



**Escola técnica Juscelino Kubsticheck de oliveira**

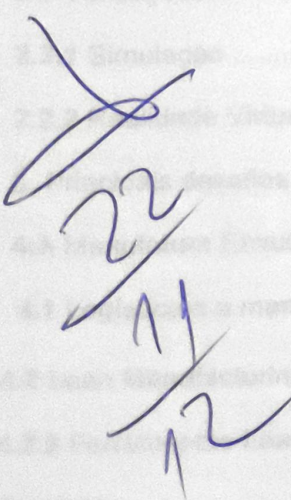
**Tendências  
De  
Manufatura**

Data de apresentação  
22/11/2012

**Autores do trabalho**

Nome: Paula danielle oliveira de faria	Nº 18	-3
Nome: Rouziane Nunes da silva	Nº21	-2
Nome: Rafael Lacerda Freitas	Nº19	-4

Professor: Alcides Pereira Leite Filho  
Matéria: Planejamento Programação e Controle da Produção  
Logística 2ºE  
Noite

  
Data de apresentação  
22/11/2012



**SUMARIO**

Introdução.....	4
1. Conceituação e paradigmas da Manufatura Virtual(fabrica virtual).....	5
1.1 Aplicação potencial da Manufatura Virtual e seus benefícios.....	8
1.2 Sistemas de suporte às principais atividades na Manufatura Virtual.....	10
2. Planejamento do Processo.....	12
2.1 Gerenciamento de recursos.....	13
2.2 Programação de controle numérico.....	14
2.3 Validações.....	15
2.2.1 Simulação.....	15
2.2.2 Realidade Virtual.....	17
3. Principais desafios na implementação da Manufatura Virtual.....	18
4. A Manufatura Enxuta e as novas Tendências de Mercado.....	23
4.1 Logística e a manufatura enxuta – pontos para reflexão.....	24
4.2 Lean Manufacturing.....	28
4.2.2 Ferramentas Lean .....	29
Conclusão.....	31
Bibliografia.....	32



## *Fabrica virtual*

### INTRODUÇÃO

O mercado esta cada dia mais competitivo em busca de inovação, as empresas estão buscando formas de ganhar a vantagem e lançar produtos novos no mercado rapidamente, ainda querendo um custo menor, estão utilizando o ambiente de manufatura virtual com isso ela aborda todo o processo de desenvolvimento do produto simulação e fabricação, possibilitando que antes da fabricação real do produto ele seja criado virtualmente independente de quanto difícil seja a forma e estrutura do produto. Algumas empresas estão usando técnicas avançadas principalmente empresa ligada nos setores automotivo e aeroespacial o seu conceito tende-se desenvolvido em escopo (especificação do limite do qual os recursos de sistema podem ser utilizados) sendo assim tendo mais importância e mais aceito internacionalmente, exemplos de empresas que vem utilizando manufatura virtual a Boeing, que desenvolveu o modelo 777 totalmente digital antes de fazê-lo fisicamente; a DaimlerChrysler, que produziu três veículos recentemente usando a Manufatura Virtual; e a John Deere, que também tem usado esse novo ambiente no desenvolvimento de seus produtos (WAVE, 2002). O que é mais interessante sobre fabrica virtual e o que o mercado virtual mais se interessa é principalmente dois fatores: as melhorias no desempenho das tecnologias hardware e software requeridas sendo que os custos estão cada vês mais acessíveis, e aos grandes avanços da tecnologia de modelagem e simulação de sistemas de alta complexidade. Falando no Brasil a manufatura virtual esta iniciando agora, ou seja, um estagio inicial de utilização ou testes algumas empresas estão reconhecendo seu potencial, mas infelizmente não estão utilizando o ambiente integrado completo proposto na maioria dos casos estão usando isoladamente a tecnologia e ferramentas para cada área especifica. Portanto meu trabalho tem o objetivo principal de apresentar os conceitos de manufatura virtual, para incentivar iniciativa de pesquisa principalmente nos desafios de sua implementação o trabalho apresenta definição da manufatura virtual do "projeto, produção e controle", falando dos relacionamentos entre eles fala das propostas que podem ser aplicadas e os benefícios esperados, os sistemas de suporte a atividades dentro do contexto da Manufatura Virtual, especialmente nas áreas de planejamento e processo, gerenciamento de recursos, programação de controle numérico (CN) e validações (simulação e realidade virtual) e apresentar uma análise dos principais desafios técnicos e sócios culturais que existe para a implementação da manufatura.



## Conceituação e paradigmas da Manufatura Virtual

De acordo com Banerjee & Zetu (2001), o termo Manufatura Virtual passou a ser utilizado em meado dos anos 90, em parte como resultado da iniciativa do Departamento de Defesa dos EUA, pois a evolução do ambiente de defesa e as estratégias de aquisição propiciaram o desenvolvimento da capacidade de confirmar a manufaturabilidade e a possibilidade de novos sistemas de armas antes de comprometer recursos de produção. Até metade dessa década, os primeiros trabalhos nesse campo foram realizados por algumas organizações, principalmente as indústrias aeroespacial e automobilística, além de ser abordado como tema em alguns grupos de pesquisa acadêmica.

A manufatura virtual pode ser usada com uma grande variedade de contextos e sistemas de manufatura, ela pode servir como modelo dos sistemas e de componentes com uso de computadores e de dispositivos audiovisuais e sensores para realizar a simulação e projetar as alternativas de manufatura que prevê problemas potenciais e ineficiência do produto antes que a manufatura real aconteça .

A Manufatura Virtual também pode ser definida, conforme **Lawrence Associates Inc. (1994)**, como "**um ambiente integrado e sintético da manufatura exercido para melhorar todos os níveis de controle e decisão**", em que:

**Ambiente:** é o suporte para a construção e uso da simulação da manufatura distribuída pela sinergia provinda de uma coleção de ferramentas de análise, de simulação, de implementação, de controle, modelos (produto, processo, recurso), equipamentos, metodologias e princípios organizacionais.

**Sintético:** mistura do real com objetos, atividades e processo simulados.

**Exercido:** executar a simulação da manufatura utilizando o ambiente.

**Melhorar:** aumentar o valor, a precisão e a validade.

**Níveis:** do conceito do produto à sua disponibilização, do chão de fábrica à comitiva executiva, do equipamento de fábrica ao empreendimento, além da transformação de material à transformação de conhecimento.

