do tempo takt.

Troca de Matrizes/Ferramentas Num Toque (STED) — Redução das atividades de setup da matriz/ferramenta a um único passo.

Troca de Matrizes Num Minuto (SMED) — Prazo entre a última peça boa até a primeira peça boa seguinte no novo setup obtido em um tempo menor que 10 minutos. Termo também conhecido por "Setup num só dígito."

Valor Agregado — Qualquer atividade que transforme um produto ou serviço para satisfazer a necessidade do cliente.

Wing Stub – estrutura de encastramento da asa (estrutura, em formato de caixa retangular, localizada na parte central-inferior da fuselagem, e que serve como elemento de ligação entre as duas semi-asas, sendo, por sua vez, ligada à fuselagem da aeronave).

LINDGREN, Paulo Cesar Corrêa. *Implementação do Sistema de Manufatura Enxuta (Lean Manufacturing) na Embraer*. 2001, 178 f. Monografia (MBA em Gerência de Produção e Tecnologia) – Departamento de Economia, Contabilidade, Administração e Secretário Executivo, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2001.

RESUMO

A Manufatura Enxuta é um modo novo e revolucionário de se fabricar e montar os produtos. Ela é o próximo passo lógico na cadeia evolutiva das tecnologias de manufatura, seguindo nos calcanhares de suas predecessoras, a produção artesanal e a produção em massa. Esta monografia explica a concepção dos princípios da Manufatura Enxuta, como eles foram adaptados para a indústria aeroespacial e como estão sendo incorporados pela Embraer, a empresa brasileira de fabricação de aeronaves, também avaliando o que tem sido feito para se preparar, com sucesso, o caminho para a sua implementação. Torna-se claro ao longo desta leitura que a implementação bem sucedida requer, em primeiro lugar e acima de tudo, um firme comprometimento da alta administração com uma completa adesão à cultura de busca e eliminação de desperdício. Este trabalho focaliza nos resultados positivos dos passos rumo às primeiras fases da Manufatura Enxuta na Embraer, uma indústria que, tradicionalmente, fabrica um produto de alta tecnologia utilizando sistemas de manufatura já comprovados. Além disso, é considerada a relevância da implementação da Manufatura Ágil como um conceito naturalmente sucessor da Manufatura Enxuta.

Palavras-chave: Aeronáutica, Embraer, ERJ-145, Lean Manufacturing, Manufatura Ágil, Manufatura Aeronáutica, Manufatura Enxuta.

ABSTRACT

Lean manufacturing is a new and revolutionary way of manufacturing and assembling products. It is the next logical step in the evolutionary chain of manufacturing technologies, following on the heels of its predecessors, craft production and mass production. This monograph explains the conception of lean manufacturing principles, how they were adapted for the aerospace industry and how they are being incorporated by Embraer, the Brazilian aircraft manufacturing company, also evaluating what has been done to successfully pave the way for its implementation. It is clear through the reading that successful implementation requires, first and above, a firm compromise of the upper management with a complete adhesion to the waste seeking-and-elimination culture. This work focuses on the positive results of tentative steps towards the first phases of lean manufacturing at Embraer, an industry that traditionally produces a high technology leading-edge product, using already proven manufacturing systems. Further, the relevance of agile manufacturing implementation, as a natural succeeding concept to lean manufacturing, is considered.

Keywords: Aeronautics, Embraer, ERJ-145, Lean Manufacturing, Agile Manufacturing, Aeronautical Manufacturing.

1 INTRODUÇÃO

1.1 A Evolução Histórica dos Conceitos de Manufatura

A função produção, entendida como o conjunto de atividades que levam à transformação de um bem tangível em um outro com maior utilidade, acompanha o homem desde sua origem. Quando polia a pedra a fim de transformá-la em utensílio mais eficaz, o homem pré-histórico estava executando uma atividade de produção. Neste primeiro estágio, as ferramentas e os utensílios eram utilizados exaustivamente por quem os produzia, ou seja, inexistia o comércio, mesmo que de troca ou escambo. Com o passar do tempo, muitas pessoas se revelaram extremamente habilidosas na produção de certos bens, e passaram a produzi-las conforme solicitação e especificações apresentadas por terceiros. Surgiam então os primeiros artesãos e a primeira forma de produção organizada, já que os artesãos estabeleciam prazos de entrega, conseqüentemente estabelecendo prioridades, atendiam especificações preestabelecidas e fixavam preços para suas encomendas. A produção artesanal também evoluiu. Os artesãos, em face do grande número de encomendas, começaram a contratar ajudantes, que inicialmente faziam apenas os trabalhos mais grosseiros e de menor responsabilidade. À medida que aprendiam o ofício, entretanto, esses ajudantes se tornavam novos artesãos. A produção artesanal começou a entrar em decadência com o advento da Revolução Industrial. Com a descoberta da máquina a vapor em 1764 por James Watt, teve início o processo de substituição da força humana pela força da máquina. Os artesãos, que até então trabalhavam em suas próprias oficinas, começaram a ser agrupados nas primeiras fábricas. Essa verdadeira revolução na maneira como os produtos eram fabricados trouxe consigo algumas exigências, entre as quais:

- padronização dos produtos;
- padronização dos processos de fabricação;
- treinamento e habilitação da mão-de-obra direta;
- criação e desenvolvimento dos quadros gerenciais e de supervisão;
- desenvolvimento de técnicas de planejamento e controle da produção;
- desenvolvimento de técnicas de planejamento e controle financeiro;
- desenvolvimento de técnicas de vendas.

Muitos dos conceitos que hoje parecem óbvios não o eram na época, como o conceito de padronização de componentes introduzido por Eli Whitney em 1790, quando conduziu a produção de mosquetões com peças intercambiáveis, fornecendo uma grande vantagem operacional aos exércitos. Teve início o registro, através de desenhos e croquis, dos produtos e processos fabris, surgindo a função de projeto de produto, de processos, de instalações, de equipamentos etc. No fim do século XIX surgiram nos Estados Unidos os trabalhos de Frederick W. Taylor, considerado o pai da Administração científica. E com os trabalhos de Taylor surge a sistematização do conceito de produtividade, isto é, a procura incessante por melhores métodos de trabalho e processos de produção, com o objetivo de se obter melhoria da produtividade com o menor custo possível. Essa procura ainda hoje é o tema central em todas as empresas, mudando-se apenas as técnicas utilizadas. A análise da relação entre o output - ou, em outros termos, uma medida quantitativa do que foi produzido, como quantidade ou valor das receitas provenientes da venda dos produtos e/ou serviços finais - e o input - ou, em outros termos, uma medida quantitativa dos insumos, como quantidade ou valor das matérias-primas, mão-de-obra, energia elétrica, capital, instalações prediais etc. - permite quantificar a produtividade, que sempre foi o grande indicador do sucesso ou fracasso das empresas.

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{Medida do output}}{\text{Medida do input}}$$

Na década de 10 Henry Ford cria a linha de montagem seriada, revolucionando os métodos e processos produtivos até então existentes. Surge o conceito de produção em massa, caracterizada por grandes volumes de produtos extremamente padronizados, isto é, baixíssima variação nos tipos de produtos finais. Essa busca da melhoria da produtividade por meio de novas técnicas definiu o que se denominou engenharia industrial. Novos conceitos foram introduzidos, tais como:

- linha de montagem;
- posto de trabalho;
- estoques intermediários;
- monotonia do trabalho;
- arranjo físico;
- balanceamento de linha;
- produtos em processo;
- motivação;
- sindicatos;
- manutenção preventiva;
- controle estatístico da qualidade;
- fluxogramas de processos.

A produção em massa aumentou de maneira fantástica a produtividade e a qualidade, e foram obtidos produtos bem mais uniformes, em razão da padronização e da aplicação de técnicas de controle estatístico da qualidade. A título de ilustração, em fins de 1996 já tínhamos no Brasil fábricas que montavam 1.800 automóveis em um dia, ou seja, uma média de 1,25 automóvel por minuto. O conceito de produção em massa e as técnicas produtivas dele decorrentes predominaram nas fábricas até

meados da década de 60, quando surgiram novas técnicas produtivas, que vieram a caracterizar a denominada produção enxuta. A produção enxuta introduziu, entre outros, os seguintes conceitos:

- just-in-time;
- engenharia simultânea;
- tecnologia de grupo;
- consórcio modular;
- células de produção;
- desdobramento da função qualidade;
- comakership;
- sistemas flexíveis de manufatura;
- manufatura integrada por computador;
- benchmarking.

Ao longo desse processo de modernização da produção, cresce em importância a figura do consumidor, em nome do qual tudo se tem feito. Pode-se dizer que a procura da satisfação do consumidor é que tem levado as empresas a se atualizar com novas técnicas de produção, cada vez mais eficazes, eficientes e de alta produtividade. É tão grande a atenção dispensada ao consumidor que este, em muitos casos, já especifica em detalhes o "seu" produto, sem que isso atrapalhe os processos de produção do fornecedor, tal a flexibilidade apresentada pelos mesmos. Assim, caminha-se para a produção customizada, que, sob certos aspectos, é um "retorno ao artesanato" sem a figura do artesão, que passa a ser substituído por moderníssimas fábricas. A denominada empresa de classe mundial é aquela voltada para o cliente, sem perder a característica de empresa enxuta, com indicadores de produtividade que a colocam no topo entre seus concorrentes, em termos mundiais, e também a característica de procurar incessantemente por melhorias. Em resumo, a empresa de

classe mundial tem como cultura a melhoria contínua, recorrendo, quando pertinente, a técnicas sofisticadas, como modelagem matemática para simulações de cenários futuros.

1.2 O Sistema de Manufatura Enxuta

O Sistema de Manufatura Enxuta, ou “Lean Manufacturing”, é um conjunto de atividades que tem como meta o aumento da capacidade de resposta às mudanças e a minimização dos desperdícios na Produção, se constituindo num verdadeiro empreendimento de gestão inovadora. Como empreendimento, seus princípios são: ter (e manter) os itens certos nos lugares certos, no tempo certo e na quantidade correta; criar e alimentar relações efetivas dentro da Cadeia de Valor; trabalhar voltado à Melhoria Contínua e buscar a Qualidade Ótima na Primeira Unidade Entregue.

Basicamente utilizam-se as ferramentas do JIT e a filosofia do *Kaizen* para se combater os chamados Sete Desperdícios da Produção, a saber:

- 1) Desperdício de Superprodução;
- 2) Desperdício de Espera;
- 3) Desperdício de Transporte;
- 4) Desperdício de Processamento;
- 5) Desperdício de Movimento;
- 6) Desperdício de Produzir Itens/Produtos Defeituosos;
- 7) Desperdícios de Estoques.

1.3 A Implementação da Manufatura Enxuta na Embraer

O objetivo deste trabalho foi estudar como o Sistema de Manufatura Enxuta (Lean Manufacturing) está sendo implementado na indústria aeronáutica nacional

(Embraer), sob uma ótica voltada à análise gerencial (correspondente à ênfase dada em um curso de MBA) e menos detalhada em termos técnicos, tomando como base um estudo de caso “piloto” que foi a incorporação dos princípios da Manufatura Enxuta no processo de fabricação do Wing Stub da aeronave ERJ 145. Buscou-se avaliar a validade da metodologia empregada, face às condições históricas de desenvolvimento e incorporação de Tecnologias, Técnicas de Gestão e Aumento da Competitividade da Embraer, particularmente no campo da Manufatura Aeronáutica. No entanto, para melhor fundamentação teórico-prática de tal avaliação, fez-se necessário estudar mais profundamente tanto o surgimento da Filosofia Lean Manufacturing quanto o tratamento da mesma no cenário mundial (com as iniciativas LAI, LEM e LEI – tendo sido obtido de LAI / MIT uma cópia da Versão 1.0 da estrutura de Princípios, Metas e 12 Práticas Abrangentes, com as respectivas métricas, recomendadas tanto para se avaliar o estado presente quanto para se direcionar os esforços de um empreendimento rumo ao “futuro enxuto”), onde certamente se insere a quase totalidade dos negócios da Embraer. Também se tratou de avaliar a eficácia atingida até o presente momento, particularmente na eliminação dos “Sete Desperdícios” e na melhoria dos parâmetros de monitoramento do desempenho dos principais processos envolvidos. Finalizando, procurou-se avaliar o impacto de tal iniciativa junto à Alta Administração da Embraer, juntamente com a eficiência na assimilação dos conceitos e o grau de incorporação da Filosofia Lean Manufacturing nas Estratégias de Capacitação da Manufatura da empresa, tentando-se, ainda, transmitir uma “Visão do Futuro” em termos de um Sistema de Gestão da Manufatura que tem grandes probabilidades de ser o sucessor da Manufatura Enxuta no âmbito global das empresas de alta tecnologia.

2 UM HISTÓRICO DA EMBRAER E SEUS PROCESSOS PRODUTIVOS

2.1 Caracterização do Arranjo Produtivo em São José dos Campos

A produção aeronáutica brasileira está basicamente concentrada na região de São José dos Campos no Estado de São Paulo, centralizada através do seu principal ator: a Embraer. Com base nas informações reunidas pela Pesquisa da Atividade Econômica Paulista, realizada pela Fundação Seade, esta região respondia, em 1996, por 6% do valor adicionado, 3% das unidades locais produtivas e 4% do pessoal ocupado da indústria do Estado de São Paulo.

O modelo de organização industrial presenciado no arranjo produtivo aeronáutico assemelha-se a um padrão de *redes centralizadas*: onde um conjunto é formado por cerca de 50 empresas de médio e pequeno porte, organizadas em torno da economia gerada por uma única firma, a Embraer, que desenvolve a engenharia de projetos das aeronaves, realizando a integração e montagem dos sistemas, estruturas, fuselagem e componentes, desempenhando a função de coordenadora da rede global de empresas parceiras de riscos, fornecedoras mundiais e subcontratadas locais, que compra das firmas satélites desta região insumos industrializados, serviços de usinagem, tratamento térmico, aviônicos, serviços de engenharia de projetos, de *software*, entre outros. As relações inter-firmas desenvolvidas na região apresentam níveis diferenciados de integração de propriedade, fluxos de transação comercial e tecnológicos, mas todas com um alto grau de integração de coordenação. Trata-se de uma “organização industrial inter-empresas hierarquizador” na sua essência; um tipo de “sistema solar”: com uma “empresa-mãe” e suas satélites sub-contratadas, fundadas em um intercâmbio particular entre fornecedores e prestadores de serviços

de engenharia, administrativos e produtivos, formados por pequenas e médias empresas.

2.2 Origem e Desenvolvimento

Em toda a experiência histórica de formação da Indústria Aeronáutica Brasileira, tal como o padrão histórico de instalação do sistema produtivo industrial nacional, é patente o papel exercido pelo Estado no processo de evolução tecnológica deste segmento industrial. O início do processo que culminou no surgimento da Embraer, se deu com a criação do Centro Tecnológico de Aeronáutico (CTA) em 1945, quatro anos após o surgimento do Ministério da Aeronáutica (Maer). O primeiro instituto do CTA foi o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Após 4 anos de operação em caráter provisório no Rio de Janeiro, na Praia Vermelha, o ITA é transferido definitivamente, em 1950, para São José dos Campos. O Instituto foi viabilizado através da cooperação do MIT - *Massachussets Institute of Technology* (EUA). A criação do CTA funcionou como um divisor de águas na história da Indústria Aeronáutica Brasileira. Com o CTA, o Estado, através do referendo militar, demonstrava a sua intenção de viabilizar o surgimento e a manutenção de uma massa crítica de cientistas e engenheiros devotados ao desenvolvimento e/ou absorção da tecnologia aeronáutica. Do mesmo modo que o CTA significou uma nova etapa na história da indústria aeronáutica, a Embraer inaugurou o que se pode designar como a fase moderna, enquanto arranjo produtivo, econômico e comercial na fabricação de aeronaves nacionais. A constituição de uma visão de longo prazo por parte dos atores, e o aprendizado fornecido pelas experiências mal sucedidas na produção de aeronaves no passado, permitiu a conscientização de que este setor só seria viável se houvesse uma boa oferta de mão-de-obra qualificada e de centros de pesquisa que

organizassem e estimulassem o desenvolvimento e a difusão dos conhecimentos aeroespaciais e aeronáuticos. Com efeito, a criação do CTA e de sua escola, o ITA, foi fundamental para o surgimento e o posterior sucesso da Embraer. Por sua vez, a própria criação da Embraer foi um fato crucial para o sucesso desta indústria, uma vez que permitiu a centralização das informações técnicas, produtivas e comerciais, possibilitando o acúmulo do conhecimento tecnológico necessário para o processo de inovação e competitividade no plano mundial. Nas décadas de 70 e 80, a região de São José dos Campos, situada no Estado de São Paulo, passou por uma época de muita prosperidade, sustentada no desenvolvimento do complexo aeroespacial e bélico.

A indústria aeronáutica nacional configura-se, atualmente, em um caso singular e atípico, por ser representada por uma única empresa-líder, a Embraer - Empresa Brasileira de Aeronáutica, que constitui hoje uma marca brasileira de prestígio no setor de alta tecnologia mundial. A empresa foi criada por iniciativa do Governo Federal no dia 19 de agosto de 1969 e fundada em 02 de janeiro de 1970, como Sociedade de Economia Mista de capital aberto, controlada pela União e vinculada ao Maer (Ministério da Aeronáutica Brasileira), tendo os seus fundadores recebido a missão de implantar e disseminar a indústria aeronáutica no país, movidos por uma forte racionalidade militar. Dessa forma, delineou-se uma trajetória de autonomia e inovação tecnológica de sucesso, nucleada basicamente no aprendizado seletivo de tecnologias-chave para a sua estratégia de manufatura e na conquista planejada de nichos dos mercados doméstico e mundial de aeronaves de médio porte. A Embraer conquistou o mercado de transporte aéreo regional internacional com a linha do EMB-110 Bandeirante, para 19 passageiros, consolidando sua posição, posteriormente, com o EMB-120 Brasília, de 30 assentos. Os dois aviões garantiram à empresa, no passado, a liderança de vendas na categoria turboélices para os Estados Unidos, o maior mercado mundial de aviões e principal cliente da companhia.

No final da década de 80 e primeira metade de 90, a instabilidade política e o comportamento errático da economia nacional afetou de forma contundente o arranjo produtivo aeronáutico na região de São José dos Campos. O ambiente industrial e econômico local passou a sofrer um processo disruptivo, agravado pela crise dos complexos aeroespaciais e bélicos, formando uma elevada onda de desemprego e desativação de plantas industriais e empresas prestadoras de serviços para estes segmentos. As raízes desta crise devem ser buscadas ainda na década anterior. Até os anos 80, o setor público constituía-se na principal fonte de recursos para a pesquisa e desenvolvimento tecnológico, sendo responsável por cerca de 80% dos investimentos nessa área. Com o desequilíbrio fiscal e financeiro, e a crise política do Estado associada à deterioração do quadro macroeconômico nacional, presenciou-se uma paulatina redução dos orçamentos destinados para a P&D e um progressivo enfraquecimento da infra-estrutura para o desenvolvimento da pesquisa científica e tecnológica montada nos anos 70, repercutindo também no corte de verbas destinadas a compras governamentais no setor aeronáutico, espacial e de defesa. O próprio processo de democratização do país implicou na saída dos militares dos centros de decisão que constituíam um poderoso grupo de pressão na defesa dos interesses da Embraer. No cenário externo, a recessão no mercado de aviação regional e o final da Guerra Fria repercutiram de forma contundente no comportamento destes segmentos. No plano microeconômico o desequilíbrio financeiro da empresa também foi motivado por uma forte conjunção de variáveis, tais como:

- grandes projetos sem estrutura interna adequada de financiamento. Naquele momento poucas instituições financeiras privadas concediam crédito de longo prazo, e quando concediam, exigiam juros muito elevados. A Embraer, como era uma empresa estatal, tinha que submeter os financiamentos à aprovação do Congresso Nacional. Este processo era demorado, incerto e, muitas vezes, a autorização de captação de recursos não era aprovada. Dessa forma, recorria-se

aos empréstimos de curto prazo concedidos pelas agências ou bancos governamentais ou estrangeiros;

- desenvolvimento de projetos sem verificação prévia das condições do mercado e das necessidades de clientes potenciais (a exemplo do CBA-123);
- a ausência de uma consciência de custos na gestão empresarial e uma visão mais profunda do panorama negocial,
- falta de competitividade nos mercados interno e externo no que tange à oferta de financiamento aos clientes;
- apesar da história de excelência tecnológica da Embraer, sua gestão era excessivamente direcionada para a excelência da técnica, muito focada no produto e pouco para os resultados financeiros;
- perda de competitividade no mercado interno devido à carga de impostos; redução do apoio financeiro governamental, enquanto acionista, credor, avalista e regulador de crédito a empresa estatais.

Na segunda metade dos anos 90, este setor ingressou em uma nova etapa de reestruturação produtiva, inaugurando um novo ciclo de investimentos e crescimento econômico.

Em 7 de dezembro de 1994, após atravessar um período de grave crise econômica e financeira, na primeira metade da década de 90, a Embraer foi transferida para a iniciativa privada, tendo sido comprada por um consórcio de empresas e fundos de pensão liderados pelo Grupo Bozano Simonsen: um dos principais conglomerados brasileiros, com atuação nas áreas financeira, mineral, imobiliária, agrícola e industrial. O consórcio liderado pelo grupo Bozano Simonsen adquiriu 40% das ações com direito a voto da empresa. A nova administração centrou sua estratégia em quatro vetores básicos: I) formalização de um compromisso com uma administração de resultados, através de uma estratégia de reengenharia financeira, reestruturação patrimonial, organizacional e produtiva; II) reconstrução das relações com os clientes e

fornecedores através de uma política de busca incessante e foco dos esforços da empresa para a satisfação ao cliente; III) plano de ação com a identificação da missão da empresa, nova estratégia de mercado – baseada na identificação dos fatores críticos de competitividade (ver Tabela 1) e um plano de reestruturação organizacional e produtiva; IV) prioridade para a viabilização do programa ERJ-145. Neste quadro, a Embraer conseguiu reverter um cenário adverso de provável falência, marcado por uma situação econômica e financeira precária, para um quadro francamente favorável, com o sucesso de vendas do programa ERJ-145 (50 lugares) e ERJ-135 (35 lugares), tornando-se em 1998, a líder mundial de jatos regionais e conquistando a posição de 4ª maior indústria aeronáutica do Ocidente. Os contratos fechados durante a realização da Feira Aeroespacial de Le Bourget de 1999, em Paris, no valor de US\$ 6,6 bilhões, representaram um recorde na história da indústria aeronáutica mundial. A Embraer consolidou-se como uma empresa que projetou e construiu mais de 22 modelos de aeronaves, conduziu programas estratégicos para o setor de defesa nacional, comercializando mais de 5.200 aviões, que voam em mais de 40 países, e empregando cerca de 8.000 funcionários no Brasil. (Ver Tabelas 2 e 3)

Tabela 1: Fatores Críticos de Competitividade na Indústria Aeronáutica Civil

Internos à Empresa	<ul style="list-style-type: none"> • Marca • <i>Design</i> • Capacitação em P&D • Foco em competências estratégicas • Logística • <i>Marketing</i> • Qualificação dos recursos humanos • Suporte técnico • Estrutura de financiamento
Produto	<ul style="list-style-type: none"> • Imagem • <i>Time to market</i> • Inovação • Fator de aversão a um determinado motor

cont.

	<ul style="list-style-type: none"> • Produtividade • Conceito da família • Conceito de comunalidade • Custo de Aquisição por assento • Custo operacional (assento/distância percorrida) • <i>Performance/Despachabilidade</i>
Mercado	<ul style="list-style-type: none"> • Foco em nichos de mercado • Substituição de aeronaves turboélice por sistemas de propulsão à jato • Segmentação por necessidades técnicas • Atendimento a especificações dos clientes • Global
Configuração da Indústria	<ul style="list-style-type: none"> • Alianças Estratégicas • Economias de especialização • Interação com usuários • Sistema de ciência e tecnologia
Regimes de Incentivos e Regulação	<ul style="list-style-type: none"> • Apoio ao risco tecnológico e à P&D • Subsídios governamentais • Incentivos fiscais e tributários • Proteção seletiva • Poder de compra do Estado • Crédito aos usuários e financiamentos às vendas

Fonte: Bernardes, 2000b p. 542

Tabela 2: Evolução da Produção das Aeronaves da Embraer (em unidades)

Modelo	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
Civil																				
Bandeirante	73	67	32	10	23	2	4	7	10	2	8	1	2	0	0	1	1	0	0	0
Xingu	25	12	18	26	2	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Brasília	-	-	-	-	-	6	20	38	46	54	55	35	15	10	7	20	17	8	12	7
ERJ-145	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	32	62	81

cont.

ERJ-135	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16
Leves	315	169	117	66	106	112	107	111	81	121	67	51	33	49	43	28	24	24	26	17
Piper/Ipanema																				
Militar																				
Xavante	5	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Brasília	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Tucano	0	0	0	26	57	49	35	45	54	10	5	0	1	5	8	18	15	-	6	-
AMX	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	5	8	7	6	1	4	3	5	10	3
TOTAL	418	265	167	128	188	170	167	203	191	203	141	93	54	70	60	66	64	71	115	124

Fonte: Embraer

Tabela 3: CRONOLOGIA DOS EVENTOS HISTÓRICOS QUE MARCARAM A FORMAÇÃO
DO ARRANJO PRODUTIVO AERONÁUTICO DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS - 1999

- **1947** – Iniciadas as obras do Centro Técnico de Aeronáutica, dirigidas pelo COCTA – Comissão de Organização do Centro Técnico de Aeronáutica, instituída em 29/01/1946 e extinta em 26/11/1953.
- **1950** - No 2º semestre é transferido para esta cidade o CTA e sua escola o ITA - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, criado em 1947 no Rio de Janeiro. Os alunos são bolsistas do Ministério da Aeronáutica e além das aulas, têm também hospedagem, alimentação, serviços médicos-dentários e prática de todas as modalidades esportivas. Novo marco no desenvolvimento, instituindo o ciclo de ensino universitário no município.
- **1951** – Inaugurada a nova ligação Rio - São Paulo em 19/01, Rodovia Presidente Dutra – BR-116, a primeira com uma pista em asfalto, cortando o centro urbano da cidade.
- **1954** – É criado no CTA o Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento (IPD), com a finalidade de realização de pesquisas nas áreas fundamentais de aplicação aeronáutica (projeto de aeronaves, eletrônica, materiais, ensaios em vôo e motores. O aprimoramento de motores pulso-jato pelo Departamento de Motores do IPD foi uma das principais atividades do CTA na segunda metade dos anos 50. Deste instituto viriam posteriormente os dirigentes e o que seriam os primeiros produtos da EMBRAER. Os primeiros produtos fabricados pela empresa foram justamente aqueles desenvolvidos

cont.

pelo IPD do CTA, ou seja, o EMB-110 Bandeirantes (IP-6504), o planador Urupema (EMB-400) e o EMB-201 Ipanema (IPD-6909) e o EMB-326 Xavante.

- **1954** - é posto em curso o ambicioso projeto do Converteplano, um avião com hélice de decolagem vertical como helicóptero e a trajetória de voo na horizontal como de um avião convencional. Um dos resultados deste projeto foi o protótipo BF-1 - o Beija-Flor, um helicóptero biplace.
- **1969** – A Embraer nasceu a 19 de agosto, como uma empresa de economia mista onde a União detinha, por exigência legal, pelo menos 51% do capital votante, os quais deveriam ficar sob controle do governo através do Ministério da Aeronáutica.
- **1970** - A Embraer iniciou suas atividades fabris em janeiro, tendo a frente como o seu primeiro superintendente geral o Coronel Ozires Silva, que exercerá essa função por quase duas décadas. A Embraer iniciou suas operações com um quadro efetivo de 150 funcionários (todos provenientes do CTA – mais especificamente do IPD) num terreno estimado em 700 mil m². Os primeiros operários que viriam a trabalhar na linha de produção seriam recrutados, posteriormente, nos estratos superiores da indústria automobilística. O capital inicial que foi subscrito pela União Federal era da ordem de CR\$ 5 milhões (cerca de US\$ 1 milhão).
- **1971** – Início do desenvolvimento do Ipanema, aeronave destinado ao mercado civil agrícola. Ainda neste ano se dá o desenvolvimento do Xavante sob licença da empresa aeronáutica italiana Aermacchi destinado ao mercado militar.
- **1973** – Início do desenvolvimento do Bandeirante, aeronave destinado aos mercados militar e civil com 19 assentos.
- **1974** – Assinatura do contrato de cooperação industrial com a firma americana PIPER *Aircraft Company*. O Brasil até este período era um grande importador de pequenos aviões monomotores e bimotores de até 10 lugares de origem norte-americana.
- **1978** – Início do desenvolvimento das Aeronaves Xingu e Tucano.
- **1980** – O programa AMX é desenvolvido em cooperação com as participações da Aeritalia (46%), Aeronáutica Macchi (24%) e Embraer (30%).
- **1981** – É retomado o projeto da aeronave Brasília.
- **1989** – É desenvolvido o protótipo do projeto 12-X, denominado inicialmente EMB-123, e posteriormente rebatizado CBA-123, onde a sigla significava Cooperação Brasil-Argentina, visava substituir as aeronaves Bandeirante no mercado, tornando-se o grande fracasso da empresa.

cont.

- **1989** - Começam os primeiros estudos para o desenvolvimento do ERJ-145, que seria o primeiro jato a ser fabricado pela Embraer dentro do conceito de comunalidade e aproveitaria diversos componentes comuns com o EMB-120 Brasília e com o CBA-123.
- **1992** - A Embraer é incluída no Programa Nacional de Desestatização do governo brasileiro.
- **1994** - A Embraer é privatizada em 7 de dezembro. Entre os principais investidores do consórcio estavam: O Bozano, Simonsen Limited (13,65%), o Sistel (10,42%), a Previ (10,40%), o Bozano Leasing (3,63%) e a Fundação Cesp (1,9%). Considerando os 10% reservados aos funcionários da empresa, a Embraer foi privatizada por R\$ 265 milhões.
- **1996** – São vendidos 200 ERJ-145, na Feira de Farnborough, na Inglaterra para a empresa norte-americana Continental Express, sendo 25 vendas firmes, no valor de US\$ 375 milhões e opções para mais 175 aeronaves e, no Salão Aeronáutico de Le Bourget, na França, em 1997, a Embraer após uma disputa dramática com a Bombardier conquistou o maior contrato de fornecimento de aviões da sua história. Este contrato previa a encomenda de aproximadamente US\$ 1 bilhão, para a exportação de 67 jatos ERJ-145, destinados a subsidiária da American Airlines, a empresa aérea regional American Eagle, sediada em Dallas, nos EUA.
- **1997** – Anunciado o desenvolvimento do novo jato regional para 37 passageiros o ERJ-135.
- **1998** - Anunciado o desenvolvimento do novo jato regional para 40 passageiros o ERJ-140.
- **1999** – Anunciado o desenvolvimento da nova família de jatos regionais ERJ-170/190.
- **1999** - São vendidas ao consórcio francês liderado pelas empresas Aérospatiale Matra, Dassault Aviation, Thomson-CSF e Snecma, 20% das ações ordinárias da Embraer, permanecendo o controle acionário entre o grupo Bozano, Simonsen e dos fundos de pensão Previ, e Sistel.
- **1999** – É lançada a nova família de jatos regionais – ERJ-170, ERJ-190-100 e ERJ-200 para 70, 98 e 108 passageiros. São apresentados os novos produtos militares, o EMB 145 AEW&C e EMB 145 RS e o ALX.
- **1999** – A empresa Suíça Crossair é a primeira cliente da Embraer para o programa ERJ 170/190. No salão de Le Bourget deste ano, a empresa assinou o contrato de compra de 200 jatos, no valor de US\$ 4,9 bilhões, o maior negócio da história da Embraer.

Fonte: Embraer

2.3 Desenvolvimento de Capacitação e Inovação Tecnológica

2.3.1 Mecanismos Formais e Informais para Inovação e Aprendizagem

O processo inicial de transferência e aquisição de tecnologia pela Embraer se deu de forma excepcional e inédita na história da indústria nacional, pois além da absorção de toda a tecnologia desenvolvida pelo IPD (Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento) nos projetos das aeronaves (Bandeirantes, Urupema e Ipanema), houve, segundo Pasqualucci (1986 p.41):

a cessão de todo o corpo técnico, pessoal de administração e de quase a totalidade de sua Divisão de Aeronaves e parcelas menores de outras divisões do Instituto, proporcionando à nova empresa a imediata capacidade na fase de projeto técnica e organizacional, permitindo que assumisse de pronto, sua posição como organização produtiva e pudesse queimar etapas como centro de consolidação da indústria aeronáutica nacional.