**Controle:** prever os efeitos reais.

**Decisão:** entender o impacto da mudança (visualizar, organizar, identificar alternativa).



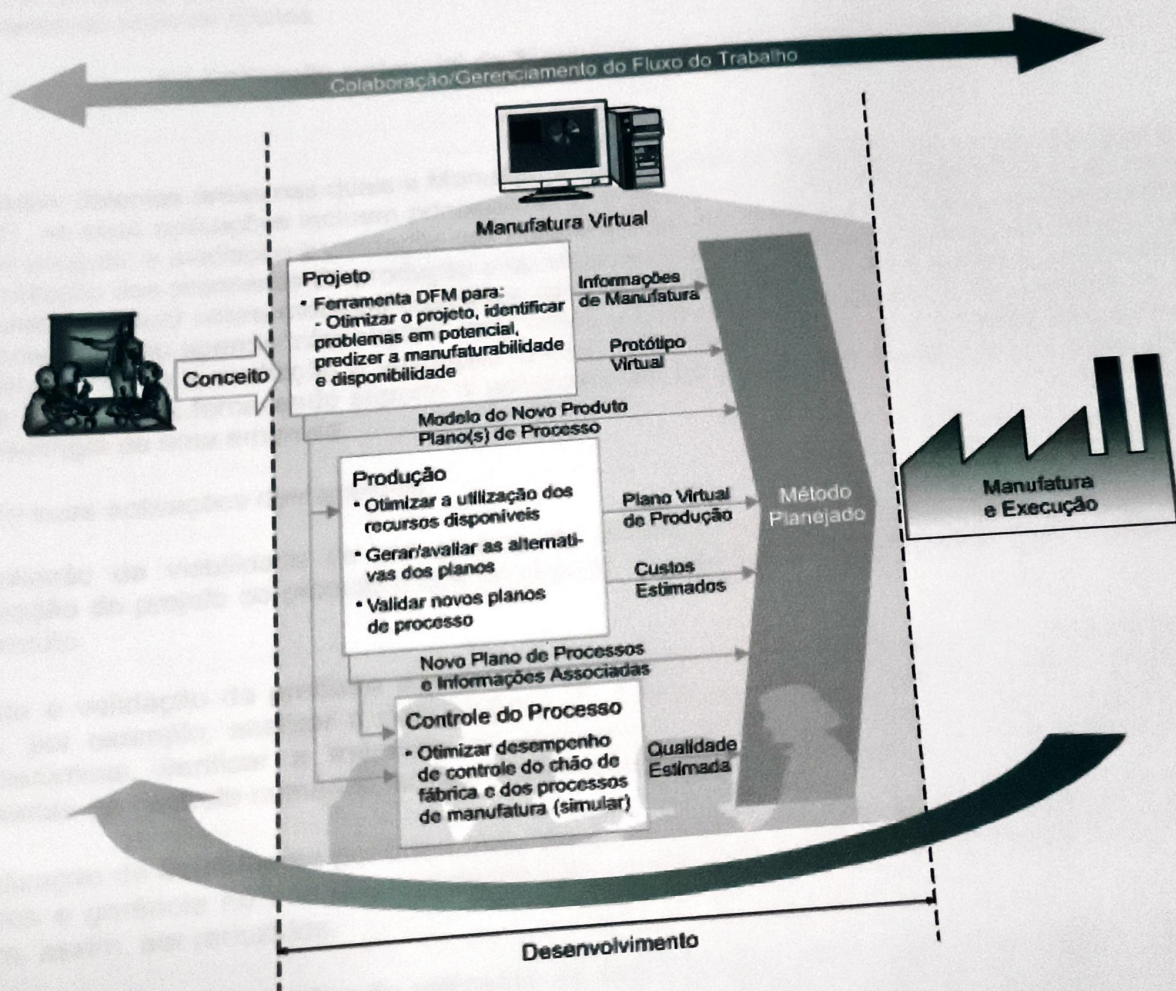
De tal forma que um projeto de manufatura virtual propõe que aja uma estratégia e que aja uma integração de processos e métodos de planejamento para fornecer capacidades para manufaturar no computador, ou seja, realizar uma simulação de fabricação e de montagem de um produto. Com isso e considerada todas as variáveis que há em um ambiente de produção, dos processos de chão de fabricas e considera as interações dos processos de produção planejamento e de montagem, programação, logísticas das linhas da empresa e os processos associados, como contabilidade compras e gerenciamento.

O propósito do projeto da manufatura virtual engloba três diferentes modelos em que são definidos como:

- **Manufatura Virtual orientada para o projeto:** informa sobre o processo de manufatura e de desenvolvimento, assim permitindo a simulação de diversas alternativas de manufatura e a criação de protótipos "soft" pela manufatura no computador .consiste em usar as simulações e se basear para melhorar o projeto do produto e dos processos em uma meta especifica da manufatura por exemplo, dfa(DESING FOR ASSEMBLY)qualidade ou flexibilidade
- **Manufatura Virtual orientada para a produção:** informa a capacidade de simulação aos modelos dos processos com o propósito de permitir avaliações mais rápidas e econômicas de diversas alternativas de processamento. Consiste na conversão do processo de desenvolvimento nos planos de produção, otimizando os processos de manufatura.
- **Manufatura Virtual orientada para o controle:** consiste na simulação dos modelos de controle e processos reais, permitindo a otimização durante o ciclo de produção existente.



A Figura 1 apresenta o ambiente da Manufatura Virtual proposto e a inter-relação entre seus paradigmas.



**Figura 1 – Ambiente da Manufatura Virtual. Fonte: Porto & Palma (2000).**

Com tudo, o paradigma orientado para o projeto fornece um ambiente para que os projetem os produtos e avaliem a sua manufaturabilidade e viabilidade. Os resultados do paradigma incluem basicamente: informações sobre a manufatura, modelo do produto e processo "soft". Visando manter a competência da manufatura sem construir produtos reais, o paradigma reflete as tendências da manufatura



**orientado para a produção** fornece ambiente para a geração de planos de processo e de produção, para o planejamento de recursos necessários e para a avaliação desses planos. Fornecendo capacidade para simular os sistemas produtivos existentes, o paradigma **orientado para o controle** oferece ambiente para a avaliação de projetos de produtos novos ou revisados em relação às atividades de chão de fábrica.

### 1.1 Aplicação potencial da Manufatura Virtual e seus benefícios

Existem diversas áreas nas quais a Manufatura Virtual pode ser aplicada. De acordo com Lee *et al.* (2001), as suas aplicações incluem principalmente a análise da manufaturabilidade de uma peça ou de um produto; a avaliação e validação das possibilidades dos planos de processos e de produção; e a otimização dos processos de produção e do desempenho do sistema de manufatura. Desde que a Manufatura Virtual utilize modelos baseados nas instalações reais da manufatura e dos processos, ela fornecerá não apenas informações reais sobre o produto e seus processos de manufatura como também permitirá a avaliação e validação destes. Além disso, ela pode ser usada para prever os riscos do negócio, fornecendo suporte à administração na tomada de decisões e no gerenciamento da estratégia de uma empresa.

Dentre suas aplicações destacam-se:

- Avaliação da viabilidade de um projeto do produto, validação de um plano de produção e otimização do projeto do produto e dos processos, resultando na redução do custo no ciclo de vida do produto.
- Teste e validação da precisão dos projetos do produto e dos processos, envolvendo atividades como, por exemplo, analisar a possibilidade do projeto do produto, realizar análise dinâmica das características, verificar a trajetória da ferramenta durante o processo de usinagem, validar programas de controle numérico, checar problemas de colisão na usinagem e na montagem, etc.
- Realização de treinamento por intermédio de um ambiente virtual e distribuído para os operadores, técnicos e gerência no uso das instalações de manufatura. Os custos de treinamento e produção podem, assim, ser reduzidos.

Diversos benefícios derivados da utilização da Manufatura Virtual podem ser citados. Segundo Lee *et al.* (2001), o principal benefício esperado é a *redução do tempo de ciclo e do custo de desenvolvimento de produto*. Quando novos sistemas ou produtos são desenvolvidos, os custos do ciclo de vida são determinados por diversas decisões tomadas nas primeiras etapas do ciclo de desenvolvimento (fase de definição do conceito). Corrigir erros encontrados nas etapas finais do processo de desenvolvimento, causados por decisões tomadas nas etapas iniciais, envolve mudanças no projeto que consomem tempo e custo. Mesmo que as mudanças necessárias sejam pequenas, o efeito de rede pode ser substancial (Committee, 1999).