A Embraer passou a atrair a mão-de-obra com as melhores qualificações disponíveis no mercado (CTA, IPT e empresas privadas), devido às condições e as perspectivas favoráveis de trabalho e remuneração oferecidas pela empresa.

A Embraer focalizou seus esforços nas tecnologias-chave que determinavam o avião como produto final, renunciando aos sonhos dos anos 30 e 40 de construir um avião, com motores, componentes, peças e aviônicos totalmente nacionalizados. Na estratégia delineada para a Embraer, o controle de tecnologia através da capacidade de integração de sistemas foi interpretado como uma meta mais crucial que o aumento do índice de nacionalização. Tal consciência permitiu que a empresa identificasse dois tipos de “tecnologias-chave”, que deveria atentar a cada vez que é galgado um degrau da escada tecnológica. São aquelas que apresentam um futuro promissor, como, por exemplo, os novos materiais, cujo potencial tecnológico e comercial é altamente estratégico, sendo também consideradas aquelas tecnologias que apresentam baixo

nível de complexidade, mas que são essenciais pois asseguram a liberdade de ajuste na fabricação de demandas específicas de projeto, de modo a permitir a concepção autônoma de projetos. Por outro lado, a descoberta das vantagens existentes no desenvolvimento de versões derivadas de modelo básicos, provenientes de custos mais reduzidos e rapidez no ciclo de produção, acabou por conduzir a Embraer a adotar o conceito de “família”, usado tanto pela Boeing como pela Airbus em suas linhas de grandes jatos comerciais. A “família” oferece a vantagem de comunalidade entre os aviões, o que significa menor custo de infra-estrutura de manutenção, menores custos de treinamento de pilotos e pessoal técnico e a possibilidade de upgrade dos tripulantes. Ou seja, menores custos e mais rápida disponibilidade dos aviões operadores. Além de reduzir o time-to-market, as decisões de marketing são agilizadas, permitindo ao fabricante entrar com o seu produto no mercado em um menor espaço de tempo, cerca de dois ou três anos, metade dos cinco ou seis anos que leva normalmente um projeto novo. Este conceito foi aplicado no desenvolvimento de vários aviões como caso do Bandeirante, Xingu, Brasília, CBA-123 e o ERJ-145, tendo alguns destes se consagrado como grandes sucessos do mercado aeronáutico mundial de commuter e assegurado o reconhecimento, o prestígio e a notoriedade da empresa.

Estes três enfoques: - o conceito de “família”, que permite a vantagem da comunalidade associada às trajetórias de cumulatividade e coerência no aprendizado organizacional e tecnológico de alta complexidade, - aquele que permite identificar as tecnologias-chave críticas que permitem o seu aperfeiçoamento e sua apropriação, e - a estratégia de investimentos vigorosos na capacitação dos recursos humanos, se cristalizaram na coluna central na busca pela autonomia tecnológica da Embraer. A empresa delineou uma trajetória relacionada tanto ao “Know-how”, mais especialmente ao “Know-why”, quanto aos processos de capacitação e inovação tecnológica desde o tempo em que era uma empresa estatal. A ênfase na

transferência de tecnologia para a capacitação da produção industrial é também um bom exemplo das iniciativas estratégicas. Neste plano, destaca-se o aprendizado adquirido com:

- a comercialização, mediante acordo com a Piper viabilizado pela virtual reserva de mercado estabelecida pelo governo;
- assistência técnica e manutenção de aeronaves (acordos de venda com companhias aéreas operadoras);
- fabricação de componentes complexos sob encomenda (subcontratação com a Douglas e a Boeing), e o acordo de “offset” entre o Ministério da Aeronáutica e a empresa norte-americana Northrop Grumman, de quem o Brasil havia adquirido os caças F-5, o que beneficiou a Embraer na aquisição de alguma capacitação tecnológica nas áreas de engenharia, soldagem metal-metal, materiais compostos e no uso de máquinas de controle numérico. (DAGNINO, 1994 p.52)

As interações de aprendizagem do tipo usuário/fornecedor são intensas. A Embraer se tornou conhecida no mercado mundial por ser uma usuária de equipamento e softwares extremamente qualificada, não se contentando simplesmente em saber operar os serviços ou a tecnologia que compra, mas, sobretudo, buscando, a partir do conhecimento operacional, modificar a tecnologia às suas necessidades, e em muitos casos, aperfeiçoando, corrigindo defeitos, e, até mesmo, abrindo novas oportunidades de mercado para o produto. Saliente-se ainda que a Embraer sempre destacou-se e distinguiu-se, em relação ao setor produtivo brasileiro, pela percepção estratégica quanto aos programas de qualificação e formação profissional dos seus funcionários no plano geral. Na construção de sua escalada tecnológica a excelência nos recursos humanos sempre foi considerada como fator crítico de sucesso. E, nesse sentido, identifica-se também a importância e o enfoque estratégico que a empresa conferiu ao longo de sua existência nas formas de aprendizados pelo treinamento (learning by training). Nos anos iniciais da empresa,

durante o processo de transferência da tecnologia de fabricação do programa Xavante, cerca de 70 funcionários da empresa foram treinados na Itália. Desse modo, a empresa pode rapidamente, passar da operação de montagem à operação de fabricação nacional deste avião. Especialmente relevantes foram as parcerias para o treinamento da mão-de-obra desenvolvidas nos programas AMX e, posteriormente, nos anos 90, no ERJ-145.

Pode-se dizer que, com as mudanças ocorridas com o processo de privatização, a Embraer é hoje uma das poucas empresas nacionais que dispõe de ampla excelência no processo completo de aprendizagem tecnológica. É dedicada grande importância à codificação do conhecimento técnico, à sua transformação em informação e, sobretudo, a sua difusão rápida pelos canais de comunicação corporativa da empresa. Além disso, a Embraer é altamente capacitada, sobremaneira por mecanismos de:

- learning by doing, especialmente no processo de manufatura, na montagem da fuselagem e na integração de sistemas, após as atividades de P&D terem se completado, materializando-se no desenvolvimento de habilidades no processo produtivo, reduzindo o custo unitário da mão-de-obra por unidade de produto, ou ainda buscando níveis ótimos de qualidade;
- learning by using, cujas dinâmicas no uso de produtos complexos, novos materiais, software ou aviônicos resultaram tanto em práticas de operação, adaptação e manutenção mais eficazes quanto em melhorias incrementais no produto;
- learning by interacting, que decorre da interação e gestão institucional entre os parceiros e os fornecedores conectados por fluxos de informações, de bens e serviços.

Pode-se também dizer que o ciclo de inovação tecnológica é atualmente percebido como uma dinâmica empresarial não exclusivamente restrita às rotinas de P&D, uma vez que os processos de aprendizado tecnológico têm demonstrado que

estas exigem uma forte integração e intercomunicação, ou melhor, uma interdependência entre as esferas técnica, de produção, de recursos humanos, financeira-econômica e de marketing, de maneira que possa ser desempenhada pela organização ao mesmo tempo em que atenda também às necessidades do mercado, o que implica a fusão e cooperação entre muitas atividades nas áreas funcionais da Embraer.

Verifica-se uma notável competência no learning by changing (aprendendo ao mudar), especialmente na nova etapa inaugurada com o ERJ-145, exigindo da empresa uma grande flexibilidade e esforço de aprendizagem para o relacionamento e a gestão orgânica entre as firmas e os recursos humanos de outros países, implicando na formação de uma nova cultura, de valores guiados por uma percepção transnacional, e a necessidade de constantemente recriar e renovar seu modelo organizacional e a sua estratégia de acordo com as pressões de mercado, para assegurar a sua sobrevivência e competitividade.

2.4 Processo Produtivo, Base Tecnológica e Logística

Do ponto de vista operacional, as metas de melhoria do aprendizado tecnológico na Embraer são almeçadas através de técnicas como cultura de time de inovação, com times específicos para tratar de melhorias como “trade studies” e “lison engineering”, ferramentas de simulação e sistemas on-line de gerenciamento da produção através de códigos de barras. Na dimensão da organização do trabalho a Embraer ascendeu às modalidades de flexibilidade funcional do trabalho através de inovações na gestão operacional dos processos de produção, com a adoção de técnicas como o “trade studies”, que consiste em grupos interdisciplinares de melhoria contínua de produtividade e qualidade (*Kaizen*). Outra técnica que mudou radicalmente os processos de trabalho e de produção foi a adoção do sistema “lison

engineering”, um sistema de interligação entre as diversas áreas da empresa, que auxilia as tomadas de decisão e eventuais resoluções de problemas de um time de trabalho, alocado em tempo integral para esta atividade, e que presta suporte ao produto na fase de sua montagem ou fabricação. Com a adoção do “lison engineering” houve uma redução de 50% do ciclo de trabalho na fase de produção das aeronaves EMB-120 e ERJ-145, segundo Bernardes (2000a p.295). A empresa investiu, em 1996, cerca de US\$ 8 milhões em melhorias de processos das linhas de fabricação, visando o aumento de produtividade. Para 1997 foram efetivados investimentos da ordem de US\$ 25 milhões, destinados à modernização de equipamentos e de máquinas, aperfeiçoamento de “layout” e de sistemas de informação, controle e programação da produção. Na área operacional os ganhos de eficiência resultaram na redução dos prazos de fabricação do Brasília, que passaram de 14 meses para 8 meses, posteriormente, reduzindo para 6 meses. Os resultados do processo de reestruturação da empresa podem ser apreciados pelos ganhos de produtividade por funcionário, os quais, em 1999, foram 3,1 vezes superiores aos de 1994 (ver Tabela 4).

Tabela 4: Indicadores de Produção

Indicadores de Produção	95	96	97	98	99
Ciclo de produção (meses) – ERJ-145	-	8	7	5,5	5,5
Cadência de Produção (nº de aeronaves)	-	5,9	4,5	3,6	11
Produtividade (receita/pessoal ocupado) (US\$ Mil)	82	98	166	227	252
Índice de Sucata/retrabalho (%)	-	2,4	1,2	1,0	0,9
Taxa de Gravidade (nº de dias) (Dia perdidos/horas trabalhadas)	132	191	77	72	-
Taxa de Frequência (por milhão de horas trabalhadas)	7,1	5,9	4,5	3,8	-

Fonte: Embraer

A empresa dispunha, em 1999, de um parque de 106 máquinas-ferramenta com controle numérico computadorizado e 11 centros de usinagem de controle numérico. Seu parque informático era composto por 4.500 microcomputadores PC, sendo 250 microcomputadores dedicados às estações de CAD/CAE e CATIA, 150 estações com Intergraph e 1 servidor CAE. No departamento de projetos, a relação de densidade de informática era de 1/1, isto é, de um computador para cada engenheiro. Para o conjunto da empresa, considerando os 8.000 funcionários, o indicador de densidade era de $\frac{1}{2}$ (1 computador para cada 2 funcionários). Neste mesmo ano, baseada nos bons resultados obtidos na implementação de um Plano Piloto da Divisão de Usinagem (GFU), a Divisão de Estamparia (GFC) objetivando aumentar a cadência de produção dos aviões ERJ-135 e ERJ-145, implementou o sistema de gestão “Manufatura Enxuta” (ou Lean Manufacturing). Com este novo sistema aplicado nos revestimentos calandrados das seções centrais II, III e IV das fuselagens das aeronaves ERJ-135 e ERJ-145, houve uma redução imediata de 52% nos ciclos de montagens e praticamente 100% de melhoria da qualidade no Kit completo dos revestimentos calandrados da fuselagem do avião.

2.5 Estratégia de Inovação

Antes da privatização a Embraer não dispunha de um órgão ou departamento, cuja principal função fosse a de monitorar tecnologias críticas para a empresa. Tal atividade estava internalizada na estratégia de formação de recursos humanos da empresa e nas próprias atividades dos departamentos técnicos em constante revisão da literatura especializada e acompanhamento de artigos e revista do setor, além do estabelecimento de parcerias e contato constante com fornecedores internacionais. A empresa tem buscado melhorar seus processos tecnológicos, índices de qualidade e aplicação de novas tecnologias. A formalização de estratégia tecnológica é fundada

pela intensificação da avaliação do ambiente externo à Embraer através do “benchmarking” por um programa instituído – e hoje já extinto, uma vez que foi considerado como incorporado à estratégia competitiva permanente da empresa – chamado “Brainware” que pesquisa novas tecnologias no mercado (in loco) e nos principais fabricantes aeronáuticos mundiais como a Boeing, McDonnell Douglas, Sikorsky e também em Centros de Pesquisa. Por este método, foram adotadas tecnologias de desempenho automático de chapas, rebiteagem automática, identificação de peças por código de barras, automação da fábrica de cablagens, entre outras. Em 1999, o programa foi extinto, uma vez que, os objetivos de atualização tecnológica foram alcançados com êxito e a percepção da área de engenharia considerava-o plenamente incorporado à estratégia e à rotina produtiva da Embraer.

A estratégia tecnológica é focalizar nas tecnologias que trazem retorno econômico aos investimentos. A nova política consiste na compra de sistemas comerciais e pacotes tecnológicos, desde que o domínio do desenvolvimento dos mesmos não seja considerado como uma vantagem competitividade para a empresa. Neste caso, se o desenvolvimento de uma tecnologia for considerado crítico para a Embraer, ele será levado a cabo pela própria empresa (a Tabela 5 apresenta uma visão sobre quais seriam algumas tecnologias que poderiam ser consideradas críticas para o mercado aeronáutico civil). Ao longo da década de 90, os gastos em P&D mantiveram-se em um patamar elevado, decrescendo após o período de privatização. Mesmo assim, segundo Bernardes (2000b, p.563), a Embraer prossegue investindo altos montantes em P&D, cerca de 4% em relação ao seu faturamento.

Tabela 5: Tecnologias críticas no mercado aeronáutico civil

- **Difusão de técnicas japonesas:** também conhecida como “*lean production*”, a adoção deste novo modelo produtivo tem proporcionado impactos substanciais nos padrões de integração e flexibilidade produtiva, nos processos de montagem e organização do trabalho na produção;

cont.

- **Aplicação de novos conceitos de engenharia baseados em aquisição e gestão do conhecimento:** a introdução de novos *softwares* e padrões organizacionais permitem que o conhecimento e aprendizado gerado seja codificado e transmitido com maior velocidade e precisão, liberando o trabalhador para a realização de atividades mais criativas, adensando as competências, as rotinas e o conteúdo de trabalho direcionado à inovação;
- **Aplicação do conceito *Fly by Wire (FBW* ou “vôo por cabos”):** transição de tecnologias de controle de sistemas mecânicos/pneumáticos/hidráulicos para dispositivos eletrônicos, com a correspondente transição de polias e cabos/ar comprimido/fluidos hidráulicos para cabos de transmissão de dados e comendos. Esta tecnologia, baseada em um complexo sistema de informações, permite que todo o monitoramento e gerenciamento da aeronave e o próprio regime de funcionamento dos motores seja realizado por computador. Em todas as chaves de comando e manetes são instalados sensores eletrônicos que identificam sua posição e seus movimentos e, por meio de pulsos eletrônicos digitais, os transmitem ao sistema de destino que interpreta o sinal conforme o comando, isto é, os sinais digitalizados são interpretados por uma rede de computadores (em redundância para aumentar a confiabilidade) que compõe o “cérebro” do FBW. Em resposta, os computadores enviam uma “ordem”, através de cabeamento digital, para os servos hidráulicos que atuam nas superfícies de vôo. A principal empresa detentora desta tecnologia é a Airbus. O projeto mais ambicioso da aviação civil no momento, a aeronave A380, incorpora muito desta tecnologia. No mercado militar o supercaça norte-americano de superioridade aérea, o F-22 Raptor, é dotado de uma tecnologia *fly by wire* de última geração;
- **Sistemas e aviônicos de *flight* digitais:** transição dos instrumentos de vôo (aviônicos) analógicos para sistemas digitais de maior precisão, com a substituição dos tubos de raios catódicos por telas de cristal líquido. Os sistemas de navegação e gerenciamento de vôo são conectados à um computador (FMC), consolidado o conceito FMS - *Flight Management System*, no qual os vários sistemas de informação alimentam esse computador. Um grande avanço nesta área é o MFD – *Multi Function Display*, telas onde são demonstradas as informações de vôo e que podem intercambiar estes dados com outras telas dos painéis.

Os sistemas de navegação usam inercial a laser e o GPS – *Global Positioning System* – para a determinação da posição; Além disso, os sistemas de comunicação usam ACARS com SATCOM. O uso desta tecnologia tem possibilitado a comunicação entre a aeronave, os sistemas de controle de tráfego e a própria empresa, proporcionando serviços como telefonia, TV e Internet para os passageiros. A nova família da Airbus A320/A330/A340 e a nova versão do 737 da Boeing já incorporam estes sistemas. No Brasil, a família ERJ-145 da Embraer também incorpora estas tecnologias;

- **Aplicação de tecnologia de imersão e interatividade no desenvolvimento de projetos baseadas em princípios de Realidade Virtual:** a adoção desta nova tecnologia possibilita a redução do prazo de desenvolvimento do projeto de uma aeronave, assim como eleva substancialmente os padrões de qualidade na produção. No exterior, empresas como a Boeing, British Aerospace e Bombardier já utilizam estes sistemas a cerca de 7 a 9 anos.

Fonte: Embraer

Dos gastos em atividades de inovação realizados pela empresa, cerca de 50% são destinados em P&D interna, 30% em desenho industrial, 15% em comercialização de novos produtos e 5% são gastos de capital em plantas, máquinas, software e outros equipamentos associados com novos produtos ou processos (ver Tabela 6).

Tabela 6: Indicadores de Investimento da Embraer (Valores em US\$ Milhões)

	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
<i>Investimentos</i>										
P&D Total/Receita Bruta (%)	12	7	4	7	17	17	14	5	5	4
P&D Total	128	48	24	35	55	92	96	69	141	68
P&D Civil	-	-	-	-	-	69	84	44	56	20
P&D Militar	-	-	-	-	-	23	12	25	85	48
Equip.Informática	0,9	0,5	0,2	1,1	1,0	1,5	3,2	5,0	14,0	6,0

Fonte: Embraer

Na concepção do projeto do ERJ-145 foram aplicados os princípios de engenharia simultânea (“Concurrent Engineering”) a fim de eliminar a necessidade de modificações oriundas de problemas de produção e manutenção. A aplicação da engenharia simultânea com ligação em tempo real via CAD/CAM durante todo o processo de desenvolvimento, envolveu os diversos setores de projeto, manufatura e assistência técnica da própria Embraer e as engenharias dos principais fornecedores. Uma das grandes inovações do programa ERJ-145 foi na tecnologia de design. O projeto de cada componente e peça, no total de cerca de 19.518 itens diferentes, foi facilitado pelo uso de uma nova tecnologia que tem raízes no CAD (Computer Aided Design), que já era usado no desenvolvimento do Brasília. Denominado mock-up eletrônico, esse recurso não só fez com que o ERJ-145 fosse totalmente projetado por computador, como praticamente eliminou um das mais tradicionais etapas do desenvolvimento de uma aeronave. Ao gerar imagens tridimensionais de cada peça e componente do ERJ-145 em tempo real e integrá-las em único banco de dados, o mock-up eletrônico possibilita uma minuciosa análise de cada peça da aeronave e sua interface com os demais componentes ao seu redor. Com tal procedimento, eliminou-se o tradicional trabalho de mock-up (modelo em tamanho natural para estudo) de engenharia fabricado em madeira. Isso significou a redução de 50% do pessoal alocado (uma redução de 75 para 38 engenheiros) para a realização deste trabalho, economizando-se cerca de 93.000 homens/horas de trabalho e aproximadamente US\$ 3 milhões.

O desenvolvimento completo do jato absorveu 2 milhões de horas de trabalho, ou aproximadamente quatro anos.

3 MANUFATURA ENXUTA (LEAN MANUFACTURING)

Histórico, Principais Conceitos e Mapeamento do Fluxo de Valor

3.1 Histórico da Manufatura Enxuta

A expressão "Lean Manufacturing", definida por John Krafcik, pesquisador do International Motor Vehicle Program e que foi traduzida em nossa língua como Manufatura Enxuta, é uma faceta de um revolucionário sistema oriental – denominado ocidentalmente de Produção Enxuta ou Lean Production – e possui em seu cerne uma dimensão fundamental: requer menores recursos, maximiza a eficiência e a produtividade e, principalmente, maximiza a flexibilidade, sendo mais ágil, inovadora e capaz de enfrentar melhor as mudanças conjunturais e de mercado. “Em quase todos os aspectos, veio a contrapor-se aos dois outros métodos clássicos de produção concebidos pelo Homem: a Produção Artesanal e a Produção em Massa” (WOMACK; JONES; ROOS; 1992).

O produtor artesanal, desde os primórdios da evolução manufatureira, lançava mão, quase sempre, de trabalhadores altamente qualificados e ferramentas simples, mas altamente flexíveis, para produzir o que o cliente mais desejava: um item de cada vez, muitas das vezes, exclusivo. Essa produção tanto possuía sofisticação e qualidade de acabamento quanto duas grandes desvantagens econômicas: “resultava em grandes lead times e era cara demais para a maioria das pessoas tornando-se, com o passar do tempo, inviável comercialmente” (WOMACK; JONES; ROOS; 1992).

Após a Primeira Guerra Mundial, Alfred Sloan, da General Motors e Henry Ford, da Ford Motors, conduziram a mudança de séculos de produção artesanal de bens – cuja liderança era européia – para a chamada Era da Produção em Massa. Este sistema de produção, que foi utilizado primeiramente nas indústrias

automobilísticas americanas, foi posteriormente difundido nas indústrias da Europa. E mesmo nas primeiras décadas do século XX, a maioria dos europeus era incapaz de distinguir as vantagens e idéias universais da produção em massa de sua origem norte-americana.

O produtor em massa, por sua vez, utilizava-se de profissionais excessivamente especializados para projetar produtos que eram manufaturados por trabalhadores sem qualificação ou semi-qualificados, em máquinas dispendiosas e especializadas em uma única tarefa. Por ser dispendiosa a mudança de um produto, este era mantido como padrão o maior tempo possível e com métodos de trabalho muitas vezes monótonos e obsoletos. Com isso, o consumidor obtinha preços mais baixos, em detrimento de variedade e qualidade.

“A produção em massa deixava muito a desejar em termos de competitividade e atendimento aos anseios consumistas emergentes” (WOMACK; JONES; ROOS; 1992). Mas, ao contrário do que se imagina, a chave para este tipo de produção não residia na linha de montagem em movimento contínuo, mas sim na completa e consistente intercambialidade das peças, em sua simplicidade e na facilidade de ajustá-las entre si. Foram estas inovações que tornaram a linha de montagem possível, reduzindo-se drasticamente os custos de fabricação e aumentando a qualidade do produto, superando os problemas da produção artesanal.

O surgimento do conjunto de filosofias e técnicas da Manufatura Enxuta na indústria japonesa – um pioneirismo de Eiji Toyoda e Taiichi Ohno, da Toyota, ocorrido após a Segunda Grande Guerra – deu-se porque as idéias convencionais para o desenvolvimento industrial do Japão pareciam não funcionar mais. Todavia, “o salto japonês logo ocorreu, à medida que outras companhias e indústrias do país copiavam o modelo desse notável sistema”. (WOMACK; JONES; ROOS; 1992).

O produtor enxuto, em contraposição aos dois anteriores, combina as vantagens da produção artesanal e em massa, evitando a rigidez desta e os altos

custos da primeira. Assim, a manufatura enxuta emprega equipes de trabalhadores multiquificados em todos os níveis da organização, além de perseguir custos sempre declinantes, nível zero de estoque, e de desenvolver ou adquirir máquinas altamente flexíveis, para produzir uma maior e sempre crescente variedade de produtos, tendo sempre em mente a máxima satisfação do cliente – a qualidade aplicada (WOMACK; JONES; ROOS; 1992).

Passado quase meio século, inúmeras companhias ocidentais compreenderam a filosofia da Lean Manufacturing. Todavia, o mundo ainda tem imensa carência de capacidade competitiva de produção enxuta e um excesso de capacidade não-competitiva de produção em massa.

Uma das diferenças mais impressionantes entre os dois sistemas reside nos objetivos finais: os "produtores em massa" estabelecem para si uma meta limitada, o produto "bom o suficiente", enquanto os "produtores enxutos" almejam abertamente a perfeição. Algo como a qualidade perfeita. É claro que essa perfeição é algo praticamente inatingível, ou então seu custo é altíssimo pelos padrões atuais, mas sua busca incessante continua gerando efeitos surpreendentes. A perfeição é como o infinito. Tentar imaginá-lo (e chegar lá) na verdade é impossível, mas, segundo Womack e Jones (1996, p.94) *o esforço para fazê-lo oferece a inspiração e a direção essenciais para o progresso ao longo do caminho.*

Outra diferença recai sobre o modo como as pessoas trabalham. Enquanto a maioria delas achará seu trabalho mais estimulante – inclusive os operários de chão de fábrica – à medida que a produção enxuta vai se disseminando e sua produção aumentando, poderá ocorrer que suas tarefas se tornem mais estressantes. Isso porque um dos objetivos-chave desse sistema de produção é trazer a responsabilidade para a base da pirâmide organizacional, responsabilidade essa que significa liberdade para controlar o próprio trabalho – uma vantagem – mas que aumenta o temor de cometer erros que acarretem prejuízo, certamente uma

desvantagem em nossa mentalidade de insegurança no emprego e de poucos estímulos aos processos de tomada-de-decisão nesse nível.

3.2 Principais Conceitos e Definições

3.2.1 Os Conceitos

“Muda” é uma palavra japonesa que significa desperdício, e o desperdício é, por sua vez, definido como sendo toda atividade humana que absorve recursos mas não cria valor.

Enquanto o executivo da Toyota, Taiichi Ohno, (1912-1990), o mais feroz crítico do desperdício que a história humana já conheceu, identificou os sete tipos de desperdício, ou “muda”, da Produção, Shigeo Shingo trabalhou no sentido de divulgá-los, identificando quais seriam os caminhos mais viáveis para eliminá-los:

1) Desperdício de Superprodução

É o desperdício de se produzir antecipadamente à demanda, para o caso de os produtos serem requisitados no futuro.

A produção antecipada gera problemas e restrições do processo produtivo: tempos longos de preparação de máquinas, grandes distâncias a percorrer com o material, falta de coordenação entre demanda e a produção gerando grandes lotes, como consequência inevitável.

O Sistema de Manufatura Enxuta prega a produção somente do que é necessário.

2) Desperdício de Espera

É o material que está esperando para ser processado, formando filas que visem garantir altas taxas de utilização dos equipamentos.

O Sistema de Manufatura Enxuta enfatiza o fluxo de materiais (coordenado com o fluxo de informações) e não as taxas de utilização dos equipamentos, os quais somente devem trabalhar se houver necessidade.

A Manufatura Enxuta também coloca ênfase no homem e não na máquina. O homem não pode estar ocioso, mas a máquina pode esperar para ser utilizada.

3) Desperdício de Transporte e Movimentação

O transporte de materiais e a movimentação de pessoas são atividades que não agregam valor ao produto e são necessários devido às restrições do processo e das instalações, as quais impõem grandes distâncias a serem percorridas pelo material ao longo do processamento.

O Sistema de Manufatura Enxuta mostra que estas atividades são desperdícios de tempo e recursos que devem ser eliminados pela redução dos estoques a praticamente zero e por um arranjo físico adequado que minimize as distâncias a serem percorridas, tanto por pessoas quanto por materiais.

4) Desperdício de Processamento

É o desperdício inerente a um processo não otimizado, ou seja, a existência de etapas ou funções do processo que não agregam valor ao produto.

A Manufatura Enxuta questiona e investiga qualquer elemento que adicione custo e não valor ao produto.

- Por que determinado componente deve ser fabricado?
- Qual a sua função no produto?
- Por que esta etapa do processo é necessária?

5) Desperdício de Movimento

São os desperdícios presentes nas mais variadas operações do processo produtivo.

O Sistema de Manufatura Enxuta procura a economia e consistência nos movimentos através do estudo de métodos e tempos do trabalho, se apoiando em soluções simples e de baixo custo. É preciso, em primeiro lugar, aprimorar-se os movimentos para, somente então, mecanizar e automatizar pois, caso contrário, corre-se o risco de automatizar o desperdício.

6) Desperdício de Produzir Itens/Produtos Defeituosos

São os desperdícios gerados pelos problemas da qualidade. Produtos defeituosos implicam em desperdício de materiais, mão-de-obra, uso de equipamentos, além da movimentação e armazenagem de materiais defeituosos.

O Sistema de Manufatura Enxuta aperfeiçoa o processo produtivo de maneira tal que previna a ocorrência de defeitos, para que se possa eliminar as operações de inspeção.

A Manufatura Enxuta procura sempre otimizar os processos já estabilizados, reduzindo continuamente a possibilidade da geração de defeitos.

7) Desperdícios de Estoques

No sistema de produção tradicional os estoques têm sido utilizados para evitar discontinuidades do processo produtivo, frente aos problemas de produção. Além da ocupação desnecessária de valioso espaço físico (que poderia estar sendo utilizado como espaço realmente “produtivo”) e do volume de recursos (humanos e burocráticos) mobilizados para seu controle e sua manutenção, o estoque ainda contribui para:

- Ocultar problemas da qualidade, pois o estoque gera independência entre os estágios do processo produtivo, rompendo o fluxo do processo como um todo.
- Ocultar os problemas de quebra de máquina, permitindo a manutenção do fluxo contínuo de produção, mesmo com quebra de máquina, o que estimula grandemente a atitude de postergação da correção dos problemas e a degradação da própria manutenção, bem como de seus resultados.
- Aumentar os problemas de preparação de máquina (setup), uma vez que os lotes grandes compensam e trazem embutidos em seus custos tanto a ineficiência quanto os altos custos de preparação das máquinas.

3.2.2 O Pensamento Enxuto e Seus Princípios

O “**pensamento enxuto**” é uma forma de especificar valor, alinhar na melhor seqüência as ações que criam valor, realizar essas atividades sem interrupção toda vez que alguém as solicita e realizá-las de forma cada vez mais eficaz. Em suma, o pensamento enxuto é “**enxuto**” porque é a forma de se fazer cada vez mais, com cada vez menos.

Princípios do Pensamento Enxuto

- 1- Valor
- 2- A Cadeia de Valor
- 3- Fluxo
- 4- Produção Puxada
- 5- Perfeição

3.2.2.1 Valor

O ponto de partida essencial para o pensamento enxuto é o valor. O valor só pode ser definido pelo cliente final, apesar de ser criado pelo produtor. Do ponto de vista do cliente, é para isso que os produtores existem.

O pensamento enxuto deve começar com uma tentativa consciente de definir precisamente o valor em termos de produtos específicos, com capacidades específicas, oferecidas a preços específicos, através do diálogo com clientes específicos. Para se fazer isso, é preciso ignorar os ativos e as tecnologias existentes e repensar as empresas com base em uma linha de produtos com equipes de desenvolvimento de produtos e processos fortes e dedicadas.

3.2.2.2 A Cadeia de Valor

É o conjunto de todas as ações específicas, necessárias para se levar um produto específico (seja ele um bem, um serviço, ou, cada vez mais, uma combinação dos dois) a passar pelas três tarefas gerenciais mais críticas em qualquer negócio:

- a tarefa de solução de problemas, que vai da concepção até o lançamento do produto, passando pelo projeto detalhado e pela engenharia.
- a tarefa de gerenciamento da informação que vai do recebimento do pedido até a entrega, seguindo um detalhado cronograma.
- a tarefa de transformação física, que vai da matéria-prima ao produto acabado nas mãos do cliente.

3.2.2.3 Fluxo

Nascemos em um mundo mental de “funções” e “departamentos”, o que nos leva à convicção comum de que as atividades devem ser agrupadas pelo tipo, para que possam ser realizadas de forma mais eficiente e gerenciadas com mais facilidade.

Além disso, para que tarefas sejam executadas eficientemente dentro dos departamentos, o bom senso diz que se deve realizar as tarefas semelhantes em lotes.

Um exemplo clássico deste pensamento é o caso dos agricultores, à medida que ficaram obcecados pelos lotes (a colheita anual) e estoques (a armazenagem de grãos).

Os primeiros a perceber o potencial do fluxo foram Henry Ford e seus sócios, em 1913. Ford reduziu em 90 % a quantidade de esforço necessário para montar o modelo T da Ford, adotando o fluxo contínuo na montagem. Mas ele só descobriu o caso especial, pois seu método funcionava quando os volumes de produção eram suficientemente altos para justificar as linhas de montagem de alta velocidade. No caso geral, **o verdadeiro desafio** é criar o fluxo contínuo na produção de pequenos lotes, de dezenas ou centenas de cópias de um produto, e não de milhões.

A Toyota obteve o fluxo contínuo na produção em baixo volume, na maioria dos casos sem linhas de montagem, aprendendo a trocar rapidamente de ferramentas quando da troca da fabricação/montagem de um produto para o próximo e dimensionando corretamente a capacidade, o formato e a disposição das máquinas, para que as etapas de processamento de diferentes tipos (por exemplo: molde, pintura e montagem) pudessem ser realizadas imediatamente umas após as outras, enquanto o objeto em produção era mantido em um fluxo contínuo.

Em suma, os resultados são melhores quando se focaliza o produto e suas necessidades, e não a organização ou o equipamento, de modo que todas as

atividades necessárias para se projetar, pedir e fornecer um produto ocorram em um fluxo contínuo.

3.2.2.4 Produção Puxada

O primeiro efeito visível da conversão de departamentos e lotes em equipes de produção e fluxo é que o tempo necessário para passar da concepção ao lançamento, da venda à entrega, da matéria-prima ao cliente, cai drasticamente, como podemos testemunhar em Womack e Jones (1996, p.213) avaliando o exemplo da Porsche com a redução do tempo da concepção ao lançamento de um novo modelo de 7 anos (em 1991) para 3 anos (conforme projeção feita para 1997).

Na verdade, com a aplicação motivada e consciente dos Conceitos e Métodos da Manufatura Enxuta, a expectativa é reduzir rapidamente o tempo de permanência na produção (“throughput”) à metade no desenvolvimento de produtos, em 75% no processamento de pedidos e em 90% na produção física.

Os sistemas enxutos podem gerar qualquer produto atualmente em fabricação, em qualquer combinação, de modo a acomodar imediatamente as mudanças na demanda.

Isso produz um fluxo de caixa extra, decorrente da redução dos estoques, e acelera o retorno sobre o investimento. Na verdade, é porque a capacidade de projetar, programar e fabricar exatamente o que e quando o cliente quer, significa que se pode prescindir da projeção de vendas e simplesmente fazer o que os clientes necessitam, ou seja, pode-se deixar que o cliente puxe o produto, quando necessário, em vez de empurrar o produto, muitas vezes indesejado, para o cliente.

3.2.2.5 Perfeição

A medida em que as organizações começarem a especificar com precisão o valor, a identificarem a cadeia de valor como um todo, à medida em que fizerem com

que os passos para criação de valor referentes fluam continuamente, e deixem que os clientes puxem o valor da empresa, algo muito estranho começará a acontecer. Ocorre aos envolvidos que o processo de redução de esforço, tempo, espaço, custo e erros é contínuo e incessante, sendo que, ao mesmo tempo, se passa a oferecer um produto que se aproxima ainda mais daquilo que o cliente realmente quer. De repente, a perfeição, o quinto e último conceito do pensamento enxuto, não parece uma idéia tão distante.

Por que? Porque os quatro princípios iniciais interagem entre si em um círculo poderoso. Fazer com que o valor flua mais rápido sempre expõe “muda” oculto na cadeia de valor. E quanto mais você puxar, mais revelará os obstáculos ao fluxo, permitindo a eliminação dos mesmos.

Para a melhor compreensão do detalhamento e da abrangência da implementação do **pensamento enxuto**, recomenda-se fortemente o estudo da representação esquemática dos Princípios, das Métricas a nível Empresarial e das 12 Práticas Abrangentes ilustradas na Figura 15 - Lean Enterprise Model (Top Level Architecture) Version 1.0, mostrada ao final do subcapítulo 4.3 LEM – Lean Enterprise Model.

3.3 Mapeamento do Fluxo de Valor

Depois de conhecidos os fatos históricos e abordados os conceitos básicos, cuja compreensão é essencial para se visualizar toda a abrangência do “pensamento enxuto” que orienta a Manufatura Enxuta, faz-se necessário estabelecer um alicerce, uma base, cuja função estratégica é a de estruturar toda a implementação – o Mapeamento do Fluxo de Valor.

3.3.1 O Fluxo de Valor

Trata-se de toda a ação (agregando valor ou não) atualmente necessária para cada produto, podendo considerar:

- (1) o fluxo de produção desde a matéria prima até o consumidor
- (2) o fluxo do projeto do produto, da concepção até o lançamento



Figura 1: O Fluxo de Valor

Fonte: adaptada de Rother e Shook (1998, p.3)

O mapeamento do fluxo de valor é uma ferramenta que utiliza papel e lápis, ajudando a empresa a enxergar e entender o fluxo de material e de informação à medida em que o produto segue o fluxo de valor (ROTHER; SHOOK; 1998, p.4).

O Mapeamento do Fluxo de Valor é uma Ferramenta essencial porque:

- Ajuda a visualizar mais do que simplesmente os processos individuais, por exemplo: montagem, solda, etc. Pode-se enxergar o fluxo.
- Ajuda a identificar mais do que os desperdícios. Mapear ajuda a identificar as fontes de desperdício no fluxo de valor.
- Fornece uma linguagem comum para tratar dos processos de manufatura.
- Torna as decisões sobre o fluxo aparentes, de modo que se pode discutí-las. De outro modo, muitos detalhes e decisões no seu chão de fábrica só acontecem por omissão.
- Agrega conceitos e técnicas enxutas, evitando a implementação de algumas técnicas de impacto isolado.

- Forma a base de um plano de implementação. Ao ajudá-lo a desenhar o fluxo de porta a porta que deveria operar - uma parte que falta em muitos esforços enxutos - os mapas do fluxo de valor tornam-se referência para a implementação enxuta. Imagine o leitor tentar construir uma casa sem uma planta!
- Mostra a ligação entre o fluxo de informação e o fluxo de material. Nenhuma outra ferramenta faz isso.
- É muito mais útil que uma ferramenta quantitativa e diagramas de layout que produzem um conjunto de passos que não agregam valor, lead time, distância percorrida, a quantidade de estoque, e assim por diante. O mapa do fluxo de valor é uma ferramenta qualitativa com a qual descreve-se em detalhes como a sua unidade produtiva deveria operar para criar o fluxo. Números são necessários para criar um senso de urgência ou como medidas e comparações antes/depois da implementação. O mapeamento do fluxo de valor é útil para descrever o que se está realmente fazendo para chegar a esses números.

3.3.2 Fluxos de Material e Informação

Dentro do fluxo de produção, o movimento do material dentro da fábrica é o fluxo que comumente é lembrado em primeiro lugar. Mas há outro fluxo - o de informação - que diz para cada processo o que fabricar ou fazer em seguida. Os fluxos de material e de informação são dois lados de uma mesma moeda, como pode ser visto na Figura 2 abaixo. Deve-se mapear ambos.

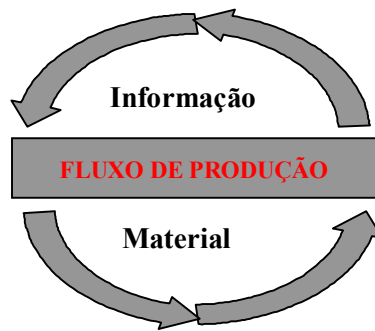


Figura 2 – Fluxos de material e de informação

Fonte: adaptada de Rother e Shook (1998, p.5)

3.3.3 O Gerente do Fluxo de Valor

Desenhar o fluxo de valor para uma família de produtos certamente exigirá a transposição dos limites organizacionais da companhia. Isso porque as empresas tendem a ser organizadas por departamentos e funções, ao invés do fluxo de etapas agregadoras de valor para as famílias de produtos, e geralmente não se encontra um responsável pela perspectiva do fluxo de valor. (Não é surpresa preocupar-se tanto com o Kaizen no nível de processo!) Partes do fluxo não estarão assistidas - significando que áreas de processos individuais operarão de modo ótimo somente sob suas óticas, não sendo considerada a perspectiva do fluxo de valor.

Muitas pessoas estão envolvidas na implementação enxuta e todas elas precisam entender o mapeamento do fluxo de valor para estarem aptas a enxergar o mapa do estado futuro. Mas o mapeamento e a equipe de implementação do estado futuro precisam ser liderados por alguém que possa enxergar através das fronteiras dos fluxos de valor de um produto. A melhoria do fluxo de valor - “Kaizen de Fluxo” - é a gerência da empresa implementando kaizen. A Figura 3, a seguir, apresenta uma boa visão sobre a relação entre kaizen do fluxo e kaizen do processo.

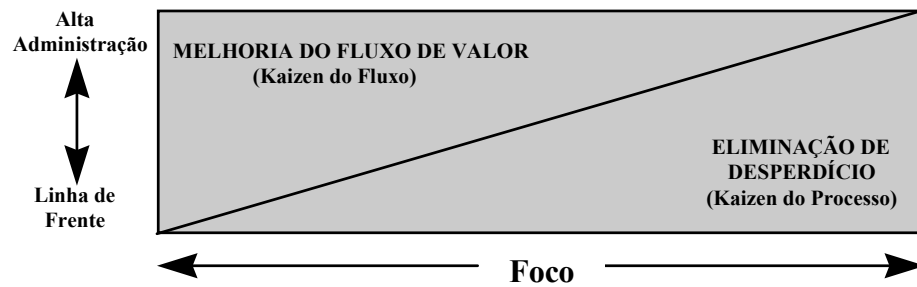


Figura 3 – Gerenciando o Fluxo de Valor

Fonte: adaptada de Rother e Shook (1998, p.6)

Não se deve cometer o erro de dividir a tarefa de mapeamento entre os gerentes das áreas e então esperar alinhar seus segmentos individuais. Deste modo, não se deve mapear a empresa, mas sim o fluxo dos produtos dentro da empresa.

Tanto o Kaizen de Fluxo como o de Processo são necessários na empresa; melhorar um é melhorar o outro também. O Kaizen do Fluxo concentra-se no fluxo de materiais e informação (os quais requerem ser vistos do alto) e o Kaizen do Processo focaliza o fluxo das pessoas e dos processos.

3.3.4 Usando a Ferramenta Mapeamento

Mapear o fluxo de valor pode ser uma ferramenta informal de comunicação, uma ferramenta de planejamento de negócios e uma ferramenta para gerenciar o processo de mudança.

O mapeamento do fluxo de valor segue as etapas mostradas na Figura 4 abaixo. Note-se que o desenho do estado futuro já está incluso, porque a meta é projetar e introduzir um fluxo enxuto de valor. Uma situação atual, sem um estado futuro, não é de muita utilidade.

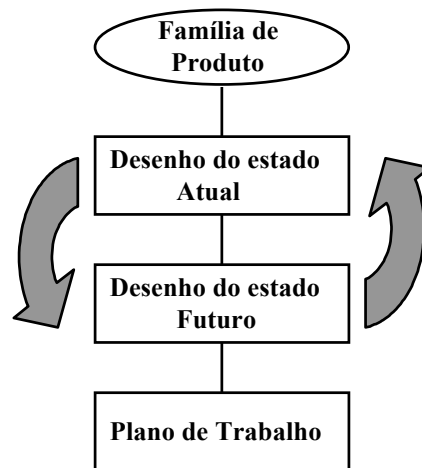


Figura 4 – Estratégia de Mapeamento

Fonte: adaptada de Rother e Shook (1998, p.7)

O primeiro passo é desenhar o estado atual, que é feito a partir de uma coleta de informações no chão de fábrica. Note-se que as setas entre o estado atual e o futuro vão em ambos os sentidos, indicando que o desenvolvimento do estado atual e futuro são esforços superpostos. As idéias sobre o estado futuro virão à tona enquanto se estiver mapeando o estado atual. Do mesmo modo, desenhar-se o estado futuro com frequência mostrará importantes informações sobre o estado atual que ainda não se havia percebido.

O passo final é preparar e começar a usar ativamente um plano de implantação que descreva, resumidamente, como se planeja a transição do estado atual para o estado futuro. Então, assim que o estado futuro tornar-se realidade, o processo de mapeamento se repete... porque sempre se precisa de um estado futuro. Isto nada mais é que a melhoria contínua no nível do fluxo de valor.

3.3.5 Desenhando o Mapa do Estado Atual

Uma vez escolhida a família de produtos (através de critérios como, por exemplo, a participação na Curva ABC, a criticidade dos lead times e a facilidade para

implantação do layout em células e avaliação dos resultados) deve-se coletar as informações do estado atual caminhando-se diretamente ao lado dos fluxos reais de material e informação. O mapeamento começa pelas demandas do cliente da sua família de produtos em questão, pois a área crítica para se começar qualquer esforço de melhoria é esclarecer as definições de valor de um produto a partir da ótica do consumidor. Caso contrário, corre-se o risco de melhorar um fluxo de valor que fornece eficientemente ao cliente final algo que não é realmente o desejado por ele.

Como primeira etapa, deve-se mapear o fluxo de material do produto registrando cada etapa do processo e suas paradas (seja por aguardar sua vez para o processamento posterior, seja por necessidade de espera para cura, transporte, inspeção, etc). Os dados típicos de processo que devem ser registrados no mapeamento são: tempo de ciclo, tempo de troca de ferramentas, tamanhos dos lotes de produção, número de variações de um produto, número de operadores, tamanho de embalagem, tempo de trabalho (menos os descansos), taxa de refugo e o tempo de operação real da máquina.

Na segunda etapa, adiciona-se o fluxo de informação, ou seja, mapeia-se como e com que frequência o chão de fábrica recebe informações do que, quanto e quando deve fabricar. Deve-se incorporar nesse mapa os fluxos de informações formais (ex. MRP) e os informais (controles manuais, ajustes, etc.).

A obra de Rother e Shook (1998, Appendix A) apresenta uma série de símbolos, ou “ícones”, que são normalmente utilizados para representar os processos e os fluxos. Pode-se desenvolver ícones próprios, adicionais, sendo a única sugestão dada a que sejam mantidos consistentes dentro da empresa, de modo que todos os envolvidos saibam como desenhar e entender os mapas que são necessários para instituir a Produção Enxuta.

Uma vez desenhados os dois fluxos juntos, pode-se ver como um mapa do fluxo de valor difere de uma tradicional ferramenta visual usada em análises de

operações - o layout das instalações, por exemplo. A partir da perspectiva do fluxo de valor do produto e do cliente, o mapa do fluxo de valor elimina a confusão e multiplicidade de eventos que fazem parte do layout da planta, como pode ser visto na Figura 5 abaixo.

Outra análise interessante é adicionar somente os tempos de agregação de valor para cada processo no fluxo do valor, e compará-lo com o lead time total; o resultado deverá causar um grande choque!

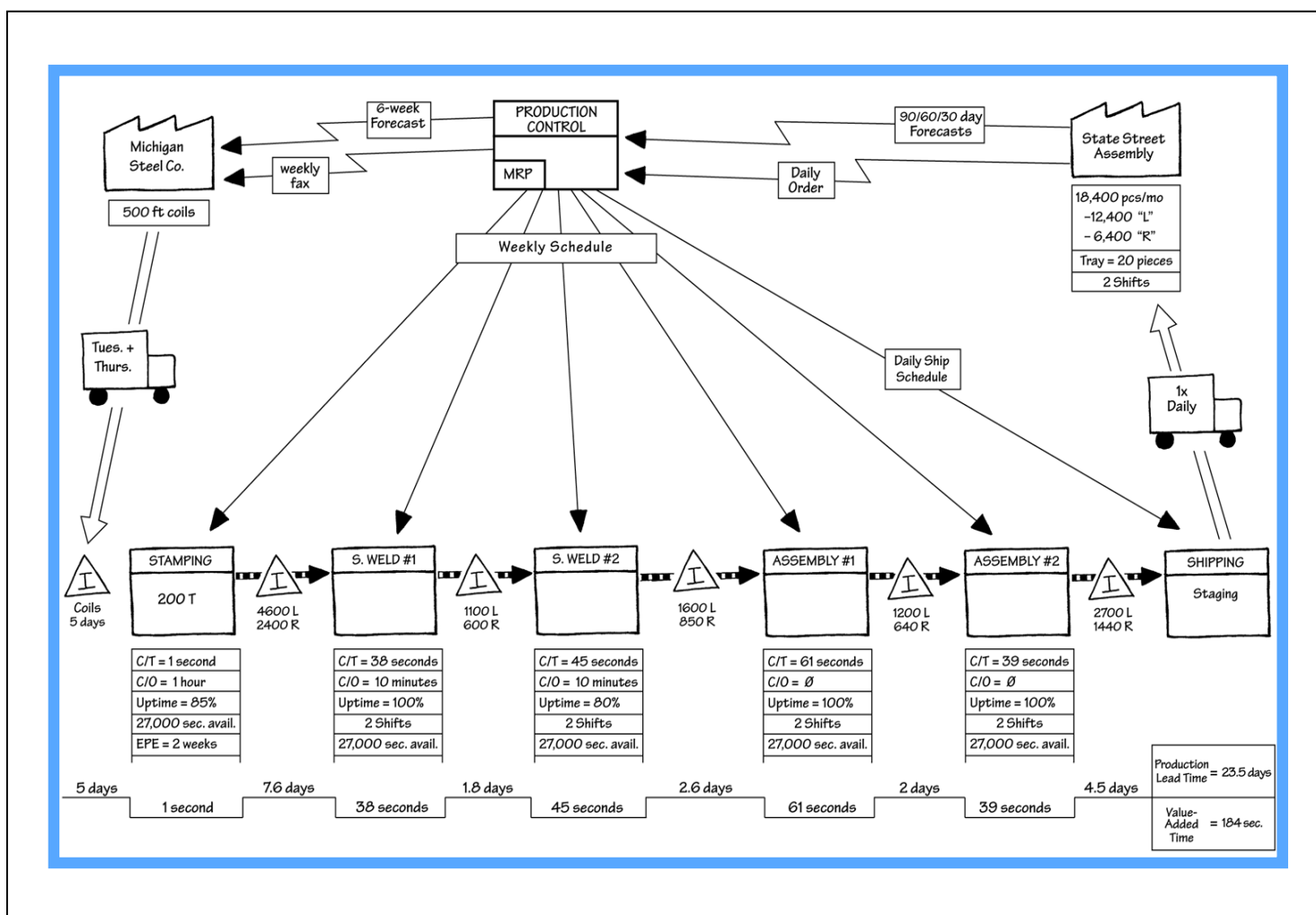


Figura 5 – Exemplo de um Mapa do Estado Atual

Fonte: Lean Enterprise Institute – Lean Manufacturing Conference, Abril 2001

3.3.6 O Que Torna um Fluxo de Valor Enxuto

Para reduzir um longo lead time, desde a matéria-prima até o produto acabado, tem-se que fazer mais do que simplesmente tentar eliminar o desperdício. Muitos esforços de implementação enxuta buscam a eliminação dos “sete desperdícios”. Embora seja bom estar atento ao desperdício, o projeto do estado futuro precisa eliminar as fontes ou “as causas básicas” do desperdício no fluxo do valor. A mais importante fonte de desperdício é o excesso de produção, que significa produzir mais, produzir antes, ou produzir mais rápido do que é requerido pelo processo seguinte. O excesso de produção causa todo o tipo de desperdício, não somente excesso de estoque e o correspondente valor em dinheiro alocado naquele estoque. Lotes de peças devem ser estocados, demandando espaço no galpão; manuseados, demandando pessoas e equipamentos; classificados e retrabalhados. O excesso de produção resulta em faltas, porque os processos estão ocupados fazendo as coisas erradas. Isto significa que se precisa de operadores e capacidade de equipamentos extras, porque está-se usando parte dos seus trabalhadores e equipamentos para produzir peças que ainda não são necessárias. Isto também faz crescer o lead time, o que prejudica sua flexibilidade em responder às necessidades do cliente.

3.3.7 Características de um Fluxo Enxuto de Valor

O que se tenta realmente fazer na produção enxuta é construir um processo para produzir somente o que o próximo processo necessita e quando necessita. Tenta-se ligar todos os processos - desde a matéria-prima até o consumidor final - em um fluxo regular, sem retornos, que gere o menor lead time, a mais alta qualidade e o custo mais baixo. Para isso sugere-se alguns passos:

- 1) Conhecer-se o Takt Time

O Takt Time é o tempo em que se deve produzir uma peça ou produto, baseado na taxa de vendas, para atender a demanda dos clientes. O Takt Time é usado para sincronizar o ritmo de produção com o ritmo da demanda. Ele é um número de referência que dá a noção do ritmo em que cada processo precisa estar produzindo e ajuda a enxergar os aspectos operacionais e o que se precisa fazer para melhorá-los, como pode ser visto na Figura 6 a seguir.

$$\text{Takt Time} = \frac{\text{tempo de trabalho disponível}}{\text{taxa da demanda do cliente}}$$

Exemplo: Com 480 minutos disponíveis em um dia típico, e demandando-se 32 unidades do produto por dia, temos $480 / 32 = 15$ minutos (Takt Time), ou seja, uma unidade a cada 15 minutos.

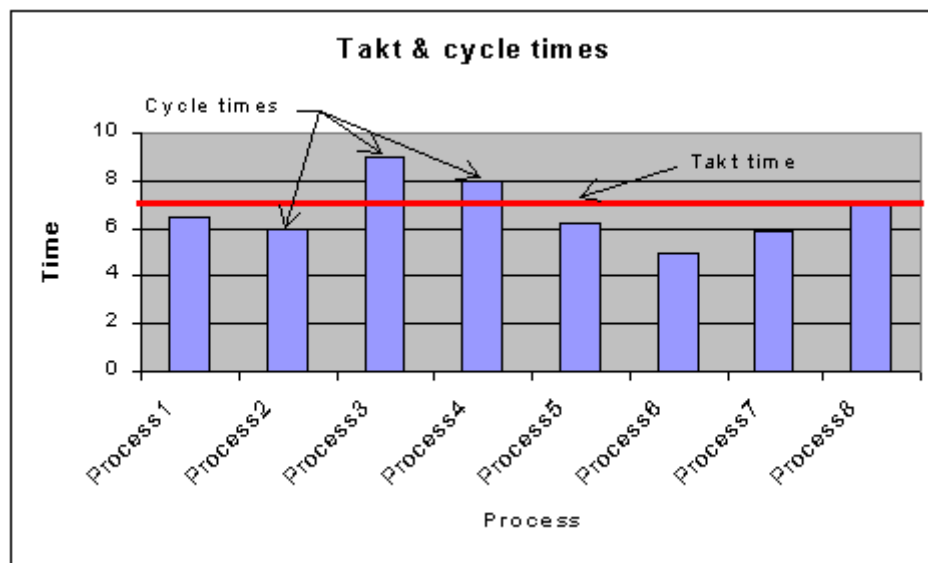


Figura 6 – Takt & cycle times

Fonte: Lean Enterprise Institute – Lean Manufacturing Conference, Abril 2001

O Takt Time também é utilizado para se determinar a quantidade ideal de operadores, que é resultante do Total da Soma do cycle time por operador (conteúdo de trabalho) dividido pelo Takt Time.

Exemplo: Com 350 minutos de cycle time por operador e um Takt Time de 15 minutos, temos $350 / 15 = 23,3$ (arredondado para 24), ou seja, são necessários 24 operadores para se atender à demanda.

Deve-se assegurar que cada um dos 24 operadores tenha um tempo válido de atribuição de tarefas o mais próximo possível de 15 minutos, assumindo que os membros do time possam dividir as tarefas igualmente em termos de desempenho, sendo, portanto, multiqualificados.

2) Desenvolver um Fluxo Contínuo onde for possível

O Fluxo Contínuo refere-se a produzir uma peça de cada vez, com cada item sendo passado imediatamente de um estágio do processo para o seguinte sem nenhuma parada entre eles. O Fluxo Contínuo é o mais eficiente modo de produzir e deve-se usar muita criatividade ao tentar implementá-lo.

Às vezes pode-se querer limitar a extensão de um Fluxo Contínuo puro porque todos os processos conectados a ele também apresentam como unificados todos os seus lead times, bem como os seus tempos mortos (tempos sem efetiva agregação de valor ao produto).

3) Tentar enviar a Programação do Consumidor somente a um processo de produção

Este ponto é chamado de Processo Puxador (definidor do ritmo), porque a maneira que se controla a produção neste processo define o ritmo para todos os processos anteriores. A seleção desse ponto de programação também determina quais elementos do fluxo de valor tornam-se partes do lead time, do pedido do cliente até o produto acabado. Note que a transferências de materiais do processo puxador até os produtos acabados deve ocorrer como um fluxo, por causa disto, o processo puxador é freqüentemente o último processo em um fluxo contínuo.

4) Controlar, com supermercados, a produção em todos os processos anteriores ao puxador

Nos processos anteriores ao Processo Puxador há partes do fluxo de valor onde não é possível estabelecer o fluxo contínuo. Pode haver muitas razões para isto, incluindo:

- Alguns processos que operam em ciclos de tempo mais rápidos e mudam com o tempo para atender a múltiplos fluxos de valor.
- Alguns processos, tais como aqueles localizados nos fornecedores, estão distantes e o transporte de uma peça de cada vez não é uma alternativa realista e economicamente viável.
- Alguns processos têm lead time muito elevado ou não são confiáveis o bastante para ligarem-se diretamente ao processo puxador.

Deve resistir-se à tentação de programar estes processos independentemente através do departamento de controle de produção. Ao invés disto, o controle da produção deles é feito através da ligação aos clientes posteriores, mais freqüentemente através de um sistema puxado baseado em supermercado (estoque de segurança com os variados tipos de peças produzidas nesse processo). Em resumo, precisa-se instalar um sistema puxado onde o fluxo contínuo seja interrompido e o processo anterior ainda deve operar com base em lotes.

O objetivo de colocar um sistema puxado entre dois processos é ter uma maneira de dar a instrução de produção exata ao processo anterior, sem tentar prever a demanda posterior e programar o processo anterior. Puxar é um método para controlar a produção entre dois fluxos. Deve-se liberar esses elementos do MRP, que procura programar as diferentes áreas da planta, deixando-se que as retiradas do processo posterior do supermercado determinem quando e quanto o processo anterior vai produzir.

5) Distribuir o “mix” de fabricação de produtos uniformemente no decorrer do tempo no processo puxador

É mais fácil programar longas corridas de um tipo de produto e evitar as mudanças (de ferramentas de usinagem, de moldes, de tintas na pintura, etc), mas isto cria problemas anteriores devido ao “efeito corda” (o efeito causado quando se movimenta para cima a extremidade inferior de uma corda pendurada verticalmente). Isto é, a variabilidade na programação da montagem final amplifica-se tanto quanto mais recuamos nos processos. Quanto mais variabilidade houver no último processo do fluxo de valor, maior o estoque em trânsito que cada processo anterior precisa manter. Nivelar o “mix” significa distribuir uniformemente a fabricação de diferentes produtos durante um período de tempo - a cada semana, dia, turno, ou até mesmo a cada hora. Se o “mix” de produção for nivelado no processo puxador, o supermercado anterior a ele pode ser muito menor, o que reduz ainda mais o lead time total.

6) Liberar e retirar somente um pequeno e uniforme incremento de trabalho no processo puxador

Muitas empresas liberam grandes lotes de trabalho para os seus processos no chão de fábrica, o que causa vários problemas:

- O volume de trabalho desempenhado normalmente ocorre de forma irregular no decorrer do tempo, com picos e depressões que causam sobrecarga extra nas máquinas, pessoas e supermercados;
- A situação tornar-se difícil de monitorar (“nós estamos atrasados ou adiantados?”);
- Com uma grande quantidade de trabalho liberado para o chão de fábrica, cada processo no fluxo de valor pode alterar a sequência dos pedidos. Isto aumenta o lead time e a necessidade se de acelerar.

Estabelecer um ritmo de produção consistente ou nivelado permite se ter um fluxo previsível que, por sua natureza, alerte sobre os problemas de tal modo que se possa tomar ações corretivas rapidamente.

Uma ferramenta usada em algumas empresas para ajudar a nivelar o “mix” e o volume de produção é uma caixa de nivelamento de carga com cartões Kanban para cada tipo de produto. Neste sistema, o kanban indica não só a quantidade a ser produzida, mas também quanto tempo se leva para produzir esta quantidade. O processo fornecedor então deve puxar e produzir para esse kanban.

7) Desenvolver a habilidade de fazer “toda parte, todo dia” nos processos anteriores ao processo puxador

Através da redução dos tempos de troca de ferramentas e da produção de lotes menores nos processos anteriores, esses processos serão capazes de responder mais rapidamente às mudanças posteriores eventualmente necessárias. Por sua vez, eles requererão ainda menos estoque nos supermercados. Isto se aplica tanto para a manufatura de partes discretas como para as indústrias de processamento em larga escala.

3.3.8 O Mapa do Estado Futuro

O objetivo de mapear o fluxo de valor é destacar as fontes de desperdício e eliminá-las, através da implementação de um fluxo de valor de um “estado futuro”, que pode tornar-se uma realidade em um curto período de tempo.

Obviamente, parte do desperdício em um fluxo de valor será o resultado do projeto do produto, das máquinas e equipamentos já comprados e da distância que separa algumas atividades. Essas características do estado atual provavelmente não podem ser mudadas de imediato. A primeira interação do mapa do “estado futuro” deverá considerar como características já atribuídas o projeto do produto, as

tecnologias de processo e a localização e estrutura da planta, procurando remover o mais rapidamente possível todas as fontes de desperdício que não sejam causadas por essas características.

O apoio mais útil para ajudar as pessoas a desenhar os mapas de estado futuro, cujo exemplo pode ser visto na Figura 7 a seguir, é a seguinte lista de questões:

- 1) Qual é o takt time ?
- 2) Onde se pode usar o fluxo do processo contínuo ?
- 3) Qual será o processo de produção puxador ?
- 4) Onde deverão ser introduzidos supermercados nos sistemas puxados a fim de controlar a produção dos processos anteriores ?
- 5) Será fabricado para um supermercado de produtos acabados dos quais o cliente puxa ou diretamente atendendo o pedido do cliente ?
- 6) Como será nivelado o mix de produção no processo puxador ?
- 7) Quais volumes de trabalho se libera e retira uniformemente do processo puxador ?
- 8) Quais melhorias de processo serão necessárias para fazer fluir o fluxo de valor conforme as especificações do projeto do estado futuro?

Justamente porque o mapa do fluxo de valor olha para o fluxo completo nas instalações, ao contrário de somente focalizar nas áreas de processos individuais, na maioria dos casos não é possível implementar de uma só vez o conceito/panorama completo do estado futuro. Talvez o ponto mais importante do plano de implementação do estado futuro não seja pensar nele como a introdução de uma série de técnicas, mas encará-lo como um processo de construção de uma série de fluxos conectados para uma família de produtos. Sendo assim, sugere-se dividir o mapa em segmentos ou “loops”:

- “Loop” Puxador: inclui o fluxo de material e de informação entre o cliente e o seu processo puxador. Este é o “loop” mais próximo do final, e a maneira como se administra esse “loop” impacta a todos os processos anteriores naquele fluxo de valor.
- “Loops” Adicionais: antes do “loop” puxador existem os “loops” do fluxo de material e do fluxo de informação entre as puxadas. Isto é, cada supermercado do sistema puxado no seu fluxo de valor normalmente corresponde ao final de outro “loop”.

Esses “loops” são uma excelente maneira de dividir os esforços de implementação do estado futuro em partes menores, mais facilmente administráveis.

Feito isso, deve-se traçar o Plano do Fluxo de Valor, que mostrará:

- O que e quando se planeja fazer, etapa por etapa;
- As Metas quantificáveis;
- Os Pontos de Verificação, com os prazos reais e os responsáveis.