Uma forma de reduzir o tempo e o custo de desenvolvimento é desenvolver ambientes de Manufatura Virtual que permitam aos projetistas determinar rápida e precisamente como os projetos propostos afetarão o desempenho dos novos sistemas e produtos e como as mudanças afetarão as perspectivas de sucesso da missão. Este ambiente permitirá o desenvolvimento e a prototipagem de mais modelos baseados em computador nas etapas iniciais do processo de desenvolvimento do produto, reduzindo a necessidade de construir um grande número de protótipos físicos nas etapas posteriores do processo de desenvolvimento para validar modelos do produto e novos projetos. Assim, a empresa reduz seu tempo de desenvolvimento de produto, como, por exemplo, a Embraer que, utilizando protótipos virtuais no desenvolvimento do ERJ 170, passa a completar seu processo de desenvolvimento em 38 meses, enquanto foram necessários 60 meses para desenvolver o modelo ERJ 145 (Embraer, 2002).

Além disso, a Manufatura Virtual complementa o processo de desenvolvimento integrado do produto e do processo, pois proporciona uma maneira de as informações da manufatura serem passadas às fases iniciais do desenvolvimento (Lin *et al.*, 1995). Em outras palavras, ela proporciona a introdução de um nível muito mais preciso e verificável de as informações da manufatura estarem disponíveis nas fases iniciais do processo de desenvolvimento, permitindo a expansão do "espaço de soluções" disponíveis na fase de projeto, pois tornará possível a verificação rápida de projetos. O objetivo é expandir o espaço de decisões, capacitando o projetista para a avaliação mais efetiva dos custos de diversos projetos via simulação de diversas alternativas de manufatura e criação de protótipos "soft" pela manufatura no computador. Segundo estimativas da montadora Ford, que já vem aplicando técnicas de Manufatura Virtual, os resultados esperados compreendem redução de 20% nas ocorrências de mudanças na manufatura durante o lançamento de novos produtos e redução nos custos de mais de U\$ 200 milhões anualmente (TMR, 1998).

A Manufatura Virtual pode proporcionar também a *inclusão do cliente e de seus requisitos no processo de desenvolvimento* e gerar, assim, melhor resposta às perguntas "e se" dos clientes sobre as mudanças nos prazos de entrega e orçamentos. Além disso, facilita a *integração funcional* dentro das empresas, promovendo o compartilhamento de informações e melhorando o relacionamento do trabalho interfuncional dentro do processo de desenvolvimento (Lawrence Associates Inc., 1994).

Outra contribuição importante é na *formação da Empresa Virtual*. Segundo Lin *et al.* (1995), a Empresa Virtual é uma rede multidisciplinar de pequenas empresas formada para alcançar oportunidades de desenvolver e produzir um produto específico. Os membros dessa empresa, para satisfazer uma necessidade de mercado, podem compartilhar suas competências, ferramentas de software, dados e informações do produto com outros membros em um ambiente de Manufatura Virtual.

Com o uso desse ambiente virtual e colaborativo, os clientes podem participar do processo de desenvolvimento de produto e os engenheiros de projeto podem responder mais rapidamente às necessidades dos clientes e lhes fornecer uma solução ótima, reduzindo, dessa forma, o tempo de ciclo e os custos de desenvolvimento. E, conseqüentemente, a vantagem competitiva de uma empresa no mercado pode ser melhorada.



Como ilustração, pode-se citar o caso da Boeing, que também utilizou a Manufatura Virtual para o desenvolvimento do modelo 737. Nesse processo, a empresa desenvolveu o protótipo virtual, incorporando as leis físicas e da ciência dos materiais, e avaliou esse modelo por meio da simulação no túnel de vento virtual. Como resultado, os engenheiros puderam testar uma quantidade muito maior de protótipos, a um custo menor e com maior velocidade. Além disso, na medida em que a empresa moveu suas atividades de desenvolvimento do mundo real para o virtual, ela passou a envolver os clientes no desenvolvimento da aeronave, compartilhando informações por intermédio da simulação via computador (Balceiro & Cavalcanti, 1999).

Porém, para que o desenvolvimento desse ambiente seja possível, algumas características e funcionalidades são requeridas dos sistemas a serem utilizados. A seguir, são apresentados os principais sistemas de suporte às atividades, dentro do contexto da Manufatura Virtual.

### **1.2 Sistemas de suporte às principais atividades na Manufatura Virtual**

O ambiente de Manufatura Virtual compreende: a utilização de sistemas para a elaboração dos planos de processos macro e detalhado, tanto de processos de fabricação como de montagem, todas as atividades de identificação de recursos de máquinas, ferramentas e dispositivos, a programação de controle numérico de máquinas de usinagem, robôs, máquinas de medição, simulação e realidade virtual.

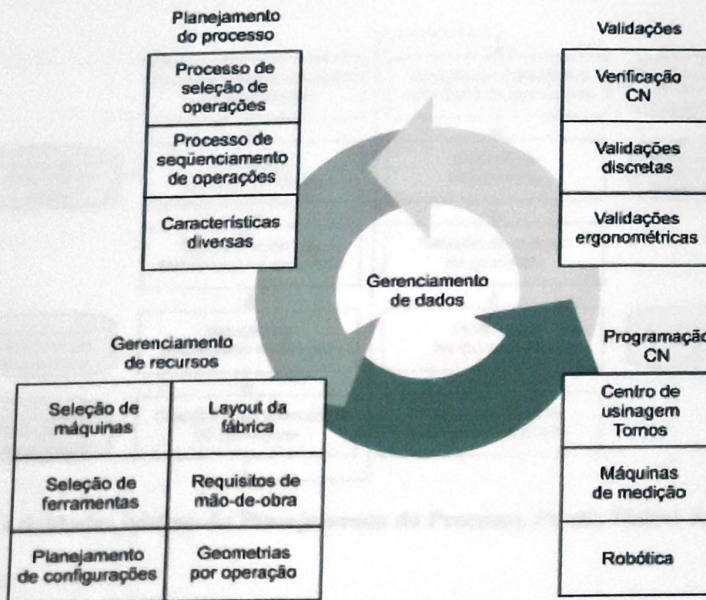
Busca-se, segundo Porto & Palma (2000), a integração de dados e sistemas e a padronização de ferramentas e programas. Não há um único produto que domine o mercado da família de softwares que compõem este novo ambiente, e como os pacotes variam consideravelmente em muitos aspectos – custo, funcionalidade, flexibilidade, facilidade de uso e plataforma –, a seleção das ferramentas deverá ser direcionada para aquelas que permitam:

- melhorar a tecnologia para obter recursos;
- associatividade gerenciável;
- reduzir a recriação de geometria, em que os projetos de produtos, máquinas, ferramentas e outras entidades são baseados em modelagem sólida;
- eliminar desenhos em papel;
- trabalho em paralelo, ou seja, simultâneo;
- integrar ferramentas de software de ERP (*Enterprise Resources Planning*);



- acesso de fornecedores usando o Portal Web;
- usar modelos em fase de desenvolvimento (trabalho em processo);
- fluxo de trabalho integrado com sistemas de gerenciamento de projeto.

Pode-se afirmar que existem soluções isoladas ou parciais para cada uma das tarefas relacionadas ao ambiente de Manufatura Virtual. A seguir, são apresentadas características funcionais básicas desejadas desses sistemas para cada um dos principais grupos de tarefas, listados na [Figura 2](#).