Para escolher um ponto para iniciar a sequência de implantação, pode-se analisar os “loops”:

- Onde o processo está bem entendido pelo pessoal;

- Onde a probabilidade de sucesso é alta (para construir “momentum”);
- Onde pode-se prever um grande impacto financeiro (mas cuidado: isto pode conduzir, algumas vezes, para áreas que têm muitos problemas importantes para serem resolvidos, o que pode conflitar com os critérios anteriores).

3.3.10 Responsabilidade da Administração

Como já citado anteriormente, a melhoria do fluxo de valor é primordialmente uma responsabilidade da administração. O administrador tem que entender que o seu papel é enxergar o fluxo total e desenvolver uma visão de um fluxo enxuto, melhorado para o futuro, conduzindo a sua implementação. Não se pode delegar isso, sendo primordial a presença dos seguintes elementos:

- Trabalhar constantemente para eliminar a super-produção. Ao se eliminar a super-produção, ter-se-á um excelente fluxo.
- Ter uma firme convicção de que os princípios enxutos podem ser adaptados para funcionar no ambiente da empresa, junto com uma disposição para tentar, falhar e aprender com os erros.
- Reforçar que a administração precisa dedicar tempo e realmente aprender este assunto por si própria - aprender a ponto de poder ensinar. E então os administradores precisam realmente ensinar, não basicamente em sala de aula (embora isto também seja importante), mas em suas interações diárias com as suas equipes.

3.4 A Implementação do Empreendimento Enxuto (Lean Enterprise)

Independentemente de se tratar de um negócio ou de uma indústria, a melhor abordagem a ser seguida para se implementar um Empreendimento Enxuto segue algumas poucas regras básicas. A primeira vez que se visita uma organização ou uma área, deve-se observar e analisar o local de trabalho, buscando identificar e ressaltar o fluxo de valor. Isto é feito na seguinte sequência:

1. Primeiramente identifica-se o fluxo de trabalho. O mapeamento do fluxo de valor revela várias oportunidades para aprimoramento. Durante o mapeamento o foco está em se trazer os problemas à tona, e não em escondê-los. Somente assim é que se evidenciam as oportunidades de melhoria. O mapeamento inicial também se constitui em uma referência contra a qual serão avaliados os aprimoramentos introduzidos nos processos.

2. Depois disso, deve-se identificar as funções críticas e os postos chaves. Quais participantes do fluxo de trabalho estão servindo diretamente o cliente ou estão diretamente adicionando valor aos bens e serviços para o cliente? Quais, dentre todos os participantes altamente qualificados e que adicionam valor, afetam diretamente a capacidade da organização/área de servir ao cliente?

3. Os recursos principais são os equipamentos, o maquinário, o layout da área de trabalho, os materiais, os suprimentos e os procedimentos de trabalho. Deve-se tentar identificar quais recursos são indispensáveis para o fluxo de valor. Quais destes recursos principais adicionam valor diretamente para o cliente ou para os produtos e serviços dos clientes? Quais destes recursos principais podem criar atrasos ou “gargalos” que limitem a capacidade de se servir ao cliente?

4. Isto feito, os melhores métodos dos processos de trabalho terão sido identificados e as tarefas repetitivas estarão padronizadas. A opinião daqueles mais

envolvidos nas tarefas deve receber a maior prioridade na determinação das melhores práticas, sendo esta prioridade dada àquilo que efetivamente adicione valor. O foco está em simplificar e detalhar o fluxo de valor. Os recursos críticos e aqueles que desempenham funções ou papéis chaves deverão estar sempre ocupados, alimentando a movimentação do fluxo de valor. O objetivo está em se obter um fluxo de trabalho limpo, que flua fácil e suavemente.

5. Então trata-se de eliminar o desperdício. São feitas mudanças para se reduzir os custos no fluxo de valor. São reduzidos o desperdício, a sucata e o retrabalho. Os materiais são reduzidos, reutilizados e reciclados. O movimento dos materiais e das pessoas é também reduzido. Deve-se ter um lugar para cada coisa e cada coisa em seu lugar. Acesso fácil deve ser providenciado aos equipamentos e suprimentos mais usados. Ao se repensar o trabalho para que o mesmo fique à prova de erros, estará também se robustecendo o próprio trabalho.

6. Então a melhoria contínua torna-se uma prática cotidiana. São muitas as oportunidades para se aprender e melhorar alguma atividade. A criação de um clima que dê suporte às melhorias é crucial para sustentação dos esforços de mudança. Treinamento e educação devem ser estimulados para aqueles que sejam essenciais e para os que suportem o fluxo de valor. A comunicação entre processos diferentes deve ser construída e estimulada, de modo que se possa adaptar a trabalhos diferentes quando necessário. O local de trabalho deve primar pela segurança e ser ergonomicamente excelente. A metodologia de resolução de problemas deve ser fortemente cultivada na cultura organizacional.

3.4.1 Efeitos sobre os Recursos Humanos e a Organização

Implementar a Manufatura Enxuta não é apenas aprender um conjunto de novas ferramentas. A implementação também envolve mudança da cultura

corporativa, mudanças na estrutura organizacional e o aprendizado de novos comportamentos, consistentes com as novas estrutura e cultura. As organizações Lean são estruturadas para focalizar as necessidades do cliente através do suporte àqueles que adicionam valor ao produto. A organização Lean ideal apresenta as seguintes características:

- Uma forte parceria entre o sindicato e a gerência;
- Garantia de emprego;
- Uma cultura de solução de problemas;
- Foco no trabalhador da linha de frente;
- Grupos de trabalho com poder de decisão e características multi-tarefas;
- Comunicação e feedback frequentes;
- Comprometimento com treinamento e educação continuada;
- Mentalidade voltada à melhoria contínua;
- Confiança e respeito mútuos;
- Desenvolvimento e alinhamento de políticas da empresa.

As atribuições da liderança também mudam em um ambiente enxuto. Os típicos desafios às culturas tradicionais das organizações incluem a mudança:

- Da liderança de comando e controle para o gerenciamento participativo;
- Da recompensa às conquistas individuais para a recompensa ao trabalho em equipe;
- Da manutenção do status quo para a melhoria contínua;
- Do ocultamento de erros para ressaltar problemas e praticar uma ativa solução de problemas;
- De um ambiente competitivo para um local colaborativo de trabalho;
- De trabalhadores especializados para multi-tarefas.

3.4.2 Uma Proposta para a Gestão Enxuta de Efetivo (Pessoal)

A medida em que se implementa a LM em um ambiente de manufatura, os processos passam a, eventualmente (e bem mais cedo do que se imagina), requerer uma quantidade significativamente menor de trabalhadores. Na verdade, não haverá trabalho suficiente para manter a todos os trabalhadores de chão-de-fábrica ocupados com a fabricação de peças, a menos que ocorra um crescimento significativo dos negócios da empresa. Nesta situação, recomenda-se que as dispensas sejam evitadas a qualquer custo. Como se pode, então, utilizar este “excesso” de efetivo?

- Não é incomum formar-se um escritório ou departamento para coordenar todas as atividades de melhoria contínua. Algumas organizações chamam a isso de “Escritório Lean”, ou Departamento de Melhoria Contínua, ou algo semelhante. Este departamento deve ser composto por um gerente/diretor, e vários Times de Melhoria.
- Deve se determinar, da melhor maneira possível, qual é o atual nível mínimo aceitável de pessoal. Isto é definido como a MÍNIMA quantidade de pessoas necessárias para se realizar as operações de produção sob as condições vigentes. Então o pessoal “em excesso” deverá ser realocado imediatamente para o Escritório Lean (removendo-se da produção inclusive vários dos seus melhores profissionais), onde eles formarão o núcleo inicial dos Times de Melhoria.
- O Escritório Lean deve, então, começar com uma rotação de tarefas, envolvendo 1/3 do seu tempo em atividades de treinamento interno em técnicas de Manufatura Enxuta, 1/3 do tempo em atividades de melhoria contínua e dedicando o 1/3 restante de seu tempo à participação em atividades

externas, como congressos, visitas à outras organizações, cursos de aperfeiçoamento, etc.

Funcionalmente o Escritório Lean tem a seguinte composição: O Gerente/Diretor, que teria a responsabilidade de supervisionar os vários Times de Melhoria, coordenando também o treinamento e as atividades externas dos times, além de definir as metas de melhoria (que irão dar suporte às metas organizacionais) e os Times de Melhoria (que podem variar em quantidade, dependendo do número de células de manufatura, de linhas de produtos ou de departamentos funcionais da organização). Tais times seriam compostos, cada um, por um Engenheiro Senior e um Engenheiro Júnior (os quais formariam, como Engenheiros de Melhoria Contínua, o único efetivo permanente do Escritório Lean), e de 4 a 7 pessoas da Produção.

Os Engenheiros de Melhoria Contínua seriam “experts” nas várias áreas da Metodologia Lean, e o efetivo total destes engenheiros formaria o quadro de instrutores dos times. Este quadro de instrutores deve treinar os times em todos os aspectos da Manufatura Enxuta (como um grupo) e os times de Engenheiros de Melhoria Contínua devem coordenar as atividades de Melhoria Contínua nas células de manufatura, nas linhas de produtos e nas áreas funcionais.

Os demais membros dos Times de Melhoria (aqueles do chão de fábrica) integrariam os times por um período de tempo pré-determinado, diga-se de um mínimo de 3 a um máximo de 6 meses. Durante esta rotação os times deveriam participar de atividades Lean/Melhoria Contínua em todas, ou na maioria das células de manufatura, linhas de produtos e áreas funcionais. Ao final deste período este pessoal retornará ao local de trabalho, e os indivíduos seguintes, que tiveram o melhor desempenho na Produção, passarão a ocupar os lugares nos Times de Melhoria Contínua.

Consequentemente é criado um grupo de “super-homens Lean”, que formarão a base de um esforço, contínuo e de longa duração, voltado à melhoria no chão de fábrica (mesmo sem a direção do Escritório Lean). A constante rotação de pessoal, para dentro e para fora do Escritório Lean (que, por sua vez, tenderá a ficar cada vez menor, devido à saída natural de profissionais indiretos – que não deverão ser repostos - para o mercado) irá assegurar a formação de uma força de trabalho que compreende totalmente as metas e as práticas da Manufatura Enxuta, e que irá apoiar os esforços da empresa.

Deve-se notar que:

1. Eventualmente, o Escritório Lean terá muito poucos representantes do chão de fábrica, mas será sempre capaz de conduzir atividades de melhoria dentro das células.
2. Seria recomendável que os Engenheiros Senior de Melhoria Contínua de cada time devotassem a maior parte de seus esforços na redução dos desperdícios, como foco primário (o que, na verdade, cobre cerca de 80% dos esforços da Manufatura Enxuta), enquanto que os Engenheiros Junior focalizaria seus esforços nas outras áreas, como na implementação dos fluxos de valor e dos sistemas puxados.
3. É importante que, logo no início, sejam engajados os MELHORES representantes no Escritório Lean. Estas são as pessoas que, tipicamente, têm alta motivação e boas habilidades de pensamento crítico, além do efetivo entendimento das características dos produtos e processos. Isto irá ajudar a garantir o sucesso do empreendimento e assegurará o “momento” necessário ao programa.

4. O período de “rotação” (dentro do Escritório Lean) assegura que as idéias e as melhores práticas de todas as áreas da organização sejam devidamente circuladas, dando uso verdadeiro e palpável ao “capital intelectual” da empresa.

3.5 Treinamento: Workshop sobre Manufatura Enxuta na Embraer.

O treinamento formal dos empregados da Embraer nos conceitos e práticas relativos à Manufatura Enxuta teve início em meados de 1998, tendo sido treinadas cerca de 2.200 pessoas até Março de 2001.

Em 24 de março de 2001, nas instalações da Embraer (prédio F-107/3), teve-se a oportunidade de participar de um Workshop sobre Manufatura Enxuta (baseado exatamente nas mesmas matérias e metodologias utilizadas no treinamento formal e ministrado pelos membros da equipe de implantação das técnicas na empresa) onde se formou um time multifuncional composto por empregados da Embraer e de outras empresas, como Eaton, Ford (Powertrain), Furukawa, Pincéis Tigre e Visteon.

A partir deste parágrafo procura-se fazer uma descrição resumida de todo o Workshop, o qual dividiu-se em uma parte inicial – aqui denominada Parte I - com maior exposição teórica (objetivando o aprendizado superficial dos conceitos básicos, da metodologia e o nivelamento dos conhecimentos dos participantes), ministrada no período da manhã, seguida por uma simulação operacional de uma “fabricação em massa” tradicional, onde modelos de peças em madeira eram recebidos do fornecedor e “simuladamente” processados em operações de furação, prensagem, corte, pintura, montagem final em conjuntos e entrega ao cliente. Para facilitar a assimilação e aumentar a sedimentação dos conceitos foi distribuído um folheto aos participantes com os assuntos principais abordados no treinamento. No período da tarde teve-se a sequência do Workshop, com a avaliação dos resultados obtidos na primeira simulação, seguida de uma parte teórico-prática – denominada Parte II - com mais

ênfase no processo de transformação para a Manufatura Enxuta, objetivando tanto a simulação operacional das práticas estudadas quanto à fundamentação dos princípios ensinados. Finalizou-se o Workshop com uma nova simulação, cujo objetivo foi validar os conceitos aprendidos sobre a Manufatura Enxuta, seguida de uma análise comparativa dos resultados obtidos na primeira e na segunda simulação.

3.5.1 Workshop Parte I

O modelo adotado para todo o processo de treinamento da Embraer foi o idealizado pela empresa norte-americana Lockwood Greene Consulting, fundada em 1832 e considerada a mais antiga firma do mundo, em operação contínua, com foco em prestação de serviços para os ramos de engenharia industrial e construção.

Este modelo de Manufatura Enxuta e Ágil prega a eliminação dos Sete Desperdícios com:

- Redução do Tempo do Ciclo de Produção;
- Redução dos Inventários de Material-em-Processo (WIP);
- Redução de Transporte e Estoques;
- Aumento da Produtividade e da Flexibilidade;
- Redução de “Papel”;
- Melhoria da Qualidade de Vida;
- Redução de Sucata e Retrabalho;
- Melhoria do Fluxo do Processo e da Qualidade do produto.

Exemplificando o arrojo das propostas feitas em face às constatações da eficácia do Sistema de manufatura Enxuta, comentou-se que uma das metas da Embraer naquele momento era a redução do tempo de instalação dos motores no ERJ 145 em cerca de 1:24 do tempo atual!

Mencionou-se ainda que a implementação deveria ser balizada conforme os seguintes “Orientadores da Manufatura Enxuta e Ágil” representados na Figura 8:

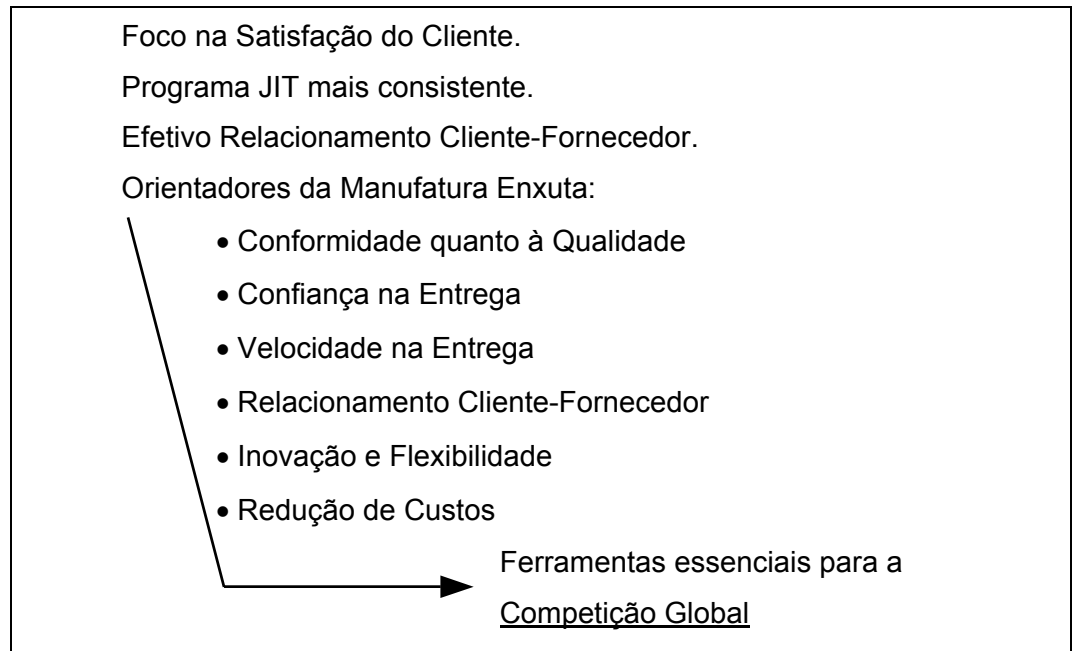


Figura 8 - Orientadores da Manufatura Enxuta

Fonte: Embraer

No processo de implementação, as etapas são percorridas conforme a Figura 9 abaixo:

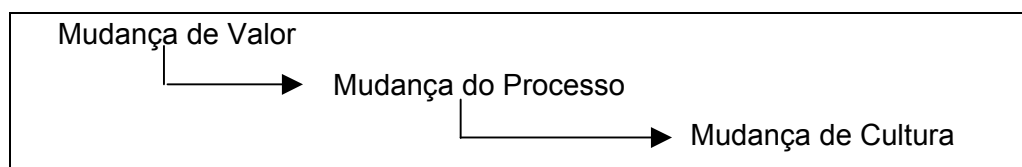


Figura 9 - Etapas da Implementação

Fonte: Embraer

A proposta do modelo de treinamento adotado é demonstrar os vários conceitos da Manufatura Enxuta e Ágil utilizando uma simulação experimental da funcionalidade de uma produção discreta ou repetitiva, operando em três diferentes procedimentos:

- 1) Fábrica tradicional de produção em massa – “Produção Empurrada”
- 2) Fábrica JIT – “Produção Puxada”

3) Manufatura Celular – “Células de Produção”

cuja características principais são as seguintes:

Fábrica tradicional de Produção em Massa – “Produção Empurrada”

- Layout funcional ou departamental
- MRP
- Método tradicional de Contabilidade
- Ordens de Produção em grandes lotes

Fábrica JIT – “Produção Puxada”

- Processos de Produção e Suprimentos interligados
- Pensar em “Tamanho de Lote = 1”
- Orientação pelo Processo
- Desempenho com base nas atividades

Manufatura Celular – “Células de Produção”

- Função de Competência do Núcleo
- Projetado-para-a-Produção (DFM)
- Orientação por Famílias de Produtos
- Time Multi-Funcional

A título de informação comentou-se que a empresa Metal Leve era a única no Brasil que trabalhava somente em Células de Produção.

Foi ainda apresentado um quadro comparativo dos diferentes conceitos de produção “Empurrar vs. Puxar vs. Célula”, como pode ser visto na Tabela 7 abaixo:

Tabela 7: Conceitos de Produção

FUNÇÃO	EMPURRAR	PUXAR	CÉLULA
- Fornecimento de Produto	Conforme Planejamento	Conforme Demanda	Conforme Demanda
- Atendimento ao Cliente	Com Estoque	Com Pronto-Atendimento	Com Flexibilidade
- Máquinas e Equipamentos	Trabalham Sem Parar	Trabalham Quando Necessário	Compromissadamente
- Planejamento	Produção em Lotes	Ciclo Curto	Família de Peças
- Layout	Departamental	Ligado ao Processo	Máquinas Diferentes
- Funcionários	Especializados	Times	Multifuncionais
- Qualidade	Inspecionada	Na Construção / Produção	Na Concepção

Fonte: Embraer

Avaliando a fábrica sob a ótica da melhoria contínua (kaizen):

1 - Melhoria Contínua (Kaizen)

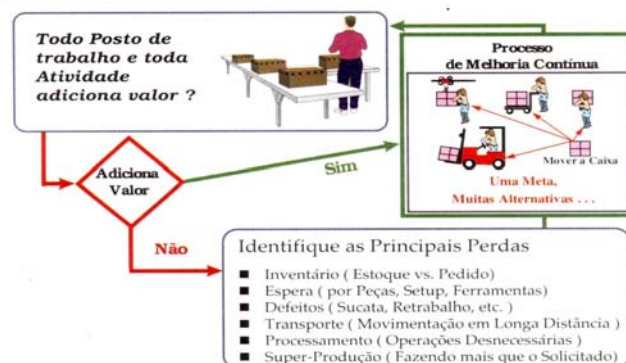


Figura 10: Kaizen

Fonte: Embraer

Foco na Manufatura que Adiciona Valor:

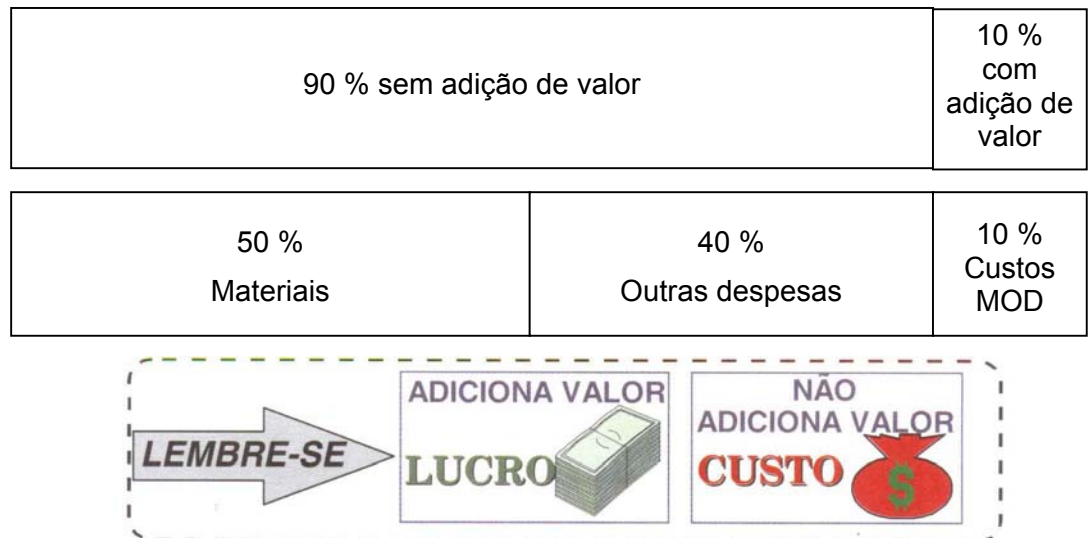


Figura 11 – Adição de Valor na Manufatura

Fonte: Embraer

Definição de Processo de Manufatura:

São as funções necessárias para produzir e entregar os produtos aos clientes (internos e externos).

Funções do Processo de Produção:

Tabela 8 – Funções do Processo de Produção

	Função	Finalidade	Resultados
Processos de Manufatura	Processamento	Atividades de Produção que alteram as características físicas.	Adiciona Valor
	Transporte	Movimentação necessária para a próxima atividade que adiciona valor.	Adiciona Custo
	Estoque	Estoque mínimo para equilibrar e otimizar o fluxo.	Adiciona Custo
	Inspeção	Qualidade Assegurada em cada atividade.	Adiciona Custo

Fonte: Embraer

Estratégia da Manufatura que Adiciona Valor:

- Técnica e Foco:

- Melhorar a proporção das atividades que adicionam valor em relação às que não adicionam valor (Lucro vs. Custo).
- Envolvimento dos Funcionários:
 - Encorajar Criatividade e Participação, através de
 - Comunicação Aberta
 - Instrução e Treinamento
 - Participação no Planejamento Estratégico
- Táticas:
 - Melhorar progressivamente a proporção das atividades que adicionam valor em relação àquelas que não adicionam, através das táticas de “Melhoria Contínua”.
 - Favorecer a divulgação de atividades, progressão, metas e resultados:
 - Intranet (Comunicação Interna) é fundamental;
 - Literatura divulgada;
 - Televisões em pontos estratégicos;
 - Jornais internos, com fotos, entrevistas, etc.

Neste ponto comentou-se que a consultoria contratada, Lockwood Greene Consulting, treinou os diretores e gerentes da Embraer, tendo sido formado um grupo de implementação da Manufatura Enxuta, com três representantes da Produção e três do Planejamento.

Também foi criado um “Grupo de Melhoria Contínua”, com a finalidade de estimular e orientar trabalhos, treinar pessoas e divulgar resultados na área de Manufatura Enxuta.

Filosofia Just-In-Time (JIT):

A definição de Just-In-Time adotada neste seminário é a de que se trata de uma filosofia de operação organizacional direcionada para a identificação e eliminação das atividades que não agregam valor ao produto/serviço.

O sistema just-in-time, doravante designado por JIT, foi desenvolvido na Toyota Motor Company, no Japão, pelo sr. Taiichi Ono. Pode-se dizer que a técnica foi desenvolvida para combater o desperdício. Como toda atividade que consome recursos e não agrega valor ao produto é considerada um desperdício, estoques, que custam dinheiro e ocupam espaço, transporte interno, paradas intermediárias - decorrentes das esperas do processo - refugos e retrabalhos são formas de desperdício e conseqüentemente devem ser eliminados ou reduzidos ao máximo.

Posteriormente o conceito de JIT se expandiu, e hoje é mais uma filosofia gerencial, que procura não apenas eliminar os desperdícios mas também colocar o componente certo, no lugar certo e na hora certa. As partes são produzidas a tempo (just-in-time) de atenderem às necessidades de produção, ao contrário da abordagem tradicional de só produzir nos casos (just-in-case) em que sejam necessárias. O JIT leva a estoques bem menores, custos mais baixos e melhor qualidade do que os sistemas convencionais.

Além de eliminar desperdícios, a filosofia JIT procura utilizar a capacidade plena dos colaboradores, pois a eles é delegada a autoridade para produzir itens de qualidade para atender, em tempo, o próximo passo do processo produtivo. Em um sistema JIT, onde a qualidade é essencial, o colaborador tem a autoridade de parar um processo produtivo caso identifique algo que não esteja dentro do previsto. Deverá, também, estar preparado para corrigir a falha ou então pedir ajuda aos colegas de trabalho. Essa atitude seria impensável nos sistemas tradicionais de produção em massa, onde a linha jamais poderia ser parada.

A aplicação adequada do sistema JIT leva a empresa a obter maiores lucros e melhor retorno sobre o capital investido, decorrente de redução de custos, redução de estoques e melhoria na qualidade, objetivo precípua de todos.

Conceitos Primários do JIT...

- Eliminar os passos que não adicionam valor;
- Melhorar a concepção do produto;
- Melhorar o fluxo do processo;
- Reduzir o tamanho de lote;
- Reduzir o tempo de setup;
- Melhorar o tempo dos ciclos;
- Controlar o processo;
- Reestruturar o relacionamento entre Cliente e Fornecedor;
- Melhorar a qualidade do produto.

... que focalizam em uma Abordagem de Melhoria Contínua.

Processo de Melhoria Contínua:

“Uma Meta... muitas alternativas...?”

- O custo pode ser diminuído?
- O desempenho pode ser melhorado?
- O ciclo pode ser encurtado?
- A qualidade pode ser melhorada?
- A segurança e o impacto sobre a moral e o meio ambiente podem ser melhorados?
- A satisfação do cliente pode ser melhorada?

Estes são os passos básicos da abordagem, que devem ser seguidos nas etapas de Avaliação, Seleção, Desenvolvimento e Implementação do Projeto.

O Sistema Kanban

O kanban é um método de autorização da produção e movimentação do material no sistema JIT. Na língua japonesa a palavra kanban significa um marcador (cartão, sinal, placa ou outro dispositivo) usado para controlar a ordem dos trabalhos em um processo seqüencial. O kanban é um sistema do JIT. Os dois termos não são sinônimos.

O objetivo do sistema kanban é assinalar a necessidade de mais material e assegurar que as peças sejam produzidas e entregues a tempo de garantir a fabricação ou montagem subsequentes. Isso é obtido puxando-se as partes na direção do processo final, seja ele a linha de montagem final, a expedição ou a entrega ao cliente.

Os Objetivos da equipe em treinamento foram:

- Participar ativamente na demonstração do Modelo para reorganizar um processo de manufatura;
- Trabalhar todos juntos, como um Time;
- Transferir os conceitos aprendidos para as oportunidades das situações na “vida real” (agindo como elementos multiplicadores, disseminando os conceitos básicos e a filosofia).

Procedeu-se então à simulação operacional de uma “fabricação em massa” tradicional, com a manufatura de uma quantidade de modelos de conjuntos montados, com uma equipe total de 14 pessoas. Seguiu-se todo o fluxo tradicional de movimentação interdepartamental de peças e informações (Plano de Produção, Pedidos de Compra de MP e Componentes, Solicitação de Materiais em Estoque, Ordens de Fabricação, Solicitações de Transporte, Recibos de Entrega ao Cliente, etc). A meta a ser atingida nesta primeira simulação era a fabricação de 6 conjuntos em 600s, resultando em um tempo médio de 100s por conjunto.

3.5.2 Workshop Parte II

Esta parte teve início com a exposição dos resultados obtidos na avaliação da primeira simulação, os quais serão detalhados mais abaixo, quando da comparação com os resultados desta segunda parte. Como exposição teórica teve-se:

A ilustração do modelo SIPOC:

Supplier (Fornecedor)

Input (Entrada)

Process (Processo)

Output (Saída)

Customer (Cliente)

Onde é enfatizada a necessidade de ter-se bem definidos, para cada atividade, quem são os clientes e os fornecedores. Este modelo é aplicado através do estabelecimento de técnicas de sinalização que auxiliam na rápida e inequívoca identificação dos clientes e fornecedores para todas as atividades envolvidas no processo produtivo, como pode ser visto na Figura 12 abaixo:

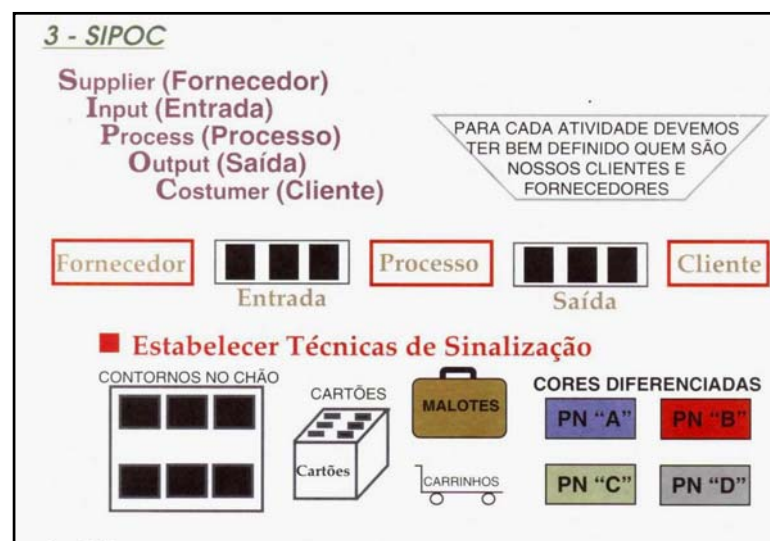


Figura 12 - SIPOC

Fonte: Embraer

A explicação do princípio dos 5 S:

Neste Workshop explicou-se que a assimilação dos conceitos dos 5 S é facilitada didaticamente através da utilização da representação gráfica na Figura 13 abaixo (que interpreta Seiketsu como senso de manutenção e Shitsuke como senso de padronização, sendo esta terminologia de mais fácil assimilação e aplicação direta pelos empregados):



Figura 13 – 5S

Fonte: Embraer

A eliminação de passos que não adicionam valor:

Focalizou-se a necessidade de se explorar as oportunidades que se apresentam nas áreas de concepção do produto e do fluxo do processo, buscando-se benefícios como a simplificação das atividades e do layout, a redução do lead time, a redução do tempo de setup e da quantidade de ferramentas, etc e recomendando-se as seguintes ações para cada área (consideradas como o mínimo necessário, mas estimulando-se que mais ações fossem desenvolvidas a partir das necessidades identificadas):

Melhoria da Concepção do Produto

- Concepção para a Manufatura/Montagem:
 - diminuir o número de peças;
 - diminuir as direções de montagem;
 - projetar a auto-organização/o alinhamento das peças.
- Concepção considerando Qualidade e Custo:
 - desenvolver especificações baseadas nas necessidades reais;
 - construir a qualidade no processo (built-in-quality);
 - identificar os orientadores competitivos de custo.