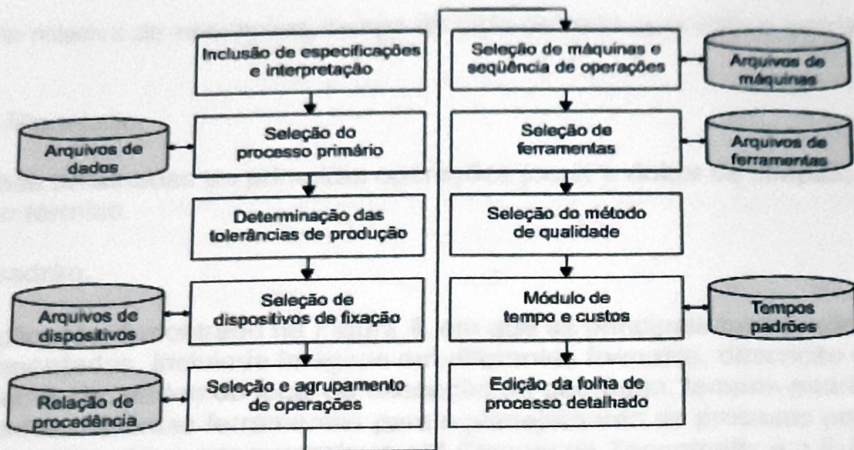


**Figura 2 – Principais atividades a serem cobertas pelos sistemas no ambiente de Manufatura Virtual.**



## 2. Planejamento do Processo

O sistema de Planejamento do Processo é a aplicação central que permite aos engenheiros de manufatura elaborarem o processo completo de manufatura e identificarem os elementos que definem os produtos. Um modelo genérico de dados do processo de manufatura é um componente essencial de tal aplicação. O modelo de dados deve dar suporte ao planejamento macro e detalhado dos processos. Um ambiente integrado de manufatura engloba dados do processo que descrevem como os produtos são fabricados usando os recursos disponíveis. Isto impõe que o modelo de dados proposto habilite a colaboração de dados do produto, dados do processo e dados dos recursos. A **Figura 3** mostra as atividades básicas envolvidas no desenvolvimento do Planejamento do Processo.



**Figura 3 – Atividades básicas do Planejamento do Processo. Fonte: Halevi & Weill (1995).**

... sistema para o desenvolvimento do Plano de Processo, integrado a outras aplicações específicas, deve permitir ao usuário elaborar as instruções detalhadas de trabalho para um processo de operação específico, como, por exemplo, tratamento térmico, solda por robô e usinagem.

... principais funcionalidades que os softwares devem proporcionar são:

Definir necessidades geométricas – habilidade de definir requisitos baseados no projeto do produto (arquivo CAD) – e necessidades não geométricas – habilidade de definir o consumo do material que é detalhado no projeto do produto.



- Criar listagem de material de manufatura (MBOM) e informações associadas, como listagem das estações de consumo e datas de efetivação.
- Planejar o ponto de uso (como componentes comprados devem ser entregues ou armazenados).
- Definir roteiro primário (seqüência primária de operações a serem realizadas).
- Definir máquinas e estações para fabricação/montagem e suas configurações (*setups*).
- Definir listagem de material processado (componentes consumidos em uma operação).
- Determinar submontagens para melhorar o processo de manufatura.
- Definir seqüência relativa de operações, tempo de ciclo de cada operação e instruções textuais e gráficas.
- Emitir o Método Planejado.
- Elaborar instruções detalhadas de primeiras operações (corte e dobra de chapas), soldagem, pintura, tratamento térmico.
- Aplicar tempos-padrão.

Um exemplo de aplicação é mostrado na [Figura 4](#), em que as principais funcionalidades anteriormente apresentadas, incluindo imagens em diferentes formatos, descrição detalhada da operação a ser executada, dados do local de execução da operação, tempos-padrão e de *setup*, podem ser observadas. Diversas ferramentas para o planejamento do processo podem ser encontradas no mercado, como, por exemplo, o *eM-Planner* da Tecnomatix e o *E-Factory Process Planner* da UGS/EDS.

## 2.1 Gerenciamento de recursos

Neste contexto, recursos incluem máquinas de controle numérico, máquinas de manuseio manual, espaço no chão de fábrica, células de fabricação e montagem, equipamentos especiais, dispositivos de suporte e requisitos de mão-de-obra (especialização do trabalho e carga de trabalho).

As principais funcionalidades requeridas desses sistemas são:

- Avaliar recursos de chão de fábrica para determinar se são suficientes para atender às necessidades do Método Planejado.
- Elaborar o *layout* da fábrica.



- Gerenciar ferramentas e calibradores.
- Selecionar ferramentas e calibradores similares e existentes: verificar a existência de ferramentas e calibradores; pesquisar a disponibilidade nos almoxarifados; usar referências do modelo geométrico e requisitos da manufatura.
- Projetar ferramentas e calibradores.
- Solicitar serviços de projetos de ferramentas e calibradores.
- Escrever ordens de serviços para a execução de atividades no chão de fábrica não especificadas no Método Planejado.
- Definir localizações de ferramentas e calibradores no chão de fábrica.
- Realizar a comunicação com o sistema de controle de chão de fábrica (MES – *Manufacturing Execution System*).

Um exemplo de software nessa área é o *E-Factory Resource Manager* da UGS/EDS, que provê um mecanismo integrado para classificar e armazenar informações de recursos de manufatura, incluindo ferramental, dispositivos, calibradores, máquinas e equipamentos.

## 2.2 Programação de controle numérico

De maneira geral, os programas de controle numérico devem ser criados e simulados em ambiente virtual 3D, usando modelos visuais para eliminar colisões da ferramenta ou ponta de prova assim como problemas de programação que podem estar presentes, antes de executá-los fisicamente no equipamento. As funcionalidades de programação de controle numérico relatadas neste item englobam aplicativos nas seguintes áreas:

- Programação de centros de usinagem.
- Programação de robôs (solda, pintura, montagem, corte).
- Programação de máquinas de medição por coordenadas (MMC).

Como operações de manufatura demandam maior eficiência, os softwares CAM empregados para usinar ou medir devem apresentar ferramentas mais precisas para o corte ou medição de geometrias complexas. As novas tendências em software CAM são:

Associatividade completa entre a geometria do modelo e os caminhos das ferramentas (programação CN) e ponta de prova.

Tendências da manufatura



- Usinagem ou medição baseada no conhecimento (captura técnicas de usinagem de um operador experiente ou de um programador de controle numérico).
- Conhecimento de *feature*, que permite ao sistema automaticamente reconhecer "*features*" da peça e configurar padrões de operação.
- Usinagem de alta velocidade, com realização de cortes pequenos e leves em vez de grandes e pesados.
- Capacidade de usinagem e medição de modelos sólidos.

Essas novas tendências requerem o uso de modelos sólidos ou superfícies de precisão. O uso dessas novas tendências em CAM, em conjunto com a simulação de processos, pode reduzir drasticamente o tempo de programação e a correção de erros.

### 2.3 Validações

Validações de processos e sistemas de manufatura, de programação CN, de ergonomia e de eventos discretos podem ser realizadas com a aplicação de softwares de simulação e realidade virtual.

#### 2.2.1 Simulação

As empresas do setor automobilístico têm usado cada vez mais a simulação como uma proeminente ferramenta de suporte à decisão. A maioria faz uso da simulação de eventos discretos para modelar sistemas de manufatura e em questões relativas ao *layout* de fábrica, fluxo de processo, sistemas de manuseio de material, planejamento de capacidade, utilização de mão-de-obra, investimento em novos equipamentos, programação da produção e logística.