Melhoria do Fluxo do Processo

- Implementar o sistema “puxar”, servindo como orientador do fluxo.
- Reorganização das máquinas/atividades dentro das células de trabalho, adequação do layout e execução de atividades em paralelo, conforme pode ser verificado na Figura 14 abaixo:

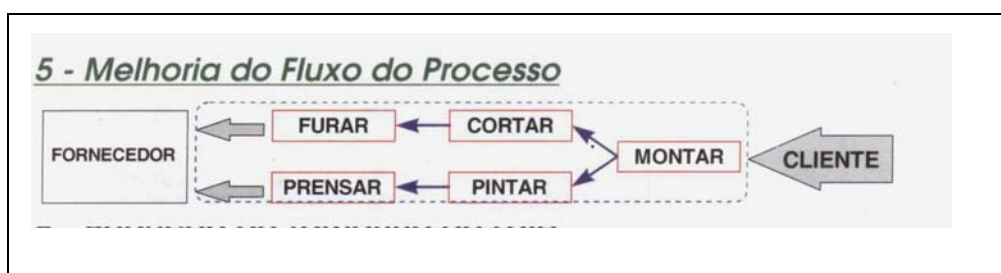


Figura 14 – Melhoria do Fluxo do Processo

Fonte: Embraer

- Estabelecer técnicas de sinalização:
 - contornos desenhados no chão, com filas de entrada e saída;
 - luzes, alarmes e outros dispositivos de sinalização;
 - alarme de qualidade, onde problemas detectados em uma área/atividade/máquina são comunicados às áreas/atividades/máquinas subsequentes e/ou antecedentes, interrompendo o processo para que as ações corretivas sejam implementadas tão logo o problema seja detectado;
- Redução do tamanho do lote:
 - Produzir apenas as quantidades necessárias;
 - Pensar sempre em tamanho de lote = 1.
- Fábrica JIT – “Produção Puxada”
- Manufatura Celular – “Células de Produção”

Finalizada esta exposição teórica, procedeu-se à simulação operacional de manufatura dos mesmos modelos de conjuntos montados na simulação anterior, porém utilizando uma “fabricação em JIT”, com o processo rearranjado em “células de produção”, mantendo-se a equipe total de 14 pessoas. Todo o fluxo de movimentação de peças e de informações foi regulado pelos princípios de JIT e Kanban. A meta a ser atingida continuava sendo de 6 conjuntos em 600s, com um tempo médio de 100s por conjunto.

3.5.3 Resultados

A Tabela 9 a seguir mostra uma comparação dos resultados obtidos nas simulações efetuadas:

Tabela 9 – Comparação dos Resultados das Simulações

	Metas Propostas	Simulação I – Manufatura Tradicional	Simulação II – Manufatura Enxuta
Parâmetros	Qualquer processo	Produção em Massa	JIT e Células
Tempo total	600s	2.024s	273s
Quantidade final de conjuntos montados	6	7	7 (intencional)
Tempo médio	100s	289s	39s
Sucata	Menos possível	25 peças	0 peças
Quantidade de papel	Menos possível	132 folhas	0 folhas
Equipe	14 funcionários	14 funcionários	14 funcionários

Fonte: Elaborada pelo autor

Analisando-se comparativamente somente os resultados expostos na Tabela acima, portanto sem levar-se em consideração a influência de fatores como familiarização com os processos e documentos, treinamento e curva de aprendizado, critérios de fabricação de lotes-piloto, além de outros que necessariamente devem ser considerados em um estudo mais aprofundado sobre simulações de processos de manufatura, temos que:

- 1) Enquanto o sistema de Manufatura Tradicional superou a meta proposta para o tempo total de fabricação em aproximadamente 1.400s (tendo sido cerca de 238% maior), o sistema de Manufatura Enxuta ficou 327s abaixo da meta (aproximadamente 55% menor), representando uma economia de 1.750s (740% de redução) se comparado diretamente com a Manufatura Tradicional;
- 2) Para se manter um mesmo parâmetro de rendimento, optou-se por redimensionar a meta de quantidade de conjuntos para a Simulação II, uma

vez que foram produzidos 7 conjuntos montados de peças na simulação anterior, em função única e exclusivamente do descontrole provocado pelo alto nível de stress no processo produtivo;

- 3) Consequentemente, o tempo médio de fabricação por conjunto apresentou os mesmos resultados que o tempo total;
- 4) O impacto na “geração de sucata” também foi muito significativo, tendo resultado em 100% de redução no número de peças sucatadas;
- 5) Igualmente significativo foi o impacto causado na quantidade de papel gerado no processo produtivo, a qual também resultou em uma redução de 100% no número de folhas necessárias para se iniciar e manter o processo como um todo;
- 6) Nestas simulações resolveu-se manter o número de funcionários desde a primeira parte, não somente com o objetivo de envolver a maioria dos participantes do workshop nas atividades práticas, mas também com o objetivo implícito de não associar diretamente a implementação da Manufatura Enxuta com a redução de efetivo no processo produtivo. No entanto, as implicações referentes à eventual otimização racional do quadro de funcionários para se atingir as metas propostas, evitando tanto a ociosidade quanto a superprodução, podem ser facilmente deduzidas dos valores apresentados na Tabela 9 acima.

4 A INDÚSTRIA AERONÁUTICA E A MANUFATURA ENXUTA (LEAN MANUFACTURING)

4.1 Características da Indústria Aeronáutica Tradicional

Tradicionalmente a indústria aeronáutica pode ser classificada como “difusora do progresso técnico” (BERNARDES, 2000a p.93) ou baseada em ciência e tecnologia e, por isso, difere dos demais setores pela intensa segmentação tecnológica dos mercados. As empresas líderes notabilizam-se pelos vultosos gastos em P&D, uma vez que a capacidade de inovar em produtos, atendendo aos segmentos de mercado, determina, basicamente, o padrão de concorrência desses setores. A montagem em lotes é um dos traços marcantes dos processos produtivos e os padrões extremamente rigorosos de conformidade técnica de partes e componentes é crucial para estas empresas.

Contrastando com a indústria automobilística, temos que os custos de desenvolvimento e produção são extremamente elevados, pois estão relacionados ao uso intensivo de uma força de trabalho de altíssima qualificação e remuneração decorrente, executando atividades de difícil automação em face da sua baixa escala de produção. De acordo com Dagnino (1989, p.235):

Apesar de ser um produto seriado, o avião é fabricado (economicamente) em escala reduzida: com baixas cadências de produção e em pequenos lotes. Os consumidores geralmente especificam alguns dos componentes dos aviões que compram, os quais diferem do modelo de produção padrão.

Os aviões têm um longo ciclo de desenvolvimento e alto valor agregado, entrando rapidamente em obsolescência se não se mantiverem contínuos aperfeiçoamentos e investimentos. São comuns ciclos de vida útil da ordem de dez a quinze anos.

Os ciclos de produção também são tradicionalmente longos, a exemplo de uma aeronave Boeing de pequeno porte (Boeing 717) que leva cerca de 65 dias para ser fabricada.

É também da Boeing que vem o exemplo da complexidade de um avião, que se reflete diretamente nas técnicas de produção utilizadas até o momento (com as aeronaves sendo montadas em estágios discretos e em baixo volume): uma única aeronave Boeing 747 tem 125 milhas de cablagens e é composta por cerca de 3 milhões de partes e peças.

Uma típica linha de montagem é formada por aeronaves estacionadas em posição diagonal (tal como as vagas de estacionamento em alguns shopping centers). Os montadores circundam o avião com equipamentos, ferramentas, peças, subconjuntos e conjuntos montados. A um certo período de tempo (que normalmente varia de dois a oito dias, dependendo da quantidade de trabalho necessário), o avião é movido para a próxima posição, com o uso de carretas de reboque ou pontes rolantes, e mais peças e partes são adicionadas.

Em média, uma aeronave é movida cerca de oito a dez vezes até que deixe a linha de montagem. Na fábrica da Boeing, em Renton, cada movimentação mobiliza cerca de 150 pessoas, trabalhando no turno da noite, que removem os equipamentos que estão em torno da aeronave, mudam-na para a nova posição e disponibilizam os novos conjuntos de equipamentos e ferramentas.

Tradicionalmente os mecânicos têm que ir até a tenda de ferramentas ou o depósito de peças, que algumas vezes estão localizados em outro edifício, para pegar o equipamento necessário (gastando um tempo precioso), ao invés de terem as peças e as ferramentas trazidas até eles.

Como pode ser visto, o sistema de montagem tradicional de uma indústria aeronáutica oferece um vasto campo para a aplicação de novas metodologias de

eliminação de desperdícios e seus custos associados, o que favoreceu o surgimento das iniciativas voltadas à Manufatura Enxuta.

4.2 LAI – Lean Aircraft Initiative



4.2.1 Histórico

Os pesquisadores que estavam associados com o International Motor Vehicle Program (IMVP) no MIT (Massachusetts Institute of Technology) foram os primeiros a identificar o paradigma da Manufatura Enxuta. O IMVP é um sistema fundamentalmente novo, que compreende todos os aspectos dos negócios relacionados com a manufatura. Suas práticas têm levado a resultados incríveis em termos de custo, qualidade e produtividade, como descrito em Womack et al. (1992).

Um estudo foi iniciado no MIT, em setembro de 1993, para determinar se os conceitos Lean originados do IMVP eram aplicáveis à indústria aeronáutica militar. Depois do resultado positivo, um estudo precursor definiu o escopo, a estrutura e o plano para um programa de pesquisa, o qual foi denominado Lean Aircraft Initiative (LAI). A LAI edifica e estende o paradigma da Manufatura Enxuta por meio da busca em melhorar a produtividade e reduzir os custos na indústria aeronáutica militar, em uma parceria com a Força Aérea Norte-Americana, o MIT, e mais de 20 indústrias. Através do desenvolvimento de uma base sistemática de conhecimentos, a LAI tem por objetivo criar e implementar roteiros para mudanças na indústria aeronáutica militar norte-americana e na extensa base industrial que a suporta. Os maiores resultados em eficiência e qualidade são esperados para a década de 2000 – 2010. A

LAI é organizada em um conjunto de times focalizados, orientados funcionalmente, e times integrados de desenvolvimento de produto (IPT). As áreas-foco para os times são o desenvolvimento de produto, as relações de suprimentos, as operações fabris e as políticas industriais, contando com a representação das três áreas participantes (governo, indústria e MIT). Esta pesquisa conjunta é direcionada para a determinação e a validação das melhores práticas que caracterizem o desenvolvimento e a produção aeronáutica em uma Filosofia Enxuta.

4.2.2 Os Benefícios da Implementação das Práticas Lean e o Impacto da LAI na Indústria Aeroespacial de Defesa e nas Agências do Governo Norte-Americano

Na década de 80 várias organizações industriais dos Estados Unidos começaram a desenvolver novos processos de produção para melhorar a qualidade, reduzir custos e responder melhor às necessidades dos clientes e às pressões por uma competitividade global. Este novo paradigma foi chamado de Manufatura Enxuta (ou simplesmente "Lean"), segundo Womack et al (1992).

Com a expansão feita em 1998 para incluir os produtos espaciais do governo americano, o programa foi rebatizado como Lean Aerospace Initiative. A visão da LAI é "Significativamente reduzir os custos e o ciclo de fabricação dos produtos aeroespaciais militares, através de toda a cadeia de valor, enquanto se continua a melhorar o desempenho do produto".

Implementação das Práticas Lean

Os parceiros industriais na LAI estão comprometidos a implementar a filosofia Lean em suas organizações como um todo, sendo que muitas empresas começaram seus esforços antes do advento da LAI, algumas começaram depois de 1993 e outras

poucas iniciaram recentemente sua “jornada rumo ao estado enxuto”. A maior parte destas companhias formulou programas com amplos objetivos, os quais incorporam os princípios e as práticas Lean.

As principais iniciativas citadas por estas empresas incluem a implementação de ferramentas e processos como: Single Quality Systems (SQS), Single Process Initiative (SPI), Integrated Product Teams (IPT), Integrated Product and Process Development (IPPD), High Performance Work Organizations (HPWO), Programas de Parceria e Certificação de Fornecedores, Design for Manufacturing and Assembly (DFMA), eventos Kaizen, arranjo de peças em kits, fluxo fabril, manufatura celular, benchmarking com outras organizações, integração de sistemas de informações e processos de negócios, implementação das melhores práticas comerciais, uso de ferramentas digitais de projeto em 3D (como o CATIA, por exemplo) e a redução da variabilidade do produto e no processo. A ênfase primária tem sido sobre as operações de produção, com desdobramentos para a área de projeto. Várias empresas comentaram que estão implementando as técnicas Lean nas áreas “acima do chão de fábrica”.

Benefícios da Implementação das Práticas Lean

Cerca de 50% das indústrias e 40% das agências governamentais norte-americanas informaram que obtiveram melhorias específicas e quantificáveis com a implementação das práticas Lean. A maioria das empresas restantes informou melhorias qualitativas, nas mesmas categorias gerais. As informações quantificáveis foram tabuladas utilizando uma divisão em cinco categorias diferentes: Produtos Completos, Componentes Maiores (Conjuntos) ou Sub-Conjuntos, Operações de Produção e Processo de Procura e Compra. Os resultados encontram-se na Tabela 10 ao final deste subcapítulo.

Analisando-se os resultados pode-se constatar que, apesar de terem sido obtidas reduções significativas em termos de custos, ciclos de fabricação, e desempenho do produto, com melhorias significativas para vários componentes maiores/programas e para sub-processos ou sub-conjuntos, os maiores impactos foram exatamente nas operações de manufatura.

Impacto da LAI na implementação das Práticas Lean

A LAI contribui de várias maneiras para a implementação das práticas Lean nas organizações, sendo que as principais contribuições podem ser agrupadas como se segue:

Fórum para troca de informações

Os workshops, as reuniões e os canais de informação que a LAI promove entre os membros do consórcio são excelentes oportunidades para se aprender sobre as descobertas das pesquisas mais recentes e as experiências de outras empresas com a implementação da Lean, além de se estimular a troca de idéias com membros de outras indústrias, instituições de ensino e organizações trabalhistas e governamentais, permitindo também a participação direta nos processos de pesquisa.

Informações e fatos coletados em pesquisas e benchmarking

A maior contribuição mencionada por todos os membros é o Lean Enterprise Model (LEM), que incorpora os resultados das pesquisas e os dados de benchmarking. As organizações estão usando o LEM de várias maneiras: como uma estrutura ou uma “receita” para a formulação de suas estratégias, como uma das várias ferramentas para o processo de implementação, como uma fonte de referências para compararem-se entre si e como uma ferramenta para a educação de seus funcionários.

Orientação e estruturação para implementação

O consórcio LAI também fornece orientação e estruturação para as organizações industriais e governamentais norte-americanas que desejam entender e adotar os preceitos Lean. A LAI serve como um catalisador para acelerar a transição para a filosofia Lean, uma estruturação para nivelar o entendimento sobre as práticas Lean, uma referência para o desenvolvimento de recomendações e políticas industriais/governamentais e um veículo para se obter o compromisso da Alta Administração com a implementação das práticas Lean.

Benefícios para a universidade (MIT)

Apesar da intenção primária da LAI ser a redução dos custos e do ciclo de fabricação para os produtos aeroespaciais militares, um valioso efeito colateral é o impacto sobre a universidade, a qual representa a fonte de futuros talentos e conhecimento para as organizações e empresas. O MIT citou sete maneiras pelas quais a LAI está impactando a instituição:

- Cerca de 50 estudantes graduados têm participado das pesquisas. Destes, 11 foram empregados pelos membros do consórcio e 6 por grupos de consultoria;
- Em qualquer momento avaliado, cerca de 13 a 18 faculdades estavam engajadas, muitas das quais conheciam muito pouco sobre as práticas Lean antes do advento da LAI;
- A colaboração entre a Engenharia e a Administração, um vínculo que falta em muitas universidades americanas, está sendo positivamente estimulada no MIT;

- As faculdades do MIT e seus estudantes estão adquirindo conhecimento em “primeira mão” sobre as prioridades do “mundo real” através da participação nos times de foco e nos workshops;
- Os programas de graduação e seus currículos estão se beneficiando diretamente da LAI;
- A LAI está servindo como um novo modelo para a pesquisa colaborativa, com a universidade, a indústria e o governo trabalhando em problemas interdisciplinares;
- A LAI está possibilitando ao MIT ter a oportunidade de exercer um impacto de grande reconhecimento em uma área intelectual de importância nacional.

O Futuro

Muitas organizações declaram que têm a intenção de continuar participando na LAI, inclusive oferecendo sugestões para futuras prioridades, tais como: a aplicação das práticas Lean nas áreas “acima do chão de fábrica” (como engenharia, finanças e administração), redução do ciclo de fabricação e do custo de produtos da área espacial, o engajamento da base de fornecedores, etc.

Resumo

As organizações que participam do consórcio Lean Aerospace Initiative estão caminhando em sua “jornada rumo ao Sistema Enxuto”, com progressos substanciais obtidos em vários programas e processos. As pesquisas e os produtos da LAI estão contribuindo significativamente para esta mudança sistêmica e a LAI está também colaborando com a orientação necessária e um valioso fórum para o compartilhamento de conhecimento e experiências. As organizações participantes da LAI planejam continuar, o que implica no reconhecimento do valor dos benefícios que estão adquirindo, incluindo o MIT, que declara que a LAI está beneficiando os estudantes, a

universidade, a educação e proporcionando aos participantes acadêmicos uma oportunidade de causar impacto em uma grande prioridade nacional.

Tabela 10 – Dados Quantitativos Citados pelos Membros do Consórcio LAI

Dados Quantitativos Citados pelos Membros do Consórcio LAI:

Em Produtos Completos:

- Tempo do pedido à entrega reduzido de 24 para 10 meses, com redução anual de 15% no preço e desempenho superior ao especificado (para munições).
- 50% a menos em dias de ciclo para produtos leves de estrutura aeronáutica. Para produtos maiores as reduções variaram de 11 a 16% nas horas orçadas de produção.
- 50% de redução no cycle time para fabricação e lançamento de um veículo lançador de satélites comerciais.
- Para um grande sistema aeronáutico, a cadência de produção dobrou, como mesmo efetivo. Reparos e retrabalhos foram reduzidos em 88%, tendo as últimas 30 unidades sido entregues com antecedência.

Em Componentes Maiores (Conjuntos) ou Sub-Conjuntos:

- Reduções no estabilizador horizontal de 20% em peso, 90% em peças, 81% em prendedores, 70% em ferramentas e 50% em custo.
- Reduções na empenagem horizontal de 61% em partes e ferramentas, 48% no cycle time de projeto, 38% nas horas de projeto, 50% na montagem e 62% em defeitos.
- Reduções no pilone do motor de 10% no cycle time, 10% nas horas trabalhadas e 89% nas distâncias percorridas pelas pessoas, com a eliminação de todos os problemas de Segurança do Trabalho e melhoria de 58% no escore 5S.

cont.

- Reduções nas Instalações do Nariz de 60% no cycle time, 85% no tempo de setup e 77% nas distâncias percorridas pelas pessoas, com aumento na produtividade de 60% e eliminação de 2 itens de Segurança do Trabalho.

- Reduções nos Pods do Trem de Pouso de 32% no cycle time, 17% no tempo de setup, 16% no lead-time, 42% nas distâncias percorridas pelas pessoas e 83% nas distâncias percorridas pelo produto, com aumento de 32% na produtividade.

Em Operações de Produção:

- 35% de aumento da produtividade da empresa como um todo.

- Ao longo de um ano de workshops Kaizen foram obtidas, na média, melhorias de 27% em produtividade e reduções de 50% em estoques, 25% no espaço fabril e 50% em lead-times, com significativas melhorias em qualidade e reduções no tempo de setup.

- Depois de vários workshops Kaizen foram obtidas reduções de 47% no cycle time, 31% em estoques e 34% em espaço fabril, com melhoria de 100% no fluxo de produção em certas áreas.

- HPWO levou a reduções de 28% em sucata, 20% em retrabalho e 60% no cycle time.

- Workshops Kaizen levaram a reduções de 47 a 71% em horas trabalhadas, 76 a 92% em distâncias percorridas, 54 a 80% no tempo de setup, 65 a 81% em espaço fabril e 20 a 97% no cycle time para certas operações de produção.

- Reduções de 51% em espaço, 79% em distâncias percorridas, 80% de estoques WIP, 36% em trabalho direto, 50% em defeitos, 66% em gastos de capital com equipamentos e 80% no tempo de produção.

cont.

- Projetos selecionados para novos programas de aeronaves documentaram reduções de 67% no cycle time de manufatura, 80% em estoques e 60% nas variações do cycle time.
- Workshop Kaizen com fornecedores levou a reduções de 28% em custo unitário, 70% em espaço fabril, 98% em estoques WIP, 95% nas distâncias percorridas e 38% no cycle time.
- A entrega JIT de lingotes de titânio reduziu os estoques em cerca de 8 a 10 milhões de dólares, o lead time em 50% e a quantidade de fornecedores de 31 para 2.

Em Desenvolvimento de Produto:

- Os esforços-piloto na melhoria do fluxo de informação entre a engenharia e a produção resultaram em reduções de custo da ordem de 30% na engenharia e 15% na produção, com uma redução de 25% no cycle time total.
- IPPD levou a reduções, em horas, de 80% para o projeto, 50% para a programação em controle numérico, 50% para a inspeção e 67% para a fabricação de racks para ensaios em voo.
- Para o desenvolvimento de protótipos, 1/3 a menos de tempo para a meta de liberação de 90% dos desenhos.

Em Processo de Procura e Compra:

- Tempo de processamento do pedido de liberação de material foi reduzido da média de 6 dias para uma dia, ou menos.
- O gerenciamento do processamento das propostas de modificações em contrato passou a ser feito com 50% do efetivo original (3 comparados com 6).
- 36% de melhoria no total de economias negociadas / custos evitados, devido ao uso de SPI.

- Contratos mais novos (em um grande sistema) foram garantidos em tempo recorde devido ao uso de negociações em um só passe.
- 50% de redução no cycle time para a revisão de Propostas de Modificações de Engenharia.
- 50% de redução no lead time, com 0,02% de aumento de custo, para programas com pedidos de compra com preço fixado antes que o dimensionamento final fosse completado.

Fonte: Lean Enterprise Institute

4.3 LEM – Lean Enterprise Model

Em 1995 estabeleceu-se um IPT na LAI para desenvolver o Modelo de Empreendimento Enxuto (LEM) como uma referência geral para o projeto e a execução de análises comparativas de benchmarking. O LEM representa uma estruturação sistêmica, baseada em computador, que integra os princípios, as práticas, as métricas e mais dados de suporte derivados de pesquisas, estudos de casos e análises. O propósito do LEM é servir como uma ferramenta de referência para a auto-análise do “enxugamento” das organizações e suas atividades funcionais. Na verdade existem três produtos associados ao LEM: um diagrama de alto nível (cuja cópia encontra-se logo a seguir, na Figura 15), que cobre os princípios e as práticas abrangentes empresariais; uma apostila de referência, com todos os dados e práticas; e uma versão eletrônica.

LEAN ENTERPRISE MODEL

(Top Level Architecture – Arquitetura de Alto Nível)

Version 1.0

O Lean Enterprise Model (LEM – ou Modelo de Empreendimento Enxuto) é uma estruturação sistêmica para organizar e disseminar os resultados das pesquisas da Fase I da Lean Aircraft Initiative (LAI). O LEM é disponibilizado a todos os membros do consórcio LAI como uma referência para ajudá-los a melhor compreender o “enxugamento” de seus próprios processos e organizações, sendo a principal intenção a de estimular o conhecimento para que as organizações possam direcionar seus esforços Lean no futuro.

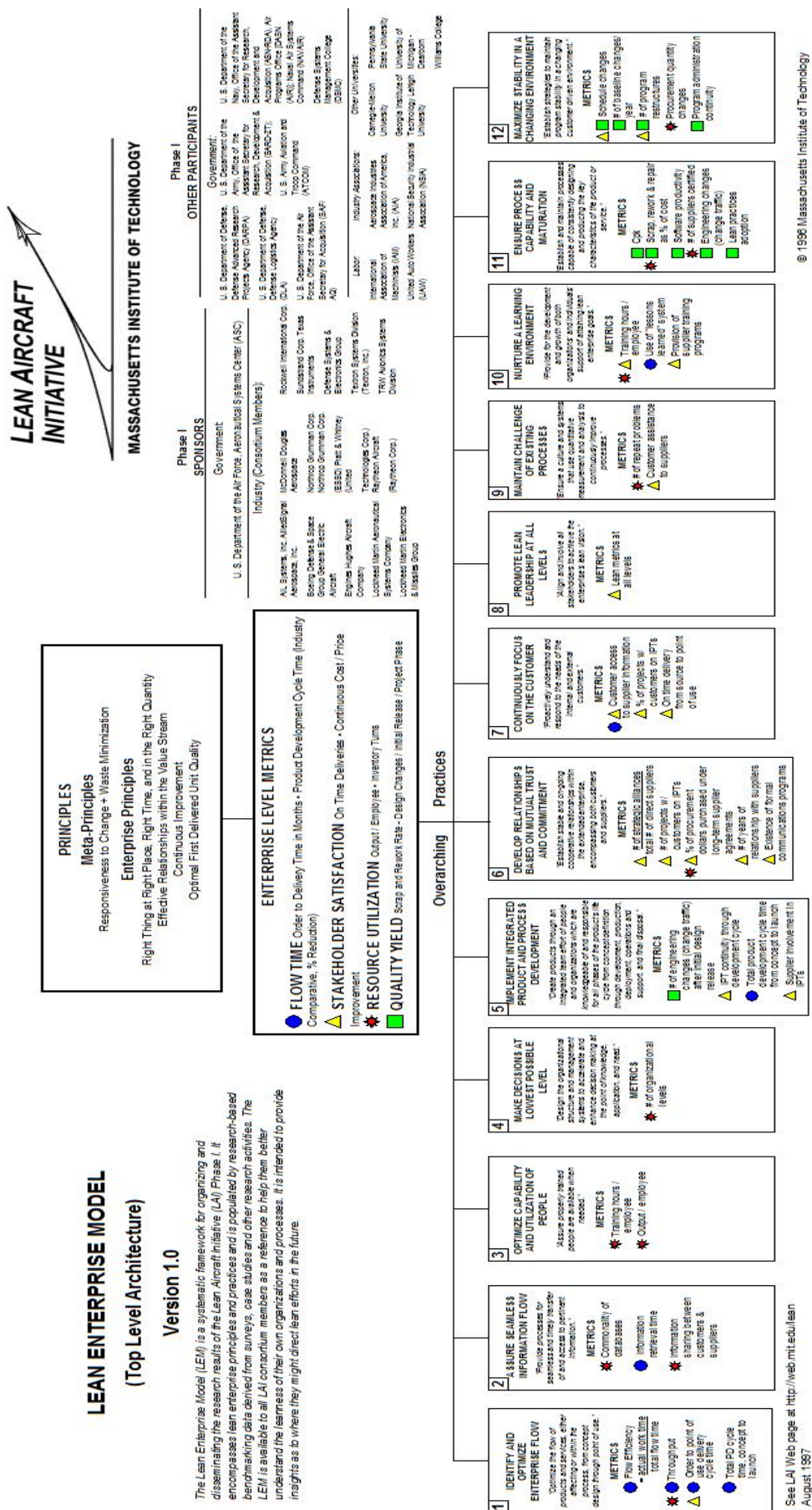


Figura 15 - LEAN ENTERPRISE MODEL Version 1.0
(Top Level Architecture)

Fonte: Lean Enterprise Institute

4.4 LEI – Lean Enterprise Institute



LEAN ENTERPRISE INSTITUTE

O Lean Enterprise Institute é uma instituição para fins não lucrativos voltada para a educação e pesquisa organizacional, fundada nos Estados Unidos em 1997, por James P. Womack, para promover os princípios do pensamento enxuto em vários setores de negócios e através de uma vasta cadeia de manufatura e empresas de serviços. O LEI representa a interface civil da LAI e tem um caráter muito mais abrangente, não se restringindo aos interesses vinculados ao Ministério da Defesa norte-americano. O objetivo maior do LEI é criar um completo conjunto de ferramentas que possam ser utilizadas por “pensadores enxutos” nas transformações dos negócios tradicionais.

5 A IMPLANTAÇÃO DA MANUFATURA ENXUTA NA EMBRAER

Um estudo de caso: A Fabricação do Wing Stub da aeronave ERJ-145

5.1 Características da Área de Fabricação (GFU – Gerência de Fabricação de Usinados)

5.1.1 Evolução da GFU

Criada sob a sigla FUS (Fabricação de Usinados), a GFU teve início nas instalações do F30/1, contendo uma máquina CN, duas fresadoras-copiadoras e várias outras máquinas convencionais de médio e pequeno porte, tais como plainas, fresadoras, tornos, furadeiras, etc. No ano de 1983 iniciou-se a construção do parque de usinagem no F107/1. Em 1984, tendo a Embraer adotado o conceito de Usinagem 5 Eixos, a fresadora Gantry foi a primeira máquina a ser montada na seção, sendo os demais equipamentos transferidos, em seguida, do F30/1 para o atual F107/1. Em 1985 foram montadas as máquinas CNC 3 eixos Wolverine. Mais tarde, em 1986, a divisão passou a ser conhecida como PRU – Produção de Usinados, e em 1992, após a reestruturação da empresa, foi adotada como nova sigla a GFU – Gerência de Fabricação de Usinados.

Em maio de 1995 foi usinada a primeira peça do ERJ-145. Em agosto de 1998 foi entregue o kit número 100 do Wing Stub do ERJ-145, após ter sido melhorado o desempenho de usinagem com o retrofit das máquinas CNC executado no segundo semestre de 1997.

A implantação do conceito de Usinagem High-Speed (Alta Velocidade) deu-se em janeiro de 1999, inicialmente nas máquinas Modig. Em julho de 1999 foi instalada a HSM Makino Mc 1010, logo seguida da entrega do kit número 200 do Wing Stub.

Em janeiro de 2000 foi instalada a HSM Makino Mc 1816, o que também contribuiu para um considerável aumento de produtividade e qualidade de usinagem. O kit número 300 do Wing Stub foi entregue em abril de 2000, após a montagem do conjunto do Wing Stub ter sido transferida para o F107/2, uma área adjacente à usinagem das suas peças.

5.1.2 Definição do Negócio da Área

O Negócio da GFU é a Tecnologia de Usinagem, com a responsabilidade de:

- Assegurar, dentro dos princípios da Qualidade Total, a realização das atividades de fabricação de peças usinadas e montagem estrutural tanto dos subconjuntos quanto dos grandes conjuntos das aeronaves,
- Participar efetivamente nos programas em desenvolvimento, visando a sua compatibilidade com os meios produtivos e a otimização dos processos de fabricação.

5.1.3 Recursos – Máquinas e Equipamentos

O parque de usinagem da GFU é composto por máquinas fresadoras e centros de usinagem CNC de 3, 4 e 5 eixos, e máquinas convencionais, sendo estas tanto fresadoras de pequeno porte quanto outras máquinas como tornos e furadeiras radiais, dentre outras.

Dentre as tecnologias hoje instaladas destacam-se máquinas como a fresadora 5 eixos Cincinnati Gantry, cuja a mesa possui 24 metros de comprimento, as HSM da Makino, que são máquinas de grande precisão na usinagem em alta velocidade, e recursos como a troca automática de ferramentas e o uso de kits e pallets.

Outra máquina que merece destaque é a Profile Liner, da Modig, sendo de uso específico para manufatura de perfis aeronáuticos a partir de extrudados.

Atualmente, o parque de usinagem está tendo seu layout alterado de funcional para celular. Tem-se em funcionamento células de manufatura que permitem a redução de ciclo, a redução de estoques WIP (work-in-process) e, em consequência, redução de custo. A Manufatura Enxuta, ou Lean Manufacturing, também faz parte da nova filosofia de trabalho e está sendo implantada para várias famílias de peças.

Estrategicamente este parque visa o atendimento de itens de média a alta complexidade, cuja subcontratação no mercado nacional ainda é limitada, além de também atender a fabricação de itens necessários para reposição, reparos, protótipos, etc. Objetivando melhorar a integração do leitor com o cenário físico e funcional da GFU, apresenta-se a seguir, na Figura 16, uma visualização do layout efetivo no período estudado, bem como uma descrição sucinta das áreas e suas atribuições.