De acordo com Jain (1999), a simulação se tornará a forma de fazer negócios no futuro, na qual todas as decisões serão avaliadas usando essa tecnologia em todos os aspectos das operações. O uso da simulação não tem se limitado às aplicações tradicionais na manufatura e logística, e cada vez mais engloba processos de negócios, aplicações interativas de simulação no treinamento e vendas. No futuro, modelos de simulação se desenvolverão como o conceito de um sistema se desenvolve, crescerão como cresce o projeto em detalhes, suportarão atividades de validação da integração do sistema como o sistema real é construído e instalado e suportarão a tomada de decisões durante o estágio de operação do sistema real. À medida que o sistema real é modificado, modelos de simulação correspondentes são atualizados.

Os sistemas de simulação para suporte às atividades de Manufatura Virtual podem ser distribuídos em quatro grandes grupos:

Tendências da manufatura



- Simulação de sistemas de manufatura.
- Simulação de processos de manufatura.
- Simulação de sistemas mecânicos.
- Simulação de elementos finitos.

Os softwares de simulação de sistemas de manufatura incluem:

- *Processos de fabricação e de montagem*, os quais fornecem um método sistemático para o projeto de fábrica (criação, análise e apresentação visual do modelo), habilitando a engenharia simultânea de toda a fábrica. Pode-se citar, como exemplos, o *VisFactory* da UGS/EDS e o *DELMIA Process Enginer*.
- *Análise de fluxo de material e layout de fábrica*, integrando desenhos de fábrica e caminhos do fluxo de material com dados de produção e manuseio de material, possibilitando prever o desempenho do sistema e entender o impacto de possíveis mudanças. Exemplos de softwares nessa área são o *eM-Plant* da Tecnomatix, o *FactoryFlow* e o *FactoryCAD* da UGS/EDS e o *Factor/AIM* da Pristker.
- *Eventos discretos*, que permitem modelar questões complexas de manuseio de material e manufatura, provendo animações em escala real 3D enquanto o modelo está sendo executado. Como exemplo de softwares pode-se citar o *AutoMod* da Autosimulations, o *Quest* da Delmia, o *Witness* da Lanner Group Ltda. e o *Arena* da Rockwell.

A simulação de processos de manufatura e de sistemas mecânicos engloba:

- *Programação de controle numérico*, que simula interativamente o processo de remoção de material e o caminho da ferramenta e detecta automaticamente colisões de ferramentas, interferências entre peças e condições de corte inadequadas. Alguns softwares disponíveis nessa área são o *Vericut* da CGTech, o *Virtual NC* da Delmia e o *NC Simul* da Spring.
- *Programação de robôs*, para o desenvolvimento, programação e otimização de aplicações em pintura, MMC, solda e células de manufatura, como, por exemplo, o *UltraArc* e o *UltraPaint* da Delmia, o *CimStation Robotics* e o *CimStation Inspection* da Silma.

A simulação de elementos mecânicos utiliza principalmente o método de elementos finitos para verificar se as alterações nas condições de usinagem não resultarão em esforços que comprometerão a qualidade de forma e de acabamento da peça.



Uma limitação dos softwares de simulação da Manufatura Virtual é que, para a grande maioria dos casos, diferentes tipos de ferramentas de simulação – simulação de eventos discretos, simulação de fluxo de material, simulação de células de trabalho – operam independentemente umas das outras.

### 2.2.2 Realidade Virtual

A Realidade Virtual, por sua vez, também é uma tecnologia-chave no desenvolvimento do produto e no processo. A Realidade Virtual pode ser definida como "a habilidade em criar e interagir no espaço cibernético, isto é, um espaço que representa um ambiente muito similar ao ambiente em torno de nós" (Banerjee & Zetu, 2001).

De fato, a realidade virtual e a simulação podem ser utilizadas em diferentes áreas, incluindo a Manufatura Virtual, mas há diferenças entre elas. Ambas, simulação e realidade virtual, são ferramentas que podem ser usadas para análise e teste de materiais, treinamento de pessoas e projeto e implementação de novas idéias e conceitos (NASA, 2001).

Uma distinção importante entre elas está na forma de operação da tecnologia. A realidade virtual freqüentemente requer mais interação física da parte do usuário, enquanto a simulação é tipicamente mais passiva. A Realidade Virtual é um processo tátil, incorporando luvas, controle *joysticks*, telas em capacetes, óculos estéreo 3D e paredes e telas para projeção de vídeo. A simulação envolve software de visualização com gráficos de alta resolução, usando modelos CAD 3D que operam em estações gráficas de alto desempenho. Ambas podem ser usadas em conjunto por projetistas e engenheiros para criar praticamente qualquer tipo de mundo artificial. Nesses ambientes digitais, diversas situações do mundo real, variáveis e reações podem ser duplicadas.

A principal vantagem dessa tecnologia é o desenvolvimento e análise do projeto colaborativo, habilitando grupos de engenheiros a visualizar e manipular, em tempo real, um objeto virtual tão facilmente como seria com um objeto físico.

Para dar suporte à criação de ambientes virtuais, diversas ferramentas de software estão disponíveis no mercado, como *dVise*, *Superscape* e *World Toolkit*.

Realidade Virtual tem sido usada por empresas como a General Motors e a Caterpillar para a construção de protótipos digitais de veículos, em vez de protótipos físicos, reduzindo significativamente o tempo de desenvolvimento de produto. A BMW usa a Realidade Virtual para explorar a visualização de novos *layouts* de veículos com o objetivo de melhorar a comunicação e a simulação dos processos. A Rolls Royce Aeroengines and Associates usa essa tecnologia para verificar antecipadamente os procedimentos de manutenção, treinar os engenheiros de manutenção



em novos procedimentos e visualizar ambientes complexos (Peng *et al.*, 2000). A Embraer utiliza o Centro de Realidade Virtual no desenvolvimento de uma aeronave, o qual permite aos engenheiros visualizar, em três dimensões, por meio de modelos eletrônicos, toda a estrutura da aeronave em fase de projeto. A empresa usa o *WorkWall* da Fakespace Systems, que é uma solução de visualização ideal para apresentações em grupo e projeto colaborativo. Quando usado com um software de modelagem 3D como o *CATIA* da Dassault Systems, e visualizado usando o *DMU Navigator* da Dassault Systems e *Division Reality* da PTC, o *WorkWall* torna mais fácil para as equipes multidisciplinares avaliarem *mock-ups* digitais e protótipos virtuais nas etapas iniciais do ciclo de projeto. Para os clientes, fornece fácil entendimento do *layout* do modelo e das opções de configuração, facilitando decisões de compra (Fakespace, 2002). Com o Centro de Realidade Virtual e o *CATIA*, pode-se detectar, corrigir e eliminar falhas eventuais e montagens incorretas antes que qualquer peça ou conjunto seja encaminhado para a produção. A prototipagem virtual e a visualização reduzem significativamente o tempo de lançamento de uma nova aeronave no mercado e o retrabalho durante o projeto, juntamente com a expansão das linhas de produto e da capacidade de produção.

### 3. Principais desafios na implementação da Manufatura Virtual

Embora o desenvolvimento da Manufatura Virtual possa ser considerado uma evolução de diversas tecnologias e do ambiente de negócios, existem diversos desafios técnicos e socioculturais que dificultam sua implementação, como:

- integração das ferramentas, sistemas e dados;
- gerenciamento das informações;
- gerenciamento da configuração;
- velocidade operacional do sistema;
- *know-how* em manufatura, modelagem e representação;
- capacidade de aprendizado e aquisição de conhecimentos;
- questões culturais, de gerenciamento, econômicas e de treinamento.

Um dos principais desafios técnicos para alcançar um ambiente ideal de Manufatura Virtual refere-se à necessidade de alcançar um elevado nível de *integração das ferramentas, sistemas e dados* presentes nesse ambiente, conforme apresentado na Seção 4.



Um processo de desenvolvimento de produto efetivo deve balancear diferentes fatores, como requisitos dos clientes, desempenho, custo, segurança, integração do sistema, manufaturabilidade, confiabilidade e manutenibilidade. Softwares relevantes para a Manufatura Virtual têm sido desenvolvidos como uma coleção de ferramentas individuais com pouca ou nenhuma ligação entre elas. A integração entre ferramentas de software é uma área de ativa pesquisa acadêmica, industrial e governamental, porém, soluções aplicáveis não estão totalmente disponíveis para uso operacional (Committee, 1999).

Os problemas de integração são causados por diversos fatores. Um deles diz respeito à incompatibilidade das ferramentas de software. A menos que a interoperabilidade tenha sido um objetivo específico do processo de desenvolvimento de software usado para criá-lo, para a maioria das empresas desenvolvedoras a interoperabilidade tem obtido pouca prioridade. Vendedores de softwares comerciais tendem a operar em segredo para proteger as informações, especialmente quando um novo produto está sendo desenvolvido. A incompatibilidade também ocorre, pois, na maioria das empresas, engenheiros e gerentes buscam no mercado a melhor solução para cada aplicação específica, ou, então, quando essas soluções não estão disponíveis comercialmente, são desenvolvidas *in house* pelo próprio usuário. Como resultado, as organizações não podem ter suas ferramentas trabalhando de forma integrada. O objetivo de melhorar o desempenho e a eficiência de produtos e processos individuais encoraja a proliferação de novas ferramentas e, conseqüentemente, resulta na falta de interoperabilidade entre elas.

Essa falta de interoperabilidade inibe o uso de ferramentas tradicionais em ambientes de Manufatura Virtual, os quais, por natureza, requerem alto grau de integração. Melhorar a interoperabilidade das ferramentas de software é uma atividade complexa, principalmente devido à geração de um custo, às incertezas sobre o retorno no investimento e às dinâmicas psicológica e social das organizações. Porém, a melhoria é essencial, pois a falta de interoperabilidade resulta em elevados custos para a empresa. Um estudo realizado recentemente por uma das principais montadoras do setor automotivo revelou que a falta de interoperabilidade tem custado para as empresas desse setor entre U\$ 200 milhões e U\$ 400 milhões por veículo desenvolvido. A falta de eficiência na troca de dados do produto com empresas da cadeia de fornecimento tem gerado custos de U\$ 1 bilhão por ano para a indústria (NIST, 1999).

O mesmo problema de integração se aplica aos sistemas hardware. Sistemas fornecidos por diferentes vendedores às vezes são incompatíveis, e softwares escritos para sistemas hardware de um vendedor podem ser incompatíveis com sistemas de outros vendedores.

Padrões têm sido usados em muitos campos para prevenir ou corrigir problemas de interoperabilidade associados com, por exemplo, interfaces de ferramentas, arquivos e terminologia e definições de dados. Alguns padrões são formalmente aprovados por aplicações industriais. Porém, para assegurar eficiência operacional de um ambiente de Manufatura Virtual, é necessário estabelecer um padrão de dados único ou, ainda, um software para a conversão de dados, facilitando, dessa forma, a troca de dados entre sistemas desse ambiente. De acordo com Lee *et al.*



(2001), embora muitos padrões sejam desenvolvidos pela organização ISO, as empresas continuam usando padrões de dados e software diferentes, gerando problemas para utilização da Manufatura Virtual pela Internet.

Uma forma de criar um ambiente altamente integrado é pelo uso de arquiteturas abertas que permitam a inserção de novos elementos, usando interfaces projetadas de acordo com padrões predefinidos. Essa alternativa reduz o custo de implementação e treinamento, pois possibilita que sejam realizadas mudanças nas capacidades dos sistemas com mínimo impacto e por meio de interfaces com usuário.

Além disso, mesmo que novas ferramentas e sistemas sejam altamente interoperáveis, a Manufatura Virtual somente se tornará realidade quando for efetivamente integrada com ferramentas e sistemas legados, principalmente no caso de utilizar essa proposta em um ambiente de desenvolvimento de produto já existente.

Outro fator que dificulta a integração de ferramentas, sistemas e dados é que, além de integrar seus processos internos, as empresas devem considerar toda a cadeia de fornecimento, bem como o envolvimento de fornecedores no processo de desenvolvimento do produto e processo. Assim, interfaces externas estão se tornando tão críticas quanto interfaces internas, e sistemas de engenharia e projeto devem ser integrados além dos limites organizacionais. Por exemplo, a DaimlerChrysler recomenda que os fornecedores de primeiro nível usem o mesmo software CAD/CAM (Committee, 1999).

Outro desafio é o *gerenciamento das informações*. Primeiramente, porque, com a Manufatura Virtual, novos projetos e processos são construídos, analisados e testados em um ambiente simulado. Conseqüentemente, há a geração de grande quantidade de informações, pois a coleta de dados de teste não é limitada a um produto ou processo físico. Segundo, porque a integração não só deve ocorrer entre diferentes e independentes bancos de dados para informação e conhecimento dentro da empresa como também entre bancos de dados de fornecedores, clientes e outras empresas. É necessário estabelecer uma base de dados completa para dar suporte à operação da Manufatura Virtual.

As tecnologias para gerenciamento de banco de dados têm alcançado sucesso substancial e as bases de conhecimento para tecnologias de manufatura estão se expandindo bastante. Porém, uma pequena porção desses recursos está sendo convertida para bases de dados de computador. A conversão bem-sucedida do *know-how* em manufatura para base de dados computacional demanda investimento e grande esforço humano. Além disso, trabalho adicional ainda é requerido para atualizar as tecnologias de base de dados a fim de atender a demandas futuras.

Outro desafio associado ao desenvolvimento e uso de ambientes virtuais e distribuídos é o *gerenciamento da configuração*, ou seja, a tarefa de assegurar que todas as ordens de engenharia e mudanças de projeto sejam refletidas nas simulações e modelos usados para criar e avaliar novos



(2001), embora muitos padrões sejam desenvolvidos pela organização ISO, as empresas continuam usando padrões de dados e software diferentes, gerando problemas para utilização da Manufatura Virtual pela Internet.

Uma forma de criar um ambiente altamente integrado é pelo uso de arquiteturas abertas que permitam a inserção de novos elementos, usando interfaces projetadas de acordo com padrões predefinidos. Essa alternativa reduz o custo de implementação e treinamento, pois possibilita que sejam realizadas mudanças nas capacidades dos sistemas com mínimo impacto e por meio de interfaces com usuário.

Além disso, mesmo que novas ferramentas e sistemas sejam altamente interoperáveis, a Manufatura Virtual somente se tornará realidade quando for efetivamente integrada com ferramentas e sistemas legados, principalmente no caso de utilizar essa proposta em um ambiente de desenvolvimento de produto já existente.

Outro fator que dificulta a integração de ferramentas, sistemas e dados é que, além de integrar seus processos internos, as empresas devem considerar toda a cadeia de fornecimento, bem como o envolvimento de fornecedores no processo de desenvolvimento do produto e processo. Assim, interfaces externas estão se tornando tão críticas quanto interfaces internas, e sistemas de engenharia e projeto devem ser integrados além dos limites organizacionais. Por exemplo, a DaimlerChrysler recomenda que os fornecedores de primeiro nível usem o mesmo software CAD/CAM (Committee, 1999).