Layout Simplificado da GFU

Atualmente dividido em seis subgrupos, Usn-01 a Usn-06, o layout da GFU compreende ainda a Unidade de Montagem do Wing Stub (UMW) e as áreas de Subcontrato, Engenharia de Produção e PCP, além das unidades parceiras de CRM, Inspeção e Manutenção.

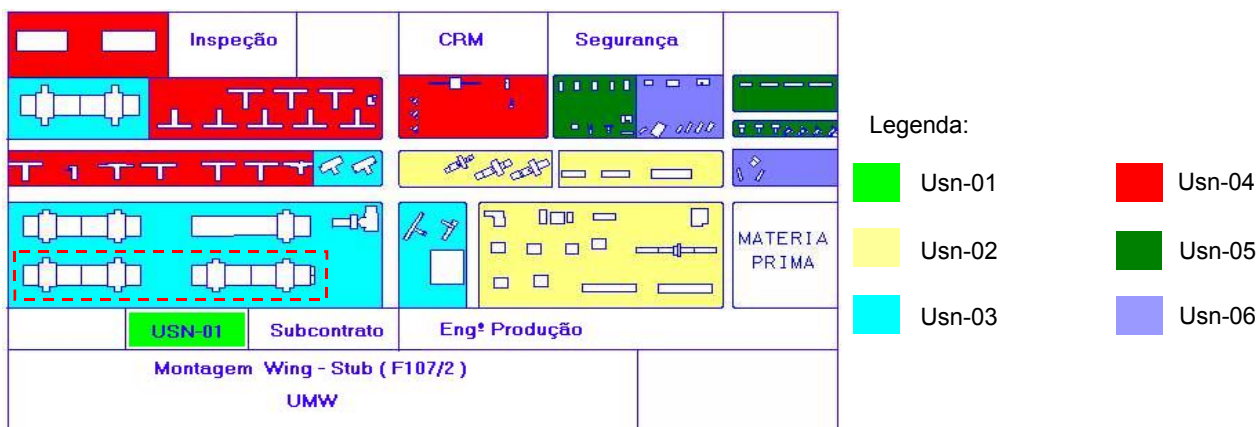


Figura 16 – Layout Simplificado da GFU

Fonte: Embraer

Nota: no subgrupo Usn-03, mostrado na Figura 16, são destacadas as duas fresadoras Gantry que estavam usinando as peças para o Wing Stub do ERJ-145 na época deste estudo.

Descrição dos subgrupos:

USN-01

Este subgrupo é o responsável pela manutenção, guarda e distribuição das ferramentas de corte, dos instrumentos e dos dispositivos e gabaritos de usinagem, além de alguns materiais de consumo. As ferramentas para as máquinas de usinagem CNC, High Speed e convencionais são enviadas sob a forma de kits, preparados em máquinas de pre-setting e remetidos por este subgrupo.

USN-02

Este subgrupo é composto por máquinas de usinagem de 3 e 4 eixos, sendo responsável pela preparação de matéria-prima (execução de furos de transporte, faceamento, furação e desempeno) e fabricação de diversas peças.

USN-03

Dentre os diversos PN's processados neste setor ressalta-se a célula do conjunto Wing Stub, onde, em decorrência da implementação do sistema de Lean Manufacturing (Manufatura Enxuta), todas as operações de usinagem, acabamento, inspeção visual/dimensional e o faceamento do conjunto são atualmente efetuadas no mesmo subgrupo. Para suprir o aumento de cadência de produção o processo de usinagem das peças do Wing Stub pode ser dividido entre as Gantry e as HSM Makino (cujas fotografias, como recursos da GFU, encontram-se a seguir nas Figuras 17 a

19), aumentando a capacidade de carga instalada dedicada à montagem do conjunto final.

USN-04

Este subgrupo é composto por várias máquinas de usinagem CNC, em sua maioria de 3 cabeçotes, utilizadas para execução de operações de complemento do Wing Stub, fabricação de ferragens do trem de pouso e das portas, além de peças das naceles dos motores. Ainda pertinentes a este subgrupo temos máquinas para manufatura de perfis (perfiladeiras de alta velocidade), fresadoras-copiadoras para a fabricação de peças de ensaio, vários tipos de chapelonas e modelos sem programação CNC e outras máquinas para serviços diversos.

A máquina de Shot Peening destaca-se pela grande participação no processo de manufatura do Wing Stub. O processo desta máquina pode ser definido como um tratamento superficial a frio, através do impacto uniformemente distribuído de pequenas partículas, usualmente chamadas granalhas, de forma esférica, projetadas a altas velocidades sobre a superfície, em condições rigorosamente controladas. Este tratamento tem por finalidade principal a indução superficial de tensões residuais de compressão, obtendo-se maior resistência à fadiga e prevenindo a formação e a propagação de trincas e outras falhas do tipo SCC (Stress Corrosion Cracking, ou Trincas por Corrosão induzida pela Tensão).

USN-05 e 06

Este grupo é composto por quatro células que desenvolvem trabalhos de usinagem convencional e CNC em máquinas como fresadoras Deckel Dialog 11 e Dialog 04 (de 3 e 4 eixos, que trabalham simultaneamente), fresadoras Yamaguchi (de 3 eixos, mas de trabalho não-simultâneo), tornos horizontais Okuma (com torre giratória para 12 ferramentas), tornos horizontais convencionais (sem recursos CN), além de furadeiras radiais e de bancada, retíficas cilíndricas e planas, serras de fita e bancadas de ajustagem.

As matérias-primas processadas nestas células são, basicamente, compostas de placas e barras de alumínio, aço e titânio.

Manutenção

Tem como principais responsabilidades assegurar a operacionalidade das máquinas de produção e equipamentos de apoio (atendendo às normas de segurança e qualidade, dentro de critérios de administração de custos e disponibilidade adequados e competitivos), apoiar as divisões na especificação e compra de novas máquinas e equipamentos (assim como na instalação e start-up dos mesmos), apoiar a produção na implantação de novos layouts, retrofitar máquinas e equipamentos, e promover palestras e treinamentos para assegurar a Melhoria Contínua, a Confiabilidade e a Qualidade nos serviços executados, além de outras atividades.

As operações de manutenção englobam todas as atividades referentes à Manutenção Preditiva, Preventiva e Corretiva, contando ainda com a grande ênfase praticada na Manutenção Participativa Total – MPT.



Figura 17 - RECURSOS GFU – FRESADORA 5 EIXOS GANTRY (vista 1)

Fonte: Arquivo EMBRAER

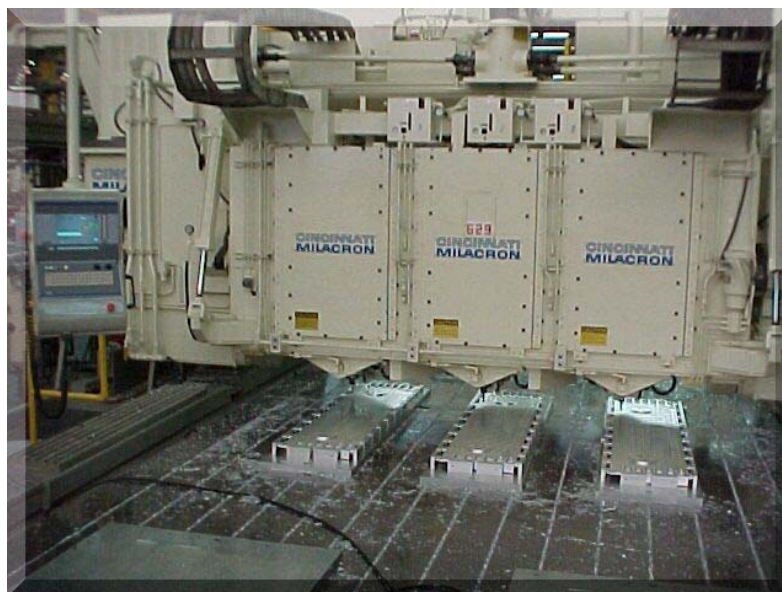


Figura 18 - RECURSOS GFU – FRESADORA 5 EIXOS GANTRY (vista 2)

Fonte: Arquivo EMBRAER

Maiores detalhes sobre as características técnicas e operacionais destas máquinas são apresentadas no Anexo 8.1 Características das fresadoras 5 eixos Gantry.



Figura 19 - RECURSOS GFU – FRESADORA 5 EIXOS HSM MAKINO

Fonte: Arquivo EMBRAER

5.2 O Processo de Manufatura da Aeronave ERJ-145 – Uma Visão Geral

A Figura 20 abaixo apresenta uma visão geral das etapas envolvidas no Processo de Manufatura de uma aeronave ERJ-145, desde o fornecimento da matéria-prima, dos segmentos e dos equipamentos (por parte de fornecedores e parceiros), passando pela fabricação de peças e componentes (chapas conformadas, peças usinadas, materiais compostos, tubos e cablagens elétricas, por exemplo), pela montagem estrutural (envolvendo a montagem e instalação dos subconjuntos, a instalação dos segmentos – como asa, empenagem vertical e horizontal, etc – a junção dos segmentos da fuselagem e a pintura, até chegar à montagem final (com suas atividades correlatas de instalação de equipamentos, instalação e testes de sistemas, instalação do interior, etc) seguida dos testes em voo, da conformidade final e da entrega ao cliente.

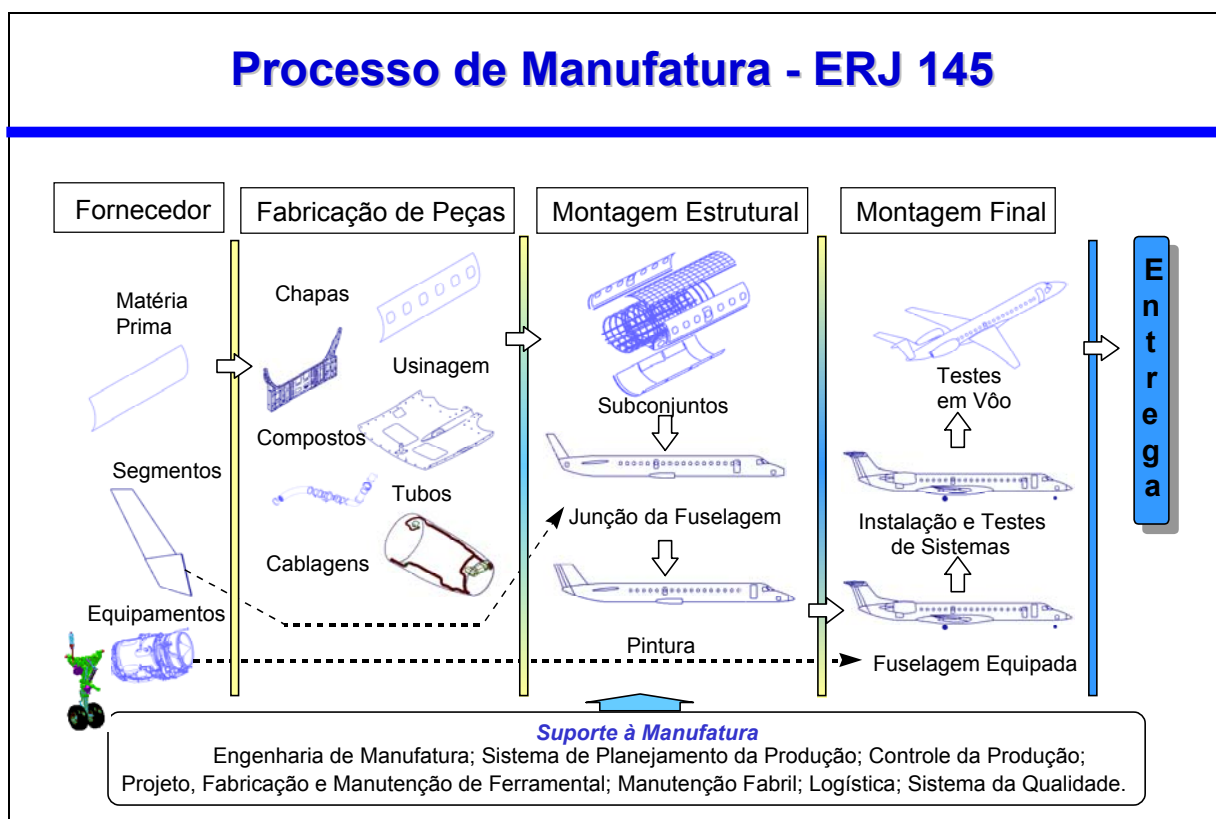


Figura 20 – Processo de Manufatura – ERJ 145

Fonte: Embraer

5.2.1 Noções Gerais sobre o Wing Stub

Trata-se de um conjunto também conhecido por “Raiz da Asa”, cuja extrema responsabilidade estrutural é caracterizada por sua função de atuar não somente como elemento de ligação entre as semi-asas, mas também entre o conjunto da asa e a fuselagem da aeronave, como pode ser visualizado na Figura 21 a seguir, devendo resistir, com grande margem de segurança, à todas as cargas estáticas e dinâmicas incidentes sobre a interface asa/fuselagem resultantes das operações de decolagem, vôo (incluindo manobras), e pouso da aeronave.

O Wing Stub é geralmente unido às semi-asas e à fuselagem por meio de vários prendedores (parafusos) de grande porte, fabricados conforme os mais elevados padrões de qualidade e segurança.

Especificamente no caso em estudo, a estrutura do conjunto Wing Stub do ERJ-145 (que, para auxiliar a visualização do leitor, é mostrada montada na Figura 22 a seguir) é formada por sete peças de formato retangular, com espessura muito superior às chapas de revestimento da fuselagem, usinadas a partir de placas de alumínio de alta resistência, com 3 polegadas de espessura. Conforme a sua atribuição final, os conjuntos Wing Stub podem ser divididos em três classes distintas (sendo formados por peças que também podem apresentar algumas distinções de uma classe para a outra): ER, LR e MP, correspondentes à adequação do Wing Stub operar ou não em contato com o combustível da aeronave. O Wing Stub modelo ER é chamado de “seco”, pois não entra em contato com o combustível. O modelo MP é chamado de “semi-molhado”, pois somente uma parte dele entra em contato com combustível, enquanto que o modelo LR, que trabalha com uma grande área de contato com combustível, é chamado de “molhado”. Para fins de definição de famílias de peças temos que as peças tanto para o MP quanto para o LR são usinadas como “molhadas”, representando a maior demanda pelos clientes, enquanto que as peças

para o ER são usinadas como “secas”. As diferenças entre as classes de Wing Stub se refletem, assim, não somente na cadência de produção/demanda pelos clientes, mas também na programação da usinagem de seus componentes, pois é necessário se balancear adequadamente a capacidade de usinagem (que implica na geração simultânea de três peças iguais pelas fresadoras de três cabeçotes) com a estocagem de peças (buffer) que necessariamente apresentam menor demanda na operação de montagem do conjunto final.

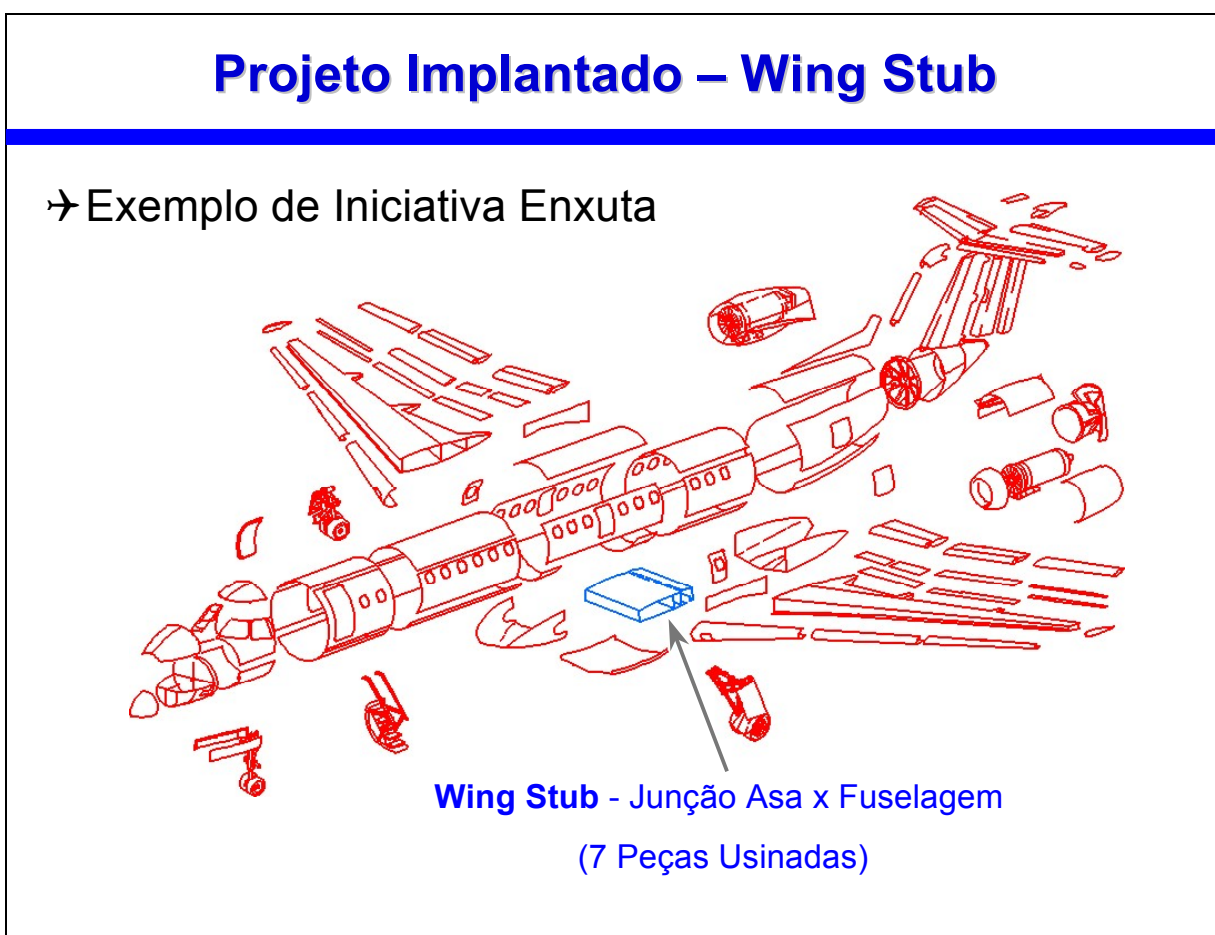


Figura 21 – Projeto Implantado – Wing Stub

Fonte: Embraer

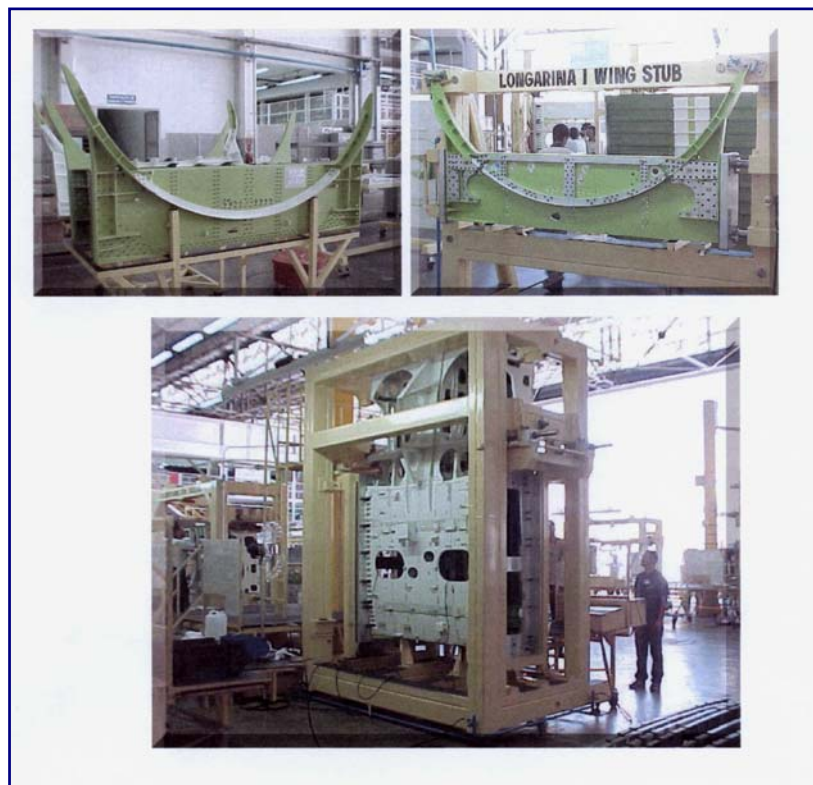


Figura 22 – Vistas do conjunto Wing Stub, incluindo Gabarito de Montagem

Fonte: Embraer

5.3 O Projeto de Implementação da Manufatura Enxuta no Wing Stub

5.3.1 Conceito Geral

Tendo sido operacionalizado no final de 1998, o Projeto de Implementação da Manufatura Enxuta no Wing Stub envolveu a transformação do Processo de Fabricação original, presente e atuante desde o início da fabricação dos Wing Stub em 1996, em um Processo de Manufatura Enxuta que pudesse responder devidamente às condições vigentes de demanda de mercado. Esta implementação recebeu a classificação de Projeto-Piloto, servindo de base tanto para a validação dos conceitos

aprendidos quanto para o aperfeiçoamento da própria metodologia de implementação e treinamento.

5.3.2 A Escolha como Projeto-Piloto

A escolha do Processo de Manufatura do Wing Stub como Projeto-Piloto para o Projeto de Implementação da Manufatura Enxuta na Embraer (ou Projeto Manufatura Enxuta, como ficou mais conhecido) foi resultante da própria Estratégia de Implementação adotada pela empresa, como pode ser visto a seguir:

Consoante com o Desdobramento das Políticas de Manufatura que elencaram o Sistema de Manufatura Enxuta, os principais objetivos do Projeto Manufatura Enxuta eram:

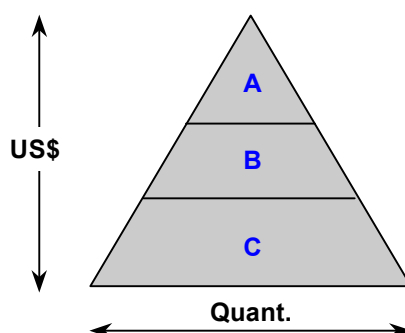
- A Redução do Ciclo de Fabricação;
- O Aumento da Produtividade e da Flexibilidade;
- A Melhoria do Fluxo de Processo;
- A Redução do Material em Processo (WIP);
- A Redução da Movimentação e Transporte; e
- A Redução dos Índices de Sucata e Retrabalho.

Estes objetivos seriam atingidos através de iniciativas e ações norteadas pela Estratégia de Implementação da Manufatura Enxuta, que adotou como primeiro passo o princípio de se classificar os itens de acordo com os parâmetros da Curva ABC, sendo os itens categoria A aqueles de maior valor intrínseco e menor quantidade, os itens categoria B os de valor e quantidade intermediários, e os itens categoria C representados por aqueles de menor valor e grande quantidade (comumente abrangendo “hardwares” como prendedores, pinos, buchas, anéis de vedação, etc).

À cada uma destas categorias seria dado um tratamento específico em termos de disponibilização para o uso, como pode ser visto na Figura 23 abaixo:

Estratégia Manufatura Enxuta

→ 1º Passo (Classificação dos Ítens)



- ♦ Itens A: Entrega direto na linha (Pull)
- ♦ Itens B: Entrega no PCC* (Pull) para formação do Kit
- ♦ Itens C: Entrega próximo ao ponto de uso (Kanban)

* PCC - Supermercado de peças

Figura 23 – Classificação dos Itens em Categorias

Fonte: Embraer

Dessa maneira, a Estratégia Manufatura Enxuta sinalizou que o Foco Inicial do Projeto Lean Manufacturing (ou Projeto Manufatura Enxuta) deveria ser sobre os itens Categoria A nas áreas de Fabricação de Peças Primárias e de Subconjuntos, enquanto que as áreas de Montagem Estrutural e Montagem Final, bem como parte da área de Subconjuntos, receberiam, ao mesmo tempo, maior esforço no tocante a Redução de WIP e de Ciclos de Montagem, como pode ser visto na Figura 24 a seguir. A atuação sobre estes parâmetros foi avaliada como, portanto, sendo a de

maior retorno para os recursos empregados e a de melhor resultado no Processo Produtivo Global.

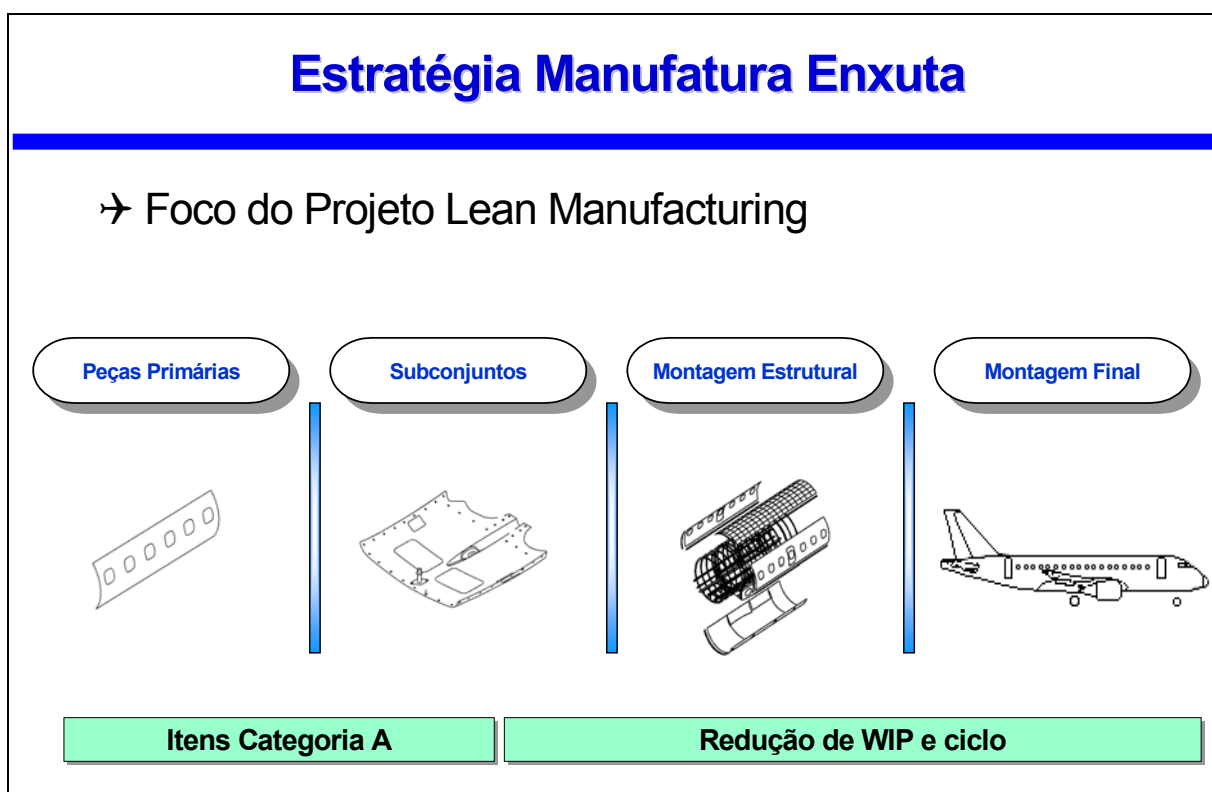


Figura 24 – Foco do Projeto Manufatura Enxuta

Fonte: Embraer

Uma vez definidos os Objetivos, a Estratégia e o Foco Inicial do Projeto de Implementação da Manufatura Enxuta, restava ainda o Detalhamento da Estratégia de Implantação, com a definição das ações em escala macro, devidamente dispostas ao longo do tempo.

A Estratégia resultante deste detalhamento (representada na Figura 25 a seguir) estimava que, a partir da Definição do Projeto, do Responsável e da composição do Time de Trabalho encarregado da condução do Projeto, itens decorrentes do Estudo Preliminar das Necessidades e Oportunidades, seria necessária cerca de uma semana –de trabalhos interdepartamentais e interdisciplinares– para terem-se completados o Modelo Físico do Treinamento

Conceitual, a Elaboração da Visão do Projeto, o Detalhamento do Projeto (com as necessárias Simulação e Modelagem) e, finalmente, o Plano de Implantação do Projeto, com Prazos e Metas adequadamente definidos e acordados entre os envolvidos no processo.

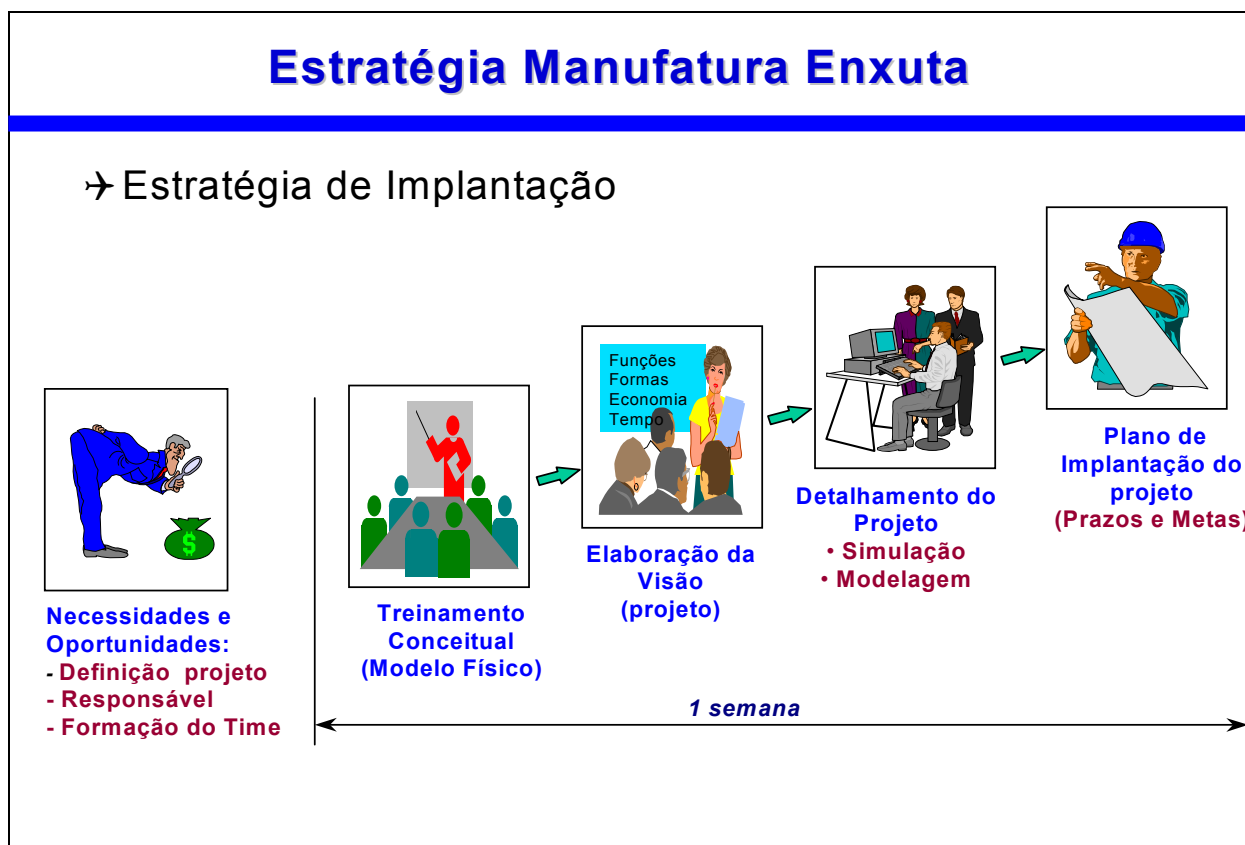


Figura 25 – Estratégia de Implantação

Fonte: Embraer

5.4 A Implementação da Manufatura Enxuta no Wing Stub

5.4.1 O Projeto da "Célula do conjunto Wing Stub"

Resumo do Projeto

O Projeto foi implementar uma Célula de Manufatura para a usinagem das peças do conjunto do Wing Stub. Esta célula foi montada a partir de uma das fresadoras Gantry, localizadas no subgrupo Usn-03, prédio F-107/1.