Outro desafio é o *gerenciamento das informações*. Primeiramente, porque, com a Manufatura Virtual, novos projetos e processos são construídos, analisados e testados em um ambiente simulado. Conseqüentemente, há a geração de grande quantidade de informações, pois a coleta de dados de teste não é limitada a um produto ou processo físico. Segundo, porque a integração não só deve ocorrer entre diferentes e independentes bancos de dados para informação e conhecimento dentro da empresa como também entre bancos de dados de fornecedores, clientes e outras empresas. É necessário estabelecer uma base de dados completa para dar suporte à operação da Manufatura Virtual.

As tecnologias para gerenciamento de banco de dados têm alcançado sucesso substancial e as bases de conhecimento para tecnologias de manufatura estão se expandindo bastante. Porém, uma pequena porção desses recursos está sendo convertida para bases de dados de computador. A conversão bem-sucedida do *know-how* em manufatura para base de dados computacional demanda investimento e grande esforço humano. Além disso, trabalho adicional ainda é requerido para atualizar as tecnologias de base de dados a fim de atender a demandas futuras.

Outro desafio associado ao desenvolvimento e uso de ambientes virtuais e distribuídos é o *gerenciamento da configuração*, ou seja, a tarefa de assegurar que todas as ordens de engenharia e mudanças de projeto sejam refletidas nas simulações e modelos usados para criar e avaliar novos



projetos. O gerenciamento da configuração tem sido tradicionalmente usado para produtos, mas está se expandindo para incluir processos e recursos.

Segundo Lee *et al.* (2001), a *velocidade operacional do sistema* também pode constituir uma barreira à implantação da Manufatura Virtual. A utilização desse ambiente envolve grande quantidade de trabalho em computação matemática, processamento gráfico de imagens, troca de dados e comunicações remotas. Isso inclui a construção de modelos sólidos 3D, animação 3D, realidade virtual, planejamento de recursos de manufatura, processamento das características do produto, aquisição de *know-how* em manufatura, etc. Apesar do rápido avanço do poder computacional e das tecnologias de informação, ainda assim não são suficientes para satisfazer as necessidades de um ambiente de Manufatura Virtual.

Outro desafio refere-se ao *know-how em manufatura, modelagem e representação*. O rápido desenvolvimento da comunicação digital via rede e das ciências da computação forneceu ferramentas indispensáveis à aplicação da Manufatura Virtual. De qualquer forma, ela é desenvolvida com base em *know-how* humano e no entendimento dos processos de manufatura. Seu desenvolvimento depende muito do conhecimento presente e da capacidade de aplicar ferramentas matemáticas modernas para descrever e apresentar o conhecimento de maneira sistemática. Embora algumas pesquisas se concentrem em estudar teorias dos processos de manufatura, um grande número de problemas ainda não foi resolvido e continua dependendo do julgamento pela experiência.

Como já mencionado, um sistema de Manufatura Virtual absorve grande quantidade de informações. Isso demanda maior *capacidade de aprendizado e aquisição de conhecimentos* das instalações reais da manufatura, facilitando monitorar o desempenho operacional das instalações, bem como prever e tomar decisões mais precisas. Há muitos estudos na aplicação de ferramentas de Inteligência Artificial, como redes neurais e algoritmos genéricos no controle do processo. Recomenda-se que aplicações de Inteligência Artificial sejam consideradas pela Manufatura Virtual.

Além dos desafios técnicos, algumas dificuldades socioculturais para a implementação do ambiente da Manufatura Virtual podem ser destacadas. Diversas *questões culturais, de gerenciamento, econômicas e de treinamento*, que surgem quando tecnologias e métodos inovadores são usados, devem ser superadas. O desenvolvimento de um sistema de Manufatura Virtual demanda alto investimento de capital e esforço administrativo. Implementar novas tecnologias requer investimento em treinamento de pessoal, tradução dos dados existentes, aquisição de novas ferramentas de software, sistemas e pessoal de suporte. Depois de implantado, é difícil comprovar que um sistema de Manufatura Virtual é responsável pela redução dos custos ou pela melhoria da qualidade. Um investimento em uma nova infra-estrutura com retorno incerto não é visto como favorável pelos gestores que decidem se aceitam ou não o risco. Tais decisões devem ser guiadas por métricas que avaliem o desempenho futuro da Manufatura Virtual em aplicações específicas, e, uma vez implementada, deve-se medir o sucesso dessa ferramenta no alcance das metas. Mas essas métricas não estão disponíveis e precisam ser definidas.



Além disso, segundo Lee *et al.* (2001), a Manufatura Virtual, apesar de oferecer solução atrativa para a empresa melhorar sua eficiência e produtividade, ela não pode ser vista como uma solução para melhorar o estado atual da empresa de forma imediata; é uma solução que traz benefícios futuros.

O suporte da alta administração torna-se muito importante para que ambientes desse tipo sejam implementados. Recursos adicionais são necessários no início do desenvolvimento de produto para tratar das sofisticadas análises e simulações presentes nesse novo ambiente. Suporte ativo de organizações de pesquisa, de empresas e do governo também se torna importante, pois para a implantação da Manufatura Virtual diversas empresas, setores de negócio e eras tecnológicas estão envolvidos. Além disso, dentro do mesmo setor de negócios, ainda há diferenças e, dessa forma, desenvolver um regulamento e um padrão unificado também é um problema social que precisa ser desenvolvido.



## A Manufatura Enxuta e as novas Tendências de Mercado

Segundo James Womack em seu livro *A Máquina que Mudou o Mundo*: "O mundo tem imensa carência de capacidade de produção enxuta e um excesso de capacidade não-competitiva de produção em massa".

Enquanto disserta sobre as diferentes características dos sistemas de produção, Womack defende que os fabricantes de bens de consumo devem adotar os conceitos da Manufatura Enxuta, pois estes conceitos atendem melhor as novas demandas de mercado.

Mas quais são as características da manufatura enxuta que a fazem um sistema de produção a ser adotado pelas empresas e quais são estas novas demandas de mercado a serem atendidas?

A melhor forma de entendermos a Manufatura Enxuta, suas características e vantagens é contrastá-la com os sistemas de produção artesanal e em massa.

**Os Sistemas de Produção Artesanal, em massa e Enxuta**

A produção artesanal necessita de trabalhadores que conheçam todo o processo para fazer um determinado produto e utiliza ferramentas simples e flexíveis para produzir exatamente o que o consumidor deseja. Porém apresenta como problemas a produção em baixa escala, que restringe o produto para apenas uma parcela do mercado e os altos custos de produção, que torna o produto caro demais para a maioria de nós.

Já a produção em massa utiliza trabalhadores especializados em um único processo do produto, máquinas dispendiosas e pouco flexíveis e métodos de trabalho considerados monótonos. O sistema em massa produz altíssima quantidade de produtos padronizados. Como resultado o consumidor obtém baixos preços à custa de uma menor variedade de produtos à disposição.

A produção enxuta, evita os altos custos da produção artesanal e a rigidez da produção em massa, combinando as vantagens desses dois sistemas produtivos. Para tanto emprega trabalhadores multifuncionais em todos os níveis da organização e máquinas altamente flexíveis que produzem apenas o que cliente quer, na quantidade correta.

**A nova característica da demanda de mercado e as vantagens da Manufatura Enxuta.**

As empresas atuam em um cenário onde cada vez mais os clientes estão exigindo produtos personalizados e que atendam suas necessidades específicas com preços baixos. Podemos perceber isto através da grande variedade de produtos que encontramos no mercado, tais como produtos de beleza, alimentos, têxteis, eletrônicos, entre outros.