Custos e Resultados

O custo neste projeto foi a duplicação do ferramental para a implantação em mais uma fresadora, mobilizando um total de duas máquinas (conforme ilustrado na Figura 16 – Layout Simplificado da GFU), após a validação da etapa 1 do projeto.

Conjunto do Wing Stub

Peças são produzidas em OF's unitárias / Célula do Wing Stub na Gantry;

Uma das peças usinadas mais caras;

Grande volume de material em processo.

Objetivos:

- Reduzir o tempo de montagem (Set up);
- Reduzir o ciclo de fabricação (Lead-time);
- Reduzir o grande volume de material em processo (WIP);
- Reduzir a quantidade de documentos necessários para a fabricação, passando de sete Ordens de Fabricação (OFs) unitárias para uma única OF para o kit completo;
- Aplicar os conceitos de Manufatura Enxuta;
- Aumentar a produtividade para atender a cadência.

Conclusão

O modelo se mostrou extremamente flexível, permitindo, após várias simulações de posicionamento de peças e movimentação de Pórticos, se avaliar a melhor distribuição dos PN's na Gantry, a capacidade produtiva da máquina, o número de operadores necessários, a ocupação dos dois Pórticos e dos operadores e também permitiu visualizar a necessidade de horas extras para o Pórtico 2, devido à diferença na produção final entre os dois Pórticos.

5.4.2 Desenvolvimento

5.4.2.1 Introdução

Para o desenvolvimento deste projeto foi montado um time com a missão de implantar e desenvolver uma Célula de manufatura para usinagem das peças do conjunto do Wing Stub, visando aumento de produtividade para atender a cadência.

Este trabalho foi dividido em duas etapas:

5.4.2.2 Etapa 1

Consistiu em montar-se uma célula com sete peças do conjunto Wing Stub LR (Molhado) e sete peças do conjunto Wing Stub ER (Seco). Esta célula foi formada por uma fresadora Gantry, com três cabeçotes, e áreas adjacentes de ajustagem e inspeção.

Kit Faceamento (Lr)	
PN=145-33XXX-407	
PN	DESCRIÇÃO
145-33AAA-001	Revestimento Intradorso Dianteiro
145-33BBB-001	Revestimento Intradorso Central
145-33CCC-001	Revestimento Intradorso Traseiro
145-33DDD-001	Revestimento Extradorso Dianteiro
145-33EEE-001	Revestimento Extradorso Dianteiro
145-33FFF-001	Longarina I
145-33GGG-007	Longarina II

Kit Faceamento (Er)	
PN=145-25XXX-401	
PN	DESCRIÇÃO
145-29AAA-001	Revestimento Intradorso Dianteiro
145-29BBB-001	Revestimento Intradorso Central

cont.

145-29CCC-001	Revestimento Intradorso Traseiro
145-29DDD-001	Revestimento Extradorso Dianteiro
145-29EEE-001	Revestimento Extradorso Dianteiro
145-29FFF-001	Longarina I
145-29GGG-001	Longarina II

Para a verificação dos resultados em termos de precisão de usinagem e tolerância, as peças, devido às suas dimensões, foram inspecionadas com o auxílio de um cronaflex, que indicava os locais e dimensões a serem medidos, reduzindo o tempo de inspeção.

5.4.2.3 Etapa 2

Com o sucesso obtido na etapa 1, o mesmo processo foi repetido para as demais peças que compõem o conjunto Wing Stub.

5.4.2.4 Especificação do Processo

a) Definição do Universo de Peças

O universo de peças foi definido através de um levantamento de todas as peças usinadas que pertencem ao conjunto do Wing Stub LR e ER, os CT's (Centro de Trabalho) onde se processavam cada uma das peças e os seus respectivos dispositivos de usinagem.

b) Levantamento do fluxo das peças e dos tempos de fabricação das peças por CT (Mapeamento do Fluxo de Valor)

Este levantamento consistiu no monitoramento detalhado, com o uso de técnicas de cronoanálise, de cada um dos tempos de processamento dos CT's que fazem parte da célula, bem como do itinerário percorrido por todas as peças (desde a

disponibilização como matéria-prima até a entrega para a montagem do conjunto, no gabarito de montagem).

Para o CT 0211- fresadora Gantry - foram levantados dados sobre os tempos de usinagem efetiva, de montagem das peças, de trocas de ferramentas, de paradas programadas (para verificação do estado da ferramenta e estimar tempo útil de operação), remoção de cavaco e chamadas do DNC para cada peça do Kit faceamento LR e ER.

Um dos importantes resultados da etapa conceitualmente referente à Especificação de Valor é o Takt Time, cujo valor calculado, apesar de considerado classificado por parte da empresa, implicou na coordenação da cadência de produção de modo a se ter um conjunto do Wing Stub entregue na linha de montagem a cada 2 dias, de acordo com o plano de produção vigente na época.

O Mapa do Estado Atual resultante deste levantamento é mostrado na Figura 26. Trata-se de uma representação esquemática, sem o detalhamento dos dados referentes às operações executadas e aos respectivos tempos, pois estes valores são também considerados como classificados em termos de confidencialidade e preservação da segurança da informação industrial.

c) Identificação e eliminação das restrições ao Fluxo de Valor

Devido às características de disposição da matéria-prima previamente à alimentação da Gantry, do posicionamento das mesmas placas de matéria-prima na mesa de usinagem, do sistema de troca das ferramentas de corte nos cabeçotes e da disposição dos PNs já usinados ao serem removidos da mesa da fresadora, identificou-se a fresadora Gantry como sendo a maior restrição ao Fluxo de Valor. A partir desta constatação, buscou-se equilibrar o fluxo com o estabelecimento de um estoque intermediário de peças (supermercado) na área da própria Gantry, como pode ser visto nas Figuras 29 e 30 mais à frente.

Mapa do Estado Atual - Situação do Processo na Fase Anterior à Implementação

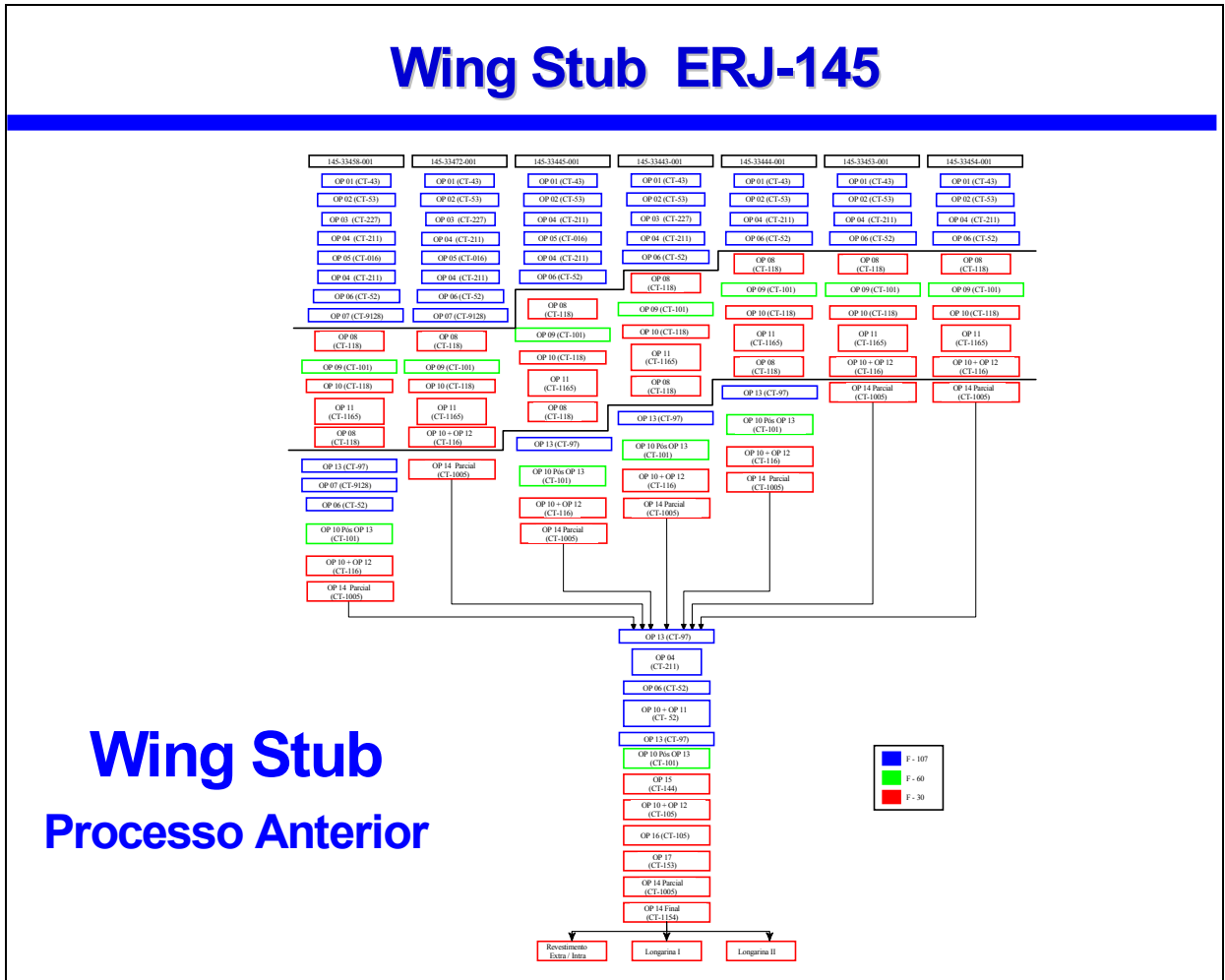


Figura 26 – Mapa do Estado Atual – Wing Stub

Fonte: Embraer

Por sua vez, o Mapa do Estado Futuro, ilustrando da mesma forma esquemática a situação do processo após a implementação do Projeto Manufatura Enxuta, mostra a racionalização de todas as operações remanescentes no processo produtivo (uma vez que algumas foram suprimidas, em uma redução de aproximadamente 16%, tendo outras sido substituídas ou agrupadas), com a vantagem inequívoca da economia de movimentação e transporte associada às extremas simplicidade e fluidez do modelo celular proposto no Projeto.

Mapa do Estado Futuro - Situação do Processo Após a Implementação

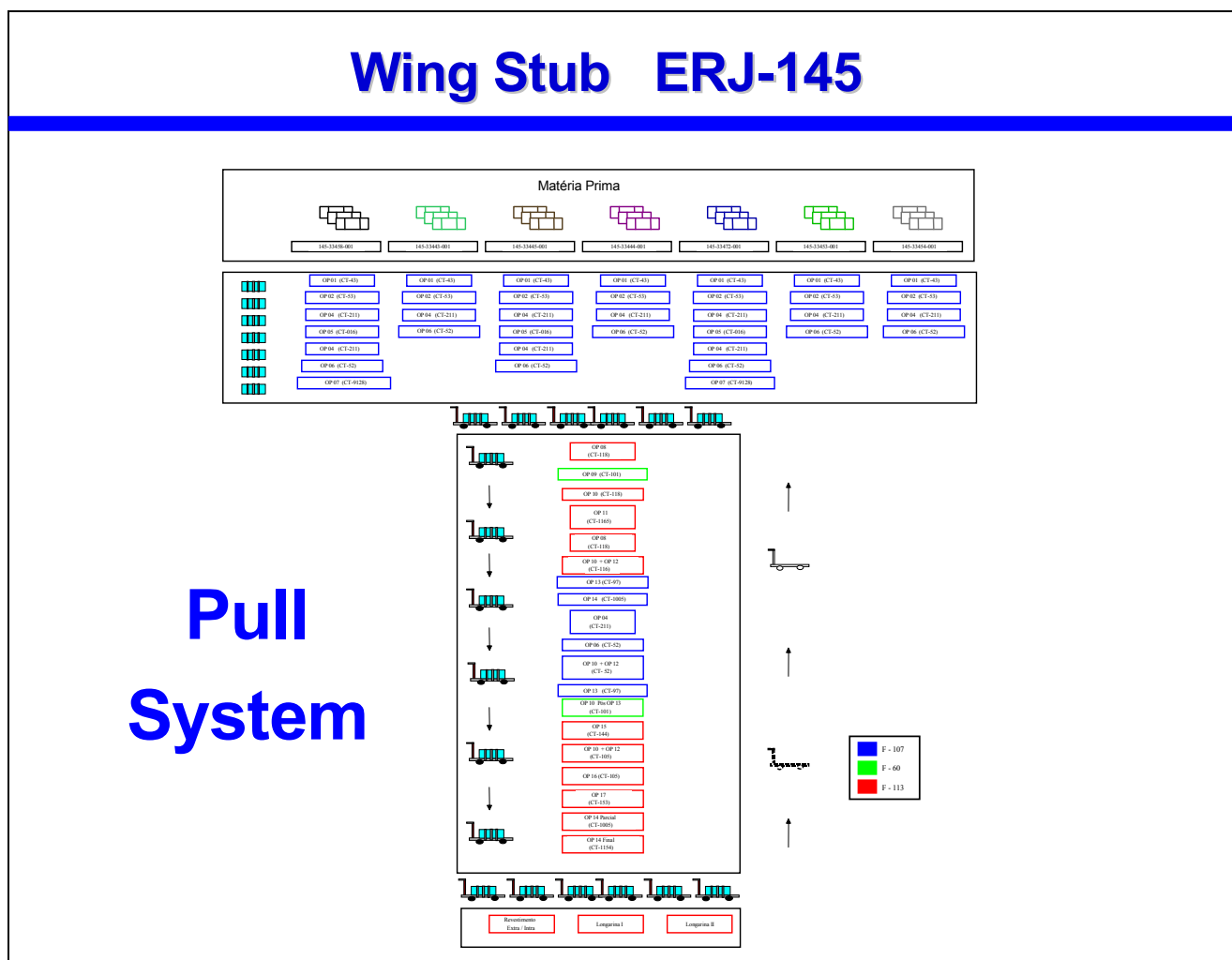


Figura 27 – Mapa do Estado Futuro – Wing Stub

Fonte: Embraer

d) Definição do layout das peças na fresadora Gantry

Foi elaborada uma simulação, utilizando os módulos Ergo e Assembly do CATIA V4, com a montagem dos dispositivos das peças do Kit faceamento sobre a mesa da máquina, levando em consideração a área para circulação dos operadores, a amplitude de movimentos da ponte rolante, o acesso para colocação e retirada de matéria prima/peça e a movimentação dos pórticos com os cabeçotes de usinagem.

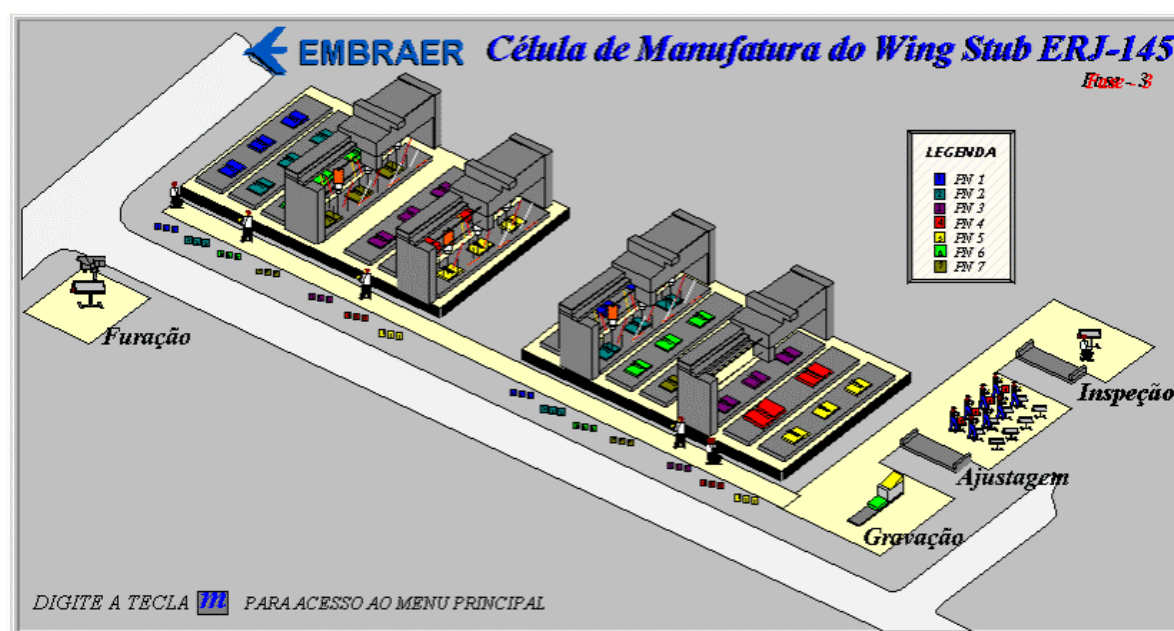


Figura 28 – Simulação da Célula de Manufatura do Wing Stub ERJ-145

Fonte: Embraer

e) Kit Célula de ferramentas de corte

Foi feito um levantamento de todas as ferramentas de corte utilizadas para a usinagem das peças do Kit faceamento, sendo encontrado um total de 47 tipos diferentes. Com o estudo de padronização, objetivando racionalizar o uso das ferramentas e explorar melhor a capacidade de cada uma delas em usinar mais de um modelo de superfície, o kit faceamento passou a ser composto por 32 tipos diferentes, o que representa uma redução de aproximadamente 32% na quantidade de tipos diferentes de ferramentas de corte, como pode ser verificado na Tabela 11 a seguir.

Deve-se notar que este percentual de redução reflete-se diretamente na quantidade de ferramentas que são montadas nos cabeçotes de usinagem das fresadoras, sendo igualmente reduzida a carga de trabalho correspondente à tarefa de troca (manual) de ferramentas.

Para uma avaliação correspondente às condições reais de trabalho, como cada pórtico da máquina possui três cabeçotes, fez-se necessário montar três ferramentas em cada um deles.

Tabela 11 – Resultados da padronização dos tipos de ferramentas de corte

Fases	Ferramentas	Montagem	Redução de Montagem
Antes da Padronização	47	141	-
Após a Padronização	32	96	45

Fonte: Elaborada pelo autor.

f) Ganhos obtidos com a implantação da Célula de Manufatura do conjunto Wing Stub

f.1) Ganhos Reais em Cadência, Ciclo de Produção e Movimentação

Tabela 12 – Ganhos Reais em Cadência, Ciclo de Produção e Movimentação

	Antes da Célula de Manufatura	Depois da Célula de Manufatura
Ciclo	60 dias	27 dias
Material em Processo (US\$)	720 mil *	470 mil * 350 mil ***
Movimentação entre CT's	113	62
Movimentação entre Prédios	46	10

cont.

Kits Stub em processo	Aprox. 40 Kits *	Aprox. 26 Kits * Aprox. 38 Kits **
-----------------------	------------------	---------------------------------------

Fonte: Embraer

* Para uma cadência de produção de 6 aviões por mês.

** Para uma cadência de produção de 12 aviões por mês.

*** Com a implantação do “cut-to-size” (matéria-prima recebida pré-cortada, em dimensões mais adequadas para o processamento, i.e. mais próximas das dimensões finais dos produtos usinados, eliminando-se a operação de pré-corte e a consequente geração de “retalhos” de matéria-prima não aproveitada).

Analisando os resultados acima, pode-se constatar que as grandes melhorias que se esperava obter, teoricamente, pela implementação das práticas de Manufatura Enxuta realmente aconteceram, pois reduções da ordem de 55% no ciclo de produção, de aproximadamente 35% no valor do estoque WIP (para uma mesma cadência de produção) – podendo chegar a 51% se for implantado o “cut-to-size”, de 45% na movimentação entre CT’s e 78% na movimentação entre prédios, e de 35% na quantidade de kits em processo (se mantida a cadência) - e ainda permanecendo em uma quantidade 5% menor se a cadência for dobrada! – sem esquecer a redução de 32% na quantidade de ferramentas de corte, dificilmente poderiam ser atingidas, ou melhor, sequer imaginadas, sem a transformação do sistema tradicional de manufatura para o Sistema de Manufatura Enxuta!

Nas páginas seguintes procura-se demonstrar, através de fotografias tiradas antes e depois da implementação do Projeto Manufatura Enxuta, as melhorias obtidas em termos de aspecto visual (Figuras 29 a 31) e disponibilidade de matéria-prima para usinagem (Figura 32).

f.2) Grande Melhoria no Aspecto Visual

Antes:



Figura 29 – Área de usinagem antes da implementação

Fonte: Embraer

E depois da implementação do Projeto Manufatura Enxuta:



Figura 30 – Área de usinagem depois da implementação (vista 1)

Fonte: Embraer

Outra vista da área melhorada:



Figura 31 – Área de usinagem depois da implementação (vista 2)

Fonte: Embraer

Disponibilidade de Matéria-Prima (placas) disposta em kits no ponto de uso para a Gantry:

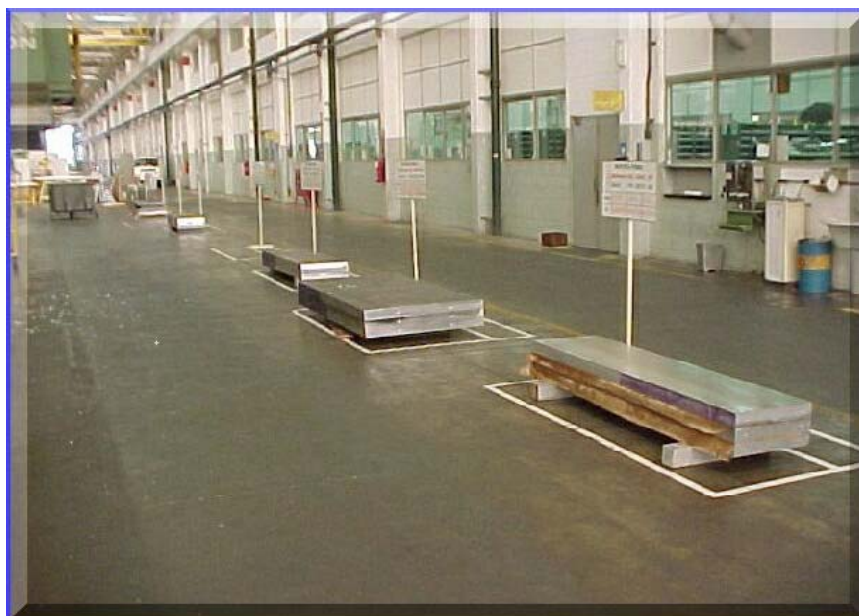


Figura 32 – Matéria-prima no ponto de uso e na quantidade adequada.

Fonte: Embraer

g) Cenário Efetivo Após Implementação

A partir da constatação da eficácia do sistema, foram efetuadas novas simulações, tendo sido projetadas situações que ajudassem a determinar a quantidade necessária de operadores para a Gantry, de ajustadores e de inspetores, sendo que, nos moldes propostos e para atender a cadência vigente, o cenário implantado se encontra na situação mostrada na Tabela 13 abaixo:

Tabela 13 – Cenário efetivo após implementação
Fresadora Gantry

Quantidade de Máquinas / Pórticos	2 / 4
Número dos Pórticos	599 – 600 - 629 - 630
Quantidade de Operadores (por Pórtico)	1
Quantidade de Ajustadores (por turno)	10 ajustadores
Quantidade de Inspetores (por turno)	1
Números de Turnos	2
OBS: Implantado o 3º turno para garantir cadência	

Fonte: Embraer

As Figuras seguintes buscam também fornecer uma noção sobre as melhorias obtidas em termos de controle da matéria-prima (Figura 33) e de peças processadas para a montagem (Figuras 34 e 35), além de permitir uma boa visualização das soluções para a integração, o transporte e o controle das peças em kits, disponibilizando-as mais facilmente para a montagem (Figuras 36 a 38).

Controle de Matéria-Prima ao lado da máquina:



Figura 33 – Controle de matéria-prima ao lado da máquina

Fonte: Embraer

Controle da saída de material usinado em kits para a Montagem:



Figura 34 – Controle de saída de material (vista 1)

Fonte: Embraer



Figura 35 – Controle de saída de material (vista 2)

Fonte: Embraer

Carros de transporte de kits para a Montagem:

Wing Stub ERJ-145

→ Carro de transporte do conjunto de Peças



Figura 36 – Carro de transporte de kits para montagem (vista 1)

Fonte: Embraer



Figura 37 – Carro de transporte de kits para montagem (vista 2)

Fonte: Embraer

Controle de Peças na Montagem:

Wing Stub ERJ-145

→ Controle de Peças na Montagem



Figura 38 – Controle de peças na montagem

Fonte: Embraer

6 CONCLUSÃO

Em 1999, com o lançamento da 1ª. Célula de Manufatura Enxuta para a Fabricação das Peças do Conjunto Wing Stub da aeronave ERJ-145 e sua família, a Embraer teve a oportunidade de explorar os conceitos e confirmar a validade da metodologia de implementação da Filosofia Lean Manufacturing, obtendo resultados consistentes e extremamente positivos em termos de racionalização dos processos, dos recursos e da burocracia, fatos estes que repercutiram favoravelmente por toda a Administração da Produção.

Tratando-se de evidenciar as melhorias obtidas, resumidamente mostradas na Tabela 12 do capítulo anterior, as reduções de mais de 50% no ciclo de produção, de cerca de 35% no valor do estoque WIP (para uma mesma cadência de produção) – com perspectivas de superar os 50% caso seja implantado o “cut-to-size”, de 45% na movimentação entre CT’s e 78% na movimentação entre prédios, e de 35% na quantidade de kits em processo (se mantida a cadência) - e ainda permanecendo em uma quantidade 5% menor se a cadência for dobrada! – sem esquecer a redução de mais de 30% na quantidade de ferramentas de corte, são realmente extraordinárias, principalmente se comparadas com os resultados normalmente esperados da implementação de quaisquer planos de melhoria que tenham sido elaborados com base nas teorias mais avançadas de Qualidade Total, Seis Sigma ou TPM, dentre várias outras!

Conforme pode ser notado na Figura 39 a seguir, extraída de uma apresentação feita sobre o Plano de Transformação da Manufatura da Embraer, os resultados obtidos com a implementação da Manufatura Enxuta somente na gestão de uma pequena área da área de Fabricação de Peças, com um mínimo impacto em nível de layout macro da Divisão, se traduziram na adoção da Filosofia Lean Manufacturing em larga escala pela empresa.

Capability - Uma Visão da Manufatura

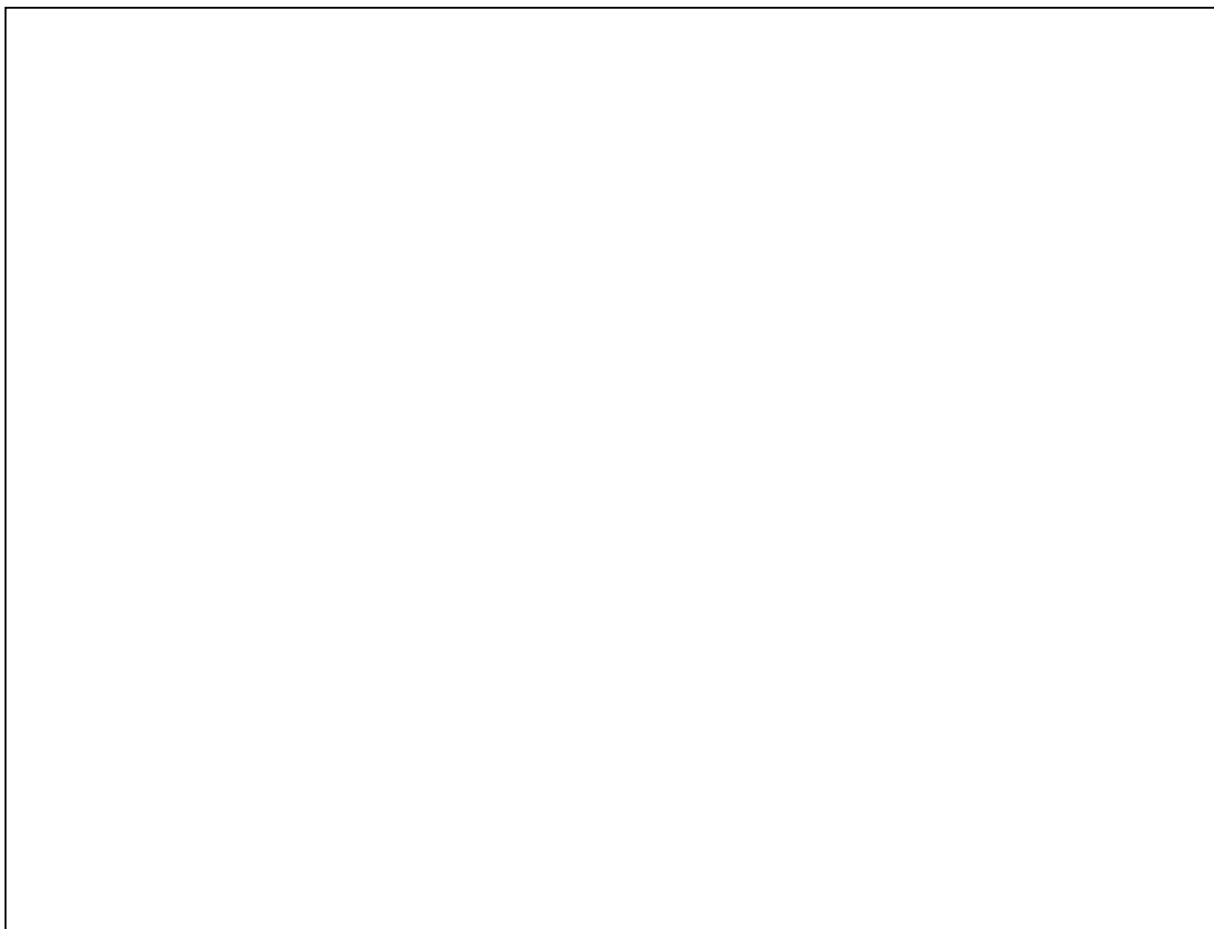


Figura 39 – Capability – Uma Visão da Manufatura

Fonte: Embraer

As estratégias e os princípios da Manufatura Enxuta foram plenamente incorporados pela Alta Administração, a ponto de se constituírem em um objetivo empresarial a ser atingido até o ano de 2002. Para este ano é previsto ter-se todas as áreas de Fabricação de Peças operando segundo os princípios da Manufatura Enxuta, com seus layouts organizados em células de fabricação e contando, inclusive, com a extensão da implementação na Tecnologia e Gestão das áreas dedicadas à Montagem, uma vez que também foi evidenciada a eficácia na racionalização tanto do espaço produtivo e da movimentação de pessoas e material quanto da quantidade de

ferramental necessário para as atividades de integração de subconjuntos, conjuntos e montagem final das aeronaves.

Outra confirmação da tendência das Práticas de Manufatura Enxuta serem adotadas mundialmente é a recente publicação das normas SAE J4000 (Identification and Measurement of Best Practice in Implementation of Lean Operation) e SAE J4001 (Implementation of Lean Operation User Manual), as quais são estruturadas como uma implementação tipo 5S, sendo documentos conceituais, sem muito detalhamento técnico.

Procurou-se também evidenciar neste trabalho o reconhecimento do Sistema de Manufatura Enxuta como uma valiosa e estratégica ferramenta na busca pelo aumento da Competitividade da Embraer a nível mundial, o que será efetivamente obtido e passará a contar como um grande diferencial competitivo somente através da incorporação do “Pensamento Enxuto”, não apenas nas áreas dedicadas exclusivamente à Manufatura mas também em todas as demais áreas da empresa.