Neste cenário, a Manufatura Enxuta desponta como sistema de produção que melhor se adapta às características do novo consumidor, e as empresas que seguirem os princípios enxutos em busca de maior flexibilidade e redução do nível de desperdícios em seus processos, terão mais facilidade em atender as necessidades de qualquer tipo de cliente, e construirão uma grande vantagem competitiva em relação aos seus concorrentes.



## Logística e a manufatura enxuta – pontos para reflexão

Assim como em muitos movimentos populares de gerenciamento, existe muita desinformação e confusão a respeito da aplicação dos princípios enxutos (“lean”), à medida que a mensagem da manufatura enxuta vai se difundindo, ela se torna diluída e alterada, causando o fracasso das implementações. O resultado da implementação eficaz dos princípios enxutos é o aumento da produtividade. Existem dez aspectos importantes para que os sistemas enxutos atinjam este resultado.

### 1. A manufatura enxuta é uma filosofia na logística

Devido a enorme quantidade de informações disponíveis sobre as ferramentas e as técnicas enxutas, muitas pessoas não percebem que a manufatura enxuta é uma filosofia – a filosofia de eliminação de perdas na manufatura. Taiichi Ohno tornou esta mensagem filosófica clara em seu livro Sistema Toyota de Produção, em que afirma que a etapa preliminar para a aplicação desse sistema é a identificação completa das perdas. Em seguida, ele descreve os sete tipos de perdas em um sistema de manufatura: excesso de produção, espera, transporte, processamento, estoque disponível (inventário), movimentação e fabricação de produtos com defeito. Além do problema de eliminação das perdas, Ohno destaca a idéia da melhoria contínua, acreditando que o estudo da engenharia industrial se aproxima sistematicamente das melhorias.

### 2. A redução da variação dos processos é mais importante do que a redução do tempo de ciclo na logística

Uma vez, Edward Deming considerado o “guru do gerenciamento da qualidade”, disse: “Se eu tivesse que resumir minha mensagem à gerência em apenas algumas palavras, eu diria que tudo tem a ver com a redução da variação”. Os processos estáveis e o trabalho padronizado são necessários antes que as ferramentas enxutas funcionem bem. Na verdade, um simples exemplo do uso da teoria das filas mostra que a redução da variação dos processos é mais importante do que o tempo de ciclo na melhoria do fluxo. Entretanto, embora a redução da variação dos processos seja mencionada normalmente, ela não é discutida com frequência em muitos detalhes na literatura “enxuta” por dois motivos: em primeiro lugar, os processos variam de empresa para empresa e para melhorar um processo é preciso ter conhecimento da física e química dos processos. Em segundo lugar, para processos com mão-de-obra intensiva, é necessário um treinador em engenharia de métodos de trabalho.

### 3. As instruções de trabalho devem ser baseadas nos métodos de trabalho padronizados

Há mais de cem anos, Frederick Taylor, chamado de o “Pai da Administração Científica”, explorou a importância da elaboração técnica dos métodos de trabalho e da criação de métodos de trabalho padronizados. Taylor percebeu que os métodos de trabalho usados até por artesãos experientes



tinham perdas. Frank e Lillian Gilbreth, engenheiros industriais, refinaram o trabalho de Taylor e hoje temos meios bem avançados para a elaboração técnica dos locais de trabalho e dos métodos de trabalho usados neles. A maioria dos profissionais que trabalham com os princípios enxutos recomenda a colocação destacada de instruções de trabalho na estação de trabalho. Entretanto, se as instruções de trabalho não forem baseadas em métodos de trabalho elaborados tecnicamente, estas instruções servirão meramente para estimular os métodos inadequados de trabalho.

#### 4. Reduza os tempos de preparação

Embora todos nós saibamos que a redução dos tempos de preparação seja importante para os sistemas de manufatura flexíveis, a Toyota – em grande parte através dos esforços de Shigeo Shingo, criador do método de troca rápida de ferramentas, “SMED” (“single minute exchange of die”, troca de ferramentas em minuto de um dígito) – levou a redução dos tempos de preparação a um novo patamar. Em seu livro, Shingo explica os métodos que, quando aplicados com ponderação, podem gerar reduções drásticas nos tempos de preparação. Se os tempos de preparação estiverem afetando os resultados da produção, a sua redução será um bom ponto de partida para a jornada enxuta. A análise e redução dos tempos de preparação também oferecem um bom treinamento para quem analisa os métodos do local de trabalho.

#### 5. A análise do fluxo de valor não é tão valiosa quanto se pensa

Ao discutir a redução dos tempos de ciclo necessária na implementação dos princípios enxutos, a literatura enxuta ocidental oferece um método chamado análise do fluxo de valor ou mapeamento do fluxo de valor (VSM, “value stream mapping”). Este mapeamento é mais uma metodologia de fluxograma que permite a você ver como a fábrica está realmente operando. Você mapeia o “fluxo de valor” e revisa cada atividade. Se uma atividade não agregar valor, ela se tornará candidata à eliminação.

O atrativo da análise do fluxo de valor vem de sua relativa simplicidade é muito mais fácil elaborar fluxogramas do que planejar um novo arranjo físico ou novos métodos de trabalho elaborados tecnicamente. A advertência de Ohno de evitar as perdas não é a mesma de eliminar as perdas; é um imperativo do projeto. Portanto, é preciso projetar um sistema que tenha bom desempenho e não gastar seu tempo analisando o projeto deficiente do sistema atual. O VSM pode ser útil para demonstrar a inadequação do arranjo físico para a alta administração, mas fora isso, é de uso marginal e perde o tempo que deveria ser gasto em atividades mais úteis tais como a melhoria do fluxo dos produtos, redução das preparações, eliminação da variação dos processos e elaboração de métodos de trabalho padronizados.

#### 6. Pense em puxar na logística

Os sistemas de puxar são altamente respeitados porque, quando implementados corretamente, oferecem bom controle do estoque em processo. O controle do estoque em processo tem várias



vantagens, incluindo a redução dos materiais que estão na fábrica, aumento da flexibilidade para as mudanças de variedades de produtos e melhor controle de qualidade dos produtos.

A seguir, veja algumas perguntas às pessoas que estejam estudando a possibilidade de um sistema de puxar:

- Com que frequência ocorrem as mudanças de projeto, de engenharia e de programação?
- Quais são as consequências econômicas de se manter o sistema atual em comparação à conversão para um sistema de puxar?
- O sistema de puxar consegue reduzir o "lead-time" total?
- Os fornecedores são confiáveis o suficiente para dar suporte às entregas de matérias-primas ou de sub-conjuntos em just-in-time?
- O sistema de produção é confiável ou sofre frequentes paradas que interrompem a produção?
- A mão-de-obra e a gerência estão comprometidas em fazer as mudanças necessárias?
- Com que frequência e relevância a variedade de produto sofre mudanças?

#### 7. Integre o 5S na logística

O "5S" é apregoado como um bom início da implementação dos princípios enxutos. Ele é um método que vem das cinco palavras japonesas que, são traduzidas em arrumação, organização, limpeza, padronização e disciplina.

O que pode ser ruim no que diz respeito à organização do local de trabalho? As fábricas enxutas têm boas práticas de limpeza e conservação.

As técnicas de 5S devem ser usadas junto com a melhoria dos arranjos físicos do local de trabalho e da criação das células de manufatura