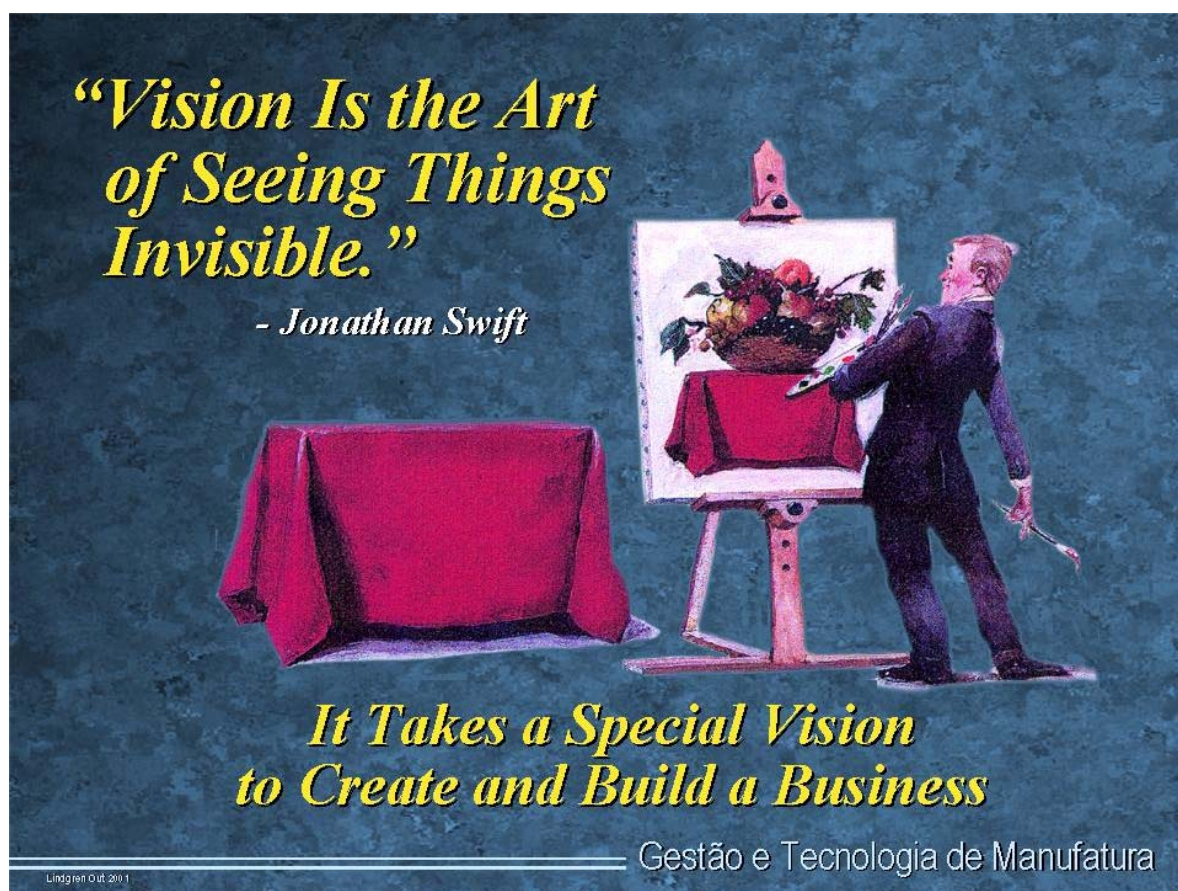
Seguindo sua tradição de empresa de “tecnologia-de-ponta”, pode-se certamente esperar que o estímulo pela melhoria contínua, tão bem apregoado pelos princípios do *kaizen*, continue a nortear a Embraer em sua busca incessante por novas Tecnologias e Sistemas de Gestão, levando-a a estar continuamente atenta tanto às inovações recentemente publicadas quanto às pesquisas ainda em andamento. Neste campo tão interessante, fértil e dinâmico dos Sistemas de Gestão da Manufatura, cuja importância estratégica muitas vezes transcende as fronteiras da Produção e da Cadeia de Suprimentos, atingindo todas as áreas da Empresa por onde passe o efetivo Fluxo de Valor, uma próxima etapa na evolução da Manufatura talvez seja a transformação da Manufatura Enxuta para a Manufatura Ágil.

A exploração das bases conceituais disponíveis no momento, bem como o estabelecimento de uma Estratégia de Implementação seguida de um Plano de Implementação cuidadosamente elaborado, tudo consoante com esta bem sucedida

experiência da assimilação e validação dos conceitos da Manufatura Enxuta, certamente levará à conversão dos princípios da Manufatura Ágil em mais uma estratégica ferramenta a ser colocada à disposição da Embraer, contribuindo grandemente para o aumento, em escala global, da Competitividade da empresa.

Finalizando, gostaríamos ainda de deixar uma impressão do que poderá ser a “Visão do Futuro” para a Embraer, em um horizonte “Pós-Manufatura Enxuta”, extraída da análise e do estudo das últimas tendências em termos de Gestão Avançada da Manufatura. O que apresentamos no próximo capítulo é a visão da sucessora da Manufatura Enxuta: a Manufatura Ágil, cuja sistemática de avaliação dos conceitos, da metodologia e da efetiva implementação poderia muito bem servir de tema para o desenvolvimento de um futuro trabalho acadêmico.

Particularmente, o autor gostaria de encerrar este trabalho com uma imagem que, na sua visão, traduz tudo o que se deve esperar de uma VISÃO EMPRESARIAL em nosso ambiente altamente competitivo e globalizado:



7 PERSPECTIVAS FUTURAS

7.1 O Futuro: A Manufatura Ágil

Sendo um conceito emergente, focalizado na pronta resposta a mercados turbulentos e dinâmicos, a agilidade implica na completa integração de todas as operações logísticas relacionadas, e ainda na perspectiva de um fluxo de valor extremamente rápido por toda a cadeia de abastecimento.

Uma cadeia de abastecimento verdadeiramente ágil deve apresentar as características de:

Grande sensibilidade ao mercado – sendo capaz de identificar e responder às demandas reais em oposição à demanda prevista, baseada em dados históricos, ou compras oportunas. Trata-se da efetiva Customização em Massa.

Virtualidade - através da utilização da Tecnologia de Informação no compartilhamento de dados entre os compradores e fornecedores, evitando-se o cenário distorcido e ruidoso que aparece quando pedidos são transmitidos sequencialmente nas cadeias tradicionais de suprimentos. Cadeias virtuais são baseadas em informações, em oposição às tradicionais, baseadas em estoques.

Total Integração do Processo - refere-se ao trabalho colaborativo entre compradores e fornecedores, juntamente com o desenvolvimento de produtos e sistemas comuns. Apenas parceiros da cadeia de abastecimento podem compartilhar informações e explorá-las completamente. Paralelamente à integração do processo, vêm o foco comum, as equipes de compradores-vendedores, a transparência controlada da informação e a contabilidade aberta. Um verdadeiro compromisso sem fronteiras é a chave para os empreendimentos estendidos e globais.

Parceria da Rede - com o crescente reconhecimento de que negócios individuais não mais competem como uma entidade isolada, mas como uma cadeia de abastecimento, uma era da "competição da rede" está surgindo. As organizações de

maior sucesso têm a habilidade da melhor estrutura, coordenando e gerenciando seus relacionamentos com seus parceiros em uma rede compromissada para o melhor, mais próximo e mais ágil relacionamento com seus consumidores finais. A rota para a vantagem competitiva sustentável reside em ser capaz de nivelar as respectivas forças e competências dos parceiros da rede para atingir a pronta resposta para a demanda do mercado.

7.2 Comparação entre Produção Enxuta e Ágil

Fundamental para a filosofia da "Produção Enxuta" é a formação de parcerias de longo prazo na cadeia de abastecimento, o que apresenta seu melhor rendimento em situações de produtos e demanda estáveis. Contudo, estas parcerias de longo prazo podem limitar potencialmente a flexibilidade, comprometendo o desempenho de toda a cadeia de abastecimento. Para empresas ágeis, as parcerias tendem a ser mais dinâmicas e focalizam as relações em um fornecedor particular, ao invés do desenvolvimento de estratégias enxutas, centralizadas no alinhamento das necessidades do mercado com a competência das empresas de manufatura.

A Tabela 14 abaixo resume os principais tópicos da comparação entre as Manufaturas Enxuta e Ágil:

Tabela 14 - Comparação entre Manufatura Enxuta e Manufatura Ágil

	Manufatura Enxuta	Manufatura Ágil
A meta primária	Elimina as perdas da cadeia de abastecimento.	Focaliza-se no atendimento instantâneo das demandas do cliente final.
Como funciona?	Potencializando parcerias de longo prazo na cadeia de abastecimento.	Baseada no conceito de cadeias virtuais, onde as parcerias são dinamicamente reconfiguradas de acordo com novas oportunidades de mercado.

	Manufatura Enxuta	Manufatura Ágil
Indicador de desempenho	Indicadores de Classe Mundial baseados na qualidade e produtividade (se suas operações são enxutas, seus produtos irão supostamente vencer a concorrência).	Métricas do Cliente (ex. pedidos atendidos completamente e no prazo).
Organização do trabalho	Enfatiza a necessidade da padronização do trabalho, melhorias contínuas e ambiente disciplinado.	Enfatiza a necessidade do auto-gerenciamento, envolvendo o desenvolvimento das pessoas que são capazes de assumir riscos e responder imediatamente a novas oportunidades.
Planejamento e controle do trabalho	Recursos balanceados, movimentação de materiais sincronizada e redução de perdas.	Interpretação imediata da demanda do cliente e resposta instantânea à mesma.

Fonte: tabela adaptada do original IMAM Consultoria Ltda., de São Paulo.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, E.M. *Sistema nacional de inovação no Brasil: uma análise introdutória a partir de dados disponíveis sobre a ciência e a tecnologia*. Revista de Economia Política, vol.16, nº 3 (63), Julho - Setembro 1996.

BERNARDES, R. *EMBRAER: elos entre estado e mercado* – Hucitec, Fapesp, 2000.

BERNARDES, R. *O Arranjo Produtivo da Embraer na Região de São José dos Campos* – Relatório Técnico - SEADE, 2000.

CABRAL, A.S.; BRAGA, C.A.P. *O Estado e o desenvolvimento tecnológico da indústria aeronáutica brasileira*, Texto de discussão, nº 23, FEA/USP, 1986.

CABRAL, A.S. *Análise do Desempenho Tecnológico da Indústria Aeronáutica Brasileira*, Tese de Doutorado, POT, ITA, 1988.

CONTADOR, J.C. *Gestão de Operações – A Engenharia de Produção a Serviço da Modernização da Empresa* 2ª. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1997.

CORREA, H.L.; GIANESSI, I.G.N. *Just in Time, MRP II e OPT - Um Enfoque Estratégico* - Editora Atlas, 1996.

DAGNINO, R. *A Indústria de Armamentos Brasileira: uma Tentativa de Avaliação*, Tese de Doutorado, Instituto de Geociências - UNICAMP/IG, 1987.

DAGNINO, R. *A Indústria Aeronáutica*. ECIB - Estudo da Competitividade da Indústria Brasileira. Nota Técnica Setorial - Campinas. IE / Unicamp / MCT / FINEP / PACDT, 1993.

MENDONÇA, M. *Incentivos ao Adensamento da cadeia produtiva da Embraer - relatório final*. Dezembro, 1997.

MOURA, R. A. *Kanban – A Simplicidade do Controle da Produção*. Instituto IMAM, 1994.

PASQUALUCCI, E. *Relacionamento entre institutos de pesquisa e empresas industriais em São José dos Campos: O caso do setor aeroespacial*. São José dos Campos, INPE, 1986.

ROTHER, M.; SHOOK, J. *Learning to See*, The Lean Enterprise Institute, 1998.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROOS, D. *A Máquina que Mudou o Mundo*, Editora Campus, 1992, ISBN 85-7001-742-1.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T. *Lean Thinking*, Editora Simon & Schuster, 1996, ISBN 0-684-81035-2.

9 ANEXOS

9.1 Características das fresadoras 5 eixos Gantry

Fresadora de 5 eixos, com 3 cabeçotes de usinagem (com troca manual de ferramentas) para fabricação de peças de médio e grande porte.

ESPECIFICAÇÕES

SUB-GRUPO NA EMBRAER	USN-03
COMANDO	ECS 2401 D
PÓS-PROCESSADOR	SPY 7
DIMENSÕES DA MESA	27.432 mm (eixo X) por 4.864 mm (eixo Y)
NÚMERO DE CABEÇOTES	3 (Fixos) por Pórtico
DISTÂNCIA ENTRE CABEÇOTES	1.016mm
QUANTIDADE DE EIXOS	5 eixos (planos X-Y-Z + angulares A e B)
CAMPO DE TRABALHO	X = 21.000 mm Y = 2.133 mm Z = 711 mm A = +/- 25o B = +/- 25o
AVANÇO MÁXIMO PROGRAMÁVEL	X = 5.000 mm/min Y = 5.000 mm/min Z = 1.500 mm/min A = 240o/min B = 240o/min

POTÊNCIA	30 HP (22 Kw) por cabeçote
ROTAÇÕES min/máx.	20 / 3600 RPM
SELEÇÕES DE ROTAÇÕES	AUTOMÁTICA
TIPO DE COMUNICAÇÃO	VIA REDE E/OU DISCO
	FLEXÍVEL
TROCA DE FERRAMENTAS	MANUAL
DISTANCIA ENTRE A SUPERFÍCIE DA MESA E A FACE DOS CABEÇOTES	MAX = 838 mm
.....	MIN = 127 mm
QUANTIDADE / NÚMERO DAS MÁQUINAS	9 Máquinas
.....	Nº 560/580/599/600/
.....	609/610/629/630/640
RECURSOS ESPECIAIS	
CABEÇOTE HORIZONTAL	MÁQ. Nº 640
ROTAÇÃO MÁXIMA DE TRABALHO	1.800 RPM
DISTANCIA GAGE-LINE /CENTRO CABEÇOTE	254 mm
QUANTIDADE DISPONÍVEL	1 (somente na máq. Nº 640).



9.2 Atualidades sobre Manufatura Enxuta

9.2.1 A New Benchmark for Manufacturers: 'Lean Operation Standard' Published by SAE

WARRENDALE, PA. (11/28/1999) - For the first time, the auto industry has a common definition for lean operation, as the Society of Automotive Engineers (SAE) has published the "Lean Operation Standard" (SAE J4000), a new document which can be used to identify and measure implementation of lean operation in manufacturing companies.

According to Roy Trent, director of the SAE's Best Manufacturing Practices (BMP) Automotive Manufacturing Initiative (AMI), the new SAE J4000 standard and the incorporation of lean operation can assist manufacturers to achieve significant cost and time savings through the elimination of waste in an organization's value stream.

"Now, automotive and manufacturing companies have a common definition of 'lean' and a yardstick to measure their lean status, as well as a methodology to compare their operations with the most successful lean operating systems," Trent said. "As SAE expands its focus across the vehicle's total life cycle - including manufacturing - this document is one of many resources that will be made available to help companies improve operations. It may also be useful to automotive suppliers in meeting the continuous improvement program requirements in QS-9000."

The SAE J4000 document covers six lean implementation areas: management/trust; people; information; supplier/organization/customer chain; product; and process/flow. It also lists 52 components, which provide measurable points of reference for successful lean implementation.

To assist users in interpreting and applying the standard, SAE also has developed SAE J4001 "Implementation of Lean Operation Users Manual," and a research report documenting examples of current best practices entitled "Best

Practices in the Implementation of Lean Operation Among Manufacturers." This research report represents the first objective and comprehensive study of lean operations, spanning 12 months and involving lean experts from automakers and academia.

SAE is also currently developing a number of other resources – including lean assessor training and lean assessor certification - to support the standard document.

SAE J4000 (cost: \$25) is available now by contacting SAE, Phone 724-772-7144, Fax 724-776-3087, or e-mail: publications@sae.org . Orders are now being accepted for the soon-to-be-completed research report (SAE RR003) and SAE J4001.

Result of Lean Survey

The new standard, according to Trent, is the result of an on-going SAE's Best Manufacturing Practices survey program. Lean operation was chosen as the focus of the first AMI best manufacturing practices survey last year, after the vice presidents of manufacturing for six major automakers cited lean manufacturing as the most important success factor in the competitiveness of the auto industry for the next several years.

The SAE J4000 standard evolved from the template created for and used in the best manufacturing practices survey. The survey evaluated operations at companies recognized as lean models: Donnelly Corp., Freudenberg-NOK, Johnson Controls Inc., Lockheed Martin Corp., Raytheon Co. and The Timken Co. These companies, both from within and outside the automotive industry, were selected based upon input from automaker executives, industry analysts and academics, as well as independent research.

The mission of SAE/BMP's Automotive Manufacturing Initiative, started in February of 1998, is to identify, document and establish models for a wide range of best practices currently used for integrated product design and manufacturing processes that are applicable to the automotive supply chain. Future studies will be

conducted in other key areas including computer simulation, time-to-market and body technology.

Funded by the BMP Center of Excellence and SAE, the Automotive Manufacturing Initiative has gained the support and involvement of a number of government agencies, universities, auto executives and manufacturing experts.

The AMI is headquartered at the SAE Best Manufacturing Practices Satellite Center located in the SAE Detroit Branch office at 755 West Big Beaver Rd., Suite 1600, Troy, MI 48084-4900, Phone 248-273-2455.

9.2.2 Small Companies Also Using Lean Manufacturing

LOS ANGELES, CA (11/22/2000) - After years of watching customers chase cheap labor south of the border, garment contractor Esther Chaing had to retool her Harbor City operation to survive. Her strategy would contradict much of what she had learned in nearly two decades of apparel making, reports Marla Dickerson of the Los Angeles Times. She would have to cross-train sewing operators in a piecework trade where workers are used to doing a single task at lightning speed and forsake the batch production that's the backbone of the local industry. "I was skeptical, but I had no choice," says Chaing. "I was losing \$10,000 a month and about to close my doors."

Although the changes seemed counterintuitive to Chaing, her payoff has been soaring quality and productivity-- and for the first time in years, prospects for growth. Le Bouquet is one of a modest but growing number of small area manufacturers embracing Japanese-style "lean" production techniques. Long used by some large U.S. firms, the practices are trickling down to mom-and-pop companies under pressure to

slash costs and boost productivity. One of the most potent weapons in the lean arsenal is "cellular manufacturing," the antithesis of the traditional U.S. plant structure.

Going cellular means goods are produced one at a time, not in large batches. Employees work in teams performing a variety of jobs rather than specializing in a single task. The shop floor is divided into self-contained work cells, instead of separate departments for grinding, milling, assembly, and the like.

Inexpensive and low-tech, cellular manufacturing is producing powerful results for small firms such as Chaing's. By repositioning existing equipment and focusing on the pace of the team, not individuals, Le Bouquet is churning out garments 33% faster with fewer employees. And by making and inspecting garments one at a time, Chaing's workers now catch mistakes almost immediately, eliminating costly rework on large bundles of apparel.

Yet this unadorned strategy is tougher to implement than it sounds. Bosses must relinquish some control and trust workers to manage themselves much of the time. In turn, employees must shoulder more responsibility than they would in a traditional plant structure. Research has shown that some workers feel stressed by a system that strives to make their every movement productive. Others are suspicious that improvements will only benefit management or lead to layoffs.

So far, fewer than 20% of U.S. manufacturers have widely adopted cellular production, according to Industry Week magazine's 1999 census of manufacturing practices. Still, experts say that's a big increase from just a few years ago. Local proponents say lean techniques hold particular promise for Southern California's huge

base of small manufacturers, many of whom are searching for an economical strategy to battle low-wage foreign competitors.

"Moving production to Mexico is just a temporary fix," says Tony Soria, a consultant with the California Manufacturing Technology Center (CMTC). "Lean is the new reality for manufacturing in this century."

Lean production is hardly novel in U.S. industries such as automotive and aerospace, where some large companies began moving to Japanese-style manufacturing in the 1980s. "Just in time (JIT)," "quality circles" and "continuous improvement" have become standard procedure with many major manufacturers. Now they are putting pressure on their suppliers to get with the program.

Changes in the aerospace industry had TA Manufacturing Co. feeling the heat. A Valencia, CA, maker of high-performance clamps for aircraft and space vehicles, the division of Washington-based Esterline Technologies supplies giants such as Boeing, Northrop Grumman, Lockheed Martin, and Pratt & Whitney. With these manufacturers getting lean and demanding everything faster, cheaper, and better, TA was struggling to keep pace, according to Fred Gardner, vice president and general manager. His company's on-time performance rate of 70% just wasn't cutting it. "When you get that much past due, you get everyone calling you with complaints," Gardner says. "We were sorely in need of improvement."

After some false starts, TA set out last December to embrace cellular manufacturing with a vengeance. Working with CMTC, company officials began with the assembly line that makes a product called a "single-loop clamp," a C-shaped metal fastener fitted with a heat-resistant elastomer sleeve. When the ends of the C are

squeezed together and secured with a screw and a nut, it forms a ring to hold aircraft wiring in place.

Under the old system, assemblers sat at tables piled high with the metal clamps and elastomer cushioning, working furiously to make a dent in the mini-mountains of components. Buckets of spare clamps, elastomer strips, and half-filled orders littered the shop floor, making it tough to track the work in progress. "It was a sight," Gardner recalls.

Today, there are no piles of extra anything lying around the assembly area. Cellular manufacturing begins with the principle that nothing is produced until a customer asks for it, so that goods are "pulled" through the system by actual orders rather than "pushed" through by a sales forecast. Thus inventory and the money it ties up are greatly reduced.

Worktables and tools are now close together so that everything TA assembly employees need is close at hand. Components are stored in tidy bins known as a "supermarket" that get refilled through a systematic, visually cued process known as "kanban." Assemblers no longer are solo artists, but teammates who move around the assembly area assisting each other with multiple tasks and attacking bottlenecks. Individual clamps are inspected as they're produced. Completed orders are immediately whisked away for shipment or temporary storage.

Since that first project, TA has converted about 40% of its plant to lean practices. The results: On-time performance has climbed above 90%. Defect rates have plunged from 10% to 0.5%. Return rates have dropped from 2% to 0.4%. And overall productivity, as measured by value of shipments per employee, has risen 100%

in the single-loop clamp area and 15% companywide. With a price tag of about \$30,000 so far, lean production has proved a bargain for a company that will do \$30 million in sales this year.

"It paid for itself in a few months," says Gardner, who is busy planning TA's next lean project. "Once you start this process, there's no stopping. It completely changes your outlook."

Some of TA's 220 employees say they like it, too. Assembler Teresa Spezzia used to dread facing the mounds of components piled at her workstation every morning. "It was hard doing one thing all day long," she says. "This is a lot more fun."

Experts say getting employees to buy into the process is crucial in cellular manufacturing, because it depends on workers for results, not on equipment. One of workers' biggest concerns is that they'll "lean" themselves right out of a job. That's why R.W. Lyall & Co., a Corona, CA, manufacturer of piping products for the natural- and propane-gas industries, began its transition in 1997 with the promise that no employee would be laid off due to increased efficiency.

Employee turnover was 80% at the time, so that promise wasn't hard to keep, says General Manager Jon Slaughterback, a former auto exec who brought that industry's lean philosophy to R.W. Lyall. As a show of good faith, management also promised to share productivity gains with employees through higher base pay, profit sharing, and compensation for skills acquisition.

Slaughterback points to R.W. Lyall's soaring on-time delivery and plummeting inventory and scrap costs as proof that lean manufacturing can work in any business,

not just automotive. He says he's most proud of statistics related to staffing. While the work force has shrunk almost by half to 165 people - all through attrition, he says - absenteeism has plunged and turnover is now less than 3% annually.

Slaughterback says R.W. Lyall will pay record bonuses and profit sharing this year, and he couldn't be happier. "Our goal is to pay the best wages in the industry, not the lowest," he says. "We're not there yet, but if I have the best-paid people, that means we're performing well and they have earned it."

'Just In Time' or 'Just Induced Terror'

Pay is higher in many Japanese-style factories, but some experts say those plants are hardly a worker's paradise. British researcher Rick Delbridge has spent considerable time observing employees of lean manufacturing facilities in Britain. The author of "Life on the Line in Contemporary Manufacturing" has found workers under tremendous strain to meet quality and efficiency targets. Staffing levels at some plants are so tight that employees feel peer pressure to work even when they're sick. Some have grown resentful that every movement is scrutinized for productivity.

"One guy described JIT as 'Japanese Induced Terror,'" says Delbridge, researcher at the University of Wales. "Workers find these practices very stressful."

Proponents insist it doesn't have to be that way. Lean consultant Jerry McCormick, head of Brookfield, WI-based J.D. McCormick & Associates, says many U.S. manufacturers still mistakenly believe that expensive equipment must be kept running at full tilt to justify its cost. That inevitably leads to production bottlenecks, because other operations aren't running at the same pace. McCormick says lean

production brings a rhythm to the entire process that can reduce stress on workers. By slowing some operations, the whole process becomes more efficient.

Copyright © 2001 Society of Manufacturing Engineers

9.2.3 How Barry Controls is Handling the Transition to Lean

DEARBORN, MI (3/5/2001) - Barry Controls, Brighton, MA, produces controls to combat shock, vibration, and noise. Three years ago, it began its journey to lean manufacturing when Dan Yurovich joined the company as vice president of operations. Last year, when the company was purchased by Hutchinson Manufacturing, a division of TotalFinaElf Group of France, Yurovich's success with the lean transition was an important factor in his being named company president.

In an interview with Richard McCormack of Manufacturing News, Yurovich reviewed the challenges of converting this mid-sized manufacturer and its 300 employees to working lean. It has not been easy, Yurovich is quick to admit, but the difficult transition period is now beginning to bear fruit. The company has spent millions of dollars on new presses, an Oracle business software suite, and lean systems training for its employees, and it's beginning to pay off.

When he was vice president in an operational function, the lean philosophy wasn't embraced as well by the company as it has since he became president and can be a greater influence on cultural change. "We have hired a person we call our kaizen champion and coordinator," Yurovich says, "and are attacking through five-sigma and kaizens the making of things visual, reducing waste, and cleaning out the entire plant facility. It's been a real journey."

That journey is about 15 to 20% along the timeline of complete implementation of lean manufacturing from order entry through shipping. "If I get to 50 or 60% in the next two to three years," Yurovich says, "I will be ecstatic."

Putting in a new computer system nearly brought the company to a standstill. "It brought us to our knees," Yurovich recalls. "When we went live with our new computer system about 15 months ago, we went blind - almost a month-and-a-half late on shipments to customers. We were trying to work through that at the same time we were trying to change our culture. Yet, it's been exciting, for example to see two of our old salts on the shop floor who've been here for decades, they're making the changes now. These old supervisors who would just as soon bite your head off are now working through the process. Yet, initially, it was not fun; it was ugly."

It's not easy attacking a whole manufacturing culture, he warns. "You have to persevere, believe in what you're doing, and have a supportive boss. It's best when the new philosophy comes from the top office, but as long as he supports what you're doing, he doesn't have to fully understand it. If he lets you do it because you believe in it, then at least you can get the culture started."

With the operations group affecting 80% of the budget, he points out, "even though the whole organization didn't want to make the change, that didn't matter because we could at least start to make the change in the areas that affected the bottom line the most."

Yurovich's promotion to president is raising some issues, he concedes. "Some people are going to end up leaving because they might not like my leadership or

management style, but that will give me the opportunity to bring people in who do. It's always a slow, culture change through education, attrition, and bringing in new talent."

There will always be naysayers, and his advice is not to fight them, but to teach them through lean-manufacturing training programs. Eventually, they will make the decision that's right for them -to get with the program or move on. "It's very painful when you continually ask for them to change daily and they don't," Yurovich says. "It takes perseverance. If you believe in your cause and can get everyone to believe in it and get excited about it, you'll win, but it's going to take time."

There will be resistance. People can see if they get really good at this, somebody's job will go away or they will loose some precious overtime. "You will have all of those traditional self-preservation thoughts from the folks on the floor," Yurovich says. "Yet, as we got into it, the core group of folks who have been here for a long time saw that their jobs were actually made easier, that they now have complete control of their respective areas. They have been given the tools plus the responsibility to move the product through the plant and meet the only thing that matters: the customer date and the customer order. Before, these guys never got to see those tools. It was a mindless manufacturing work center with an old supervisor mentality of just work harder, work harder, work harder, yet a lot of that work wasn't producing something to ship."

A key transition is from batch manufacturing to a flow system. "Whenever you walk out on the shop floor and look at a press that's not running, people will conclude things are not working properly. So we set up a materials game plan throughout the plant, and we're bringing suppliers in to explain to them where we are going with this and what we need them to do through kanbaning and tighter deliveries. As evidence

that it is working, we have gone from a mediocre 4 to 5% operating-income base to 12.5 to 13% last year."

At one time, the company had more orders than it knew what to do with and was suffering from late deliveries. "So I spent a huge share of money - over seven figures - on expediting fees and keeping customers happy. So even though we had a heck of lot of orders - 20% higher than ever - the expediting fees offset that gain. There were lots of natural highs and lows involved here. In October of 1999, I had almost given up, but now we're really seeing some significant strides."

His background as a Marine helped when things got tough. "I was more of a dictator with a vision," Yurovich explains. "You have to believe this new system will work and then convince people and train them on ways to take out waste. It forces you to think through the process. Unfortunately, most folks you deal with don't want to take the time to sit down and think through the details. I think it comes down to being a Marine, being organized, and understanding clearly the direction you want to take your organization. You may not be 100% correct, but if you're heading true north and everybody else is headed in nearly the same direction, just off a few degrees, at least you have the organization moving in a favorable direction."

That Marine philosophy also says that it is always better to do something, than be paralyzed by indecision. "We like to work under a saying that 90% right today is better than 100% right six months from now. If people make mistakes here - and we do daily - we don't worry much about it. It's only when we are making the same mistake over and over that we can see we have a problem because it shows we're not being smart enough to learn from that mistake."

Although Yurovich has had some association with the Boston Manufacturing Association and the Kaizen Institute of America, he doesn't feel you should rely too heavily on importing consultants and their philosophies. "You have to make your own game plan," he advises. "Our team formulated a game plan that was non-intrusive as we seeded the ground with our lean manufacturing philosophy. It took a lot of conflict-resolution periods with our kaizen coordinator and supervisors. It took a lot of time to explain what we were trying to do, and sometimes I just had to say, 'Here is how we're going to do it and either get on board or take a leap.' For the most part, the folks who have tried it our way have realized over time that it's working and making their lives easier. They realize that the new guy isn't coming in to try to get rid of them. Job security has been a key factor here."

What are the key lessons you have learned from this experience? "That it has to start from the top and you must have buy-in from all of the executives in the organization," Yurovich replies. "Second, people who get measured will respond to those measurements. The third is training. Send as many folks as you have identified as key people to get formalized training and then take that training and modify it for your organization. Also, you have to understand when to wield the big stick, but the real issue is measure, measure, measure. If you measure and get good results, that's great, and when you measure and get bad results, that's okay too, because that's the only way you can learn."

9.3 Casos de Sucesso

9.3.1 Major Oil Company

Nature of the Implementation: Evaluation of well services for rationalization to current and expected business level.

Process: Evaluation of current equipment capability, establishment of strategic development of resources and equipment necessary, selection of well service providers, training of service providers to eliminate waste in providing service.

Outcome: US\$ 30,000,000 saved.

9.3.2 Major Automotive Manufacturer

Nature of the Implementation: Implementation of a company wide production system.

Process: Creation of the production system vision and work-plan, establishment and training of implementation teams, implementation at 166 plants, creation of company-wide measurables and troubleshooting of implementation problems.

Outcome: US\$690 per car manufactured potential.

9.3.3 Diversified Aerospace, Automotive and Chemical Company

Nature of the Implementation: Provide training and mentoring to Lean Expert Students.

Process: Provided training in four one-week sessions that include all the lean tools for implementation of the company-wide production system. Provided on-site mentoring to the same students as they implemented lean manufacturing in their plant. Monitor the outcomes and ensure outcomes are achieved.

Outcome: Initial reduction in manufacturing cycle time of 50%, reduction of work in process inventory of 25% and creation of numerous cells for 52% productivity improvement on average over all 240 students trained.

9.3.4 Major Automotive Manufacturer Joint Venture in South America

Nature of the Implementation: Implementation of fully-functioning production system in a Greenfield Site.

Process: Creation of the plant layout design. Purchase of the equipment for production. Established the human resource system. Implementation of the production system including quality system, production process, equipment maintenance system, and organizational support system for the line operator. Development of the selection system for all employees.

Outcome: Plant launched on time and budget.

9.3.5 Major Automotive Manufacturer

Nature of the Implementation: Provided development support for lean manufacturing in key 200 suppliers.

Process: Train supplier organization personnel in lean manufacturing awareness. Provide implementation support for defined project to achieve total cost reduction.

Outcome: Substantial cost reduction that can not be quantified due to confidentiality agreements.

É expressamente vedado qualquer tipo de reprodução desta obra, tanto para fins de estudo e pesquisa quanto para fins comerciais, sem prévia autorização específica do autor.

Paulo Cesar Corrêa Lindgren

e-mail: paulo.lindgren@uol.com.br

Taubaté, Dezembro de 2001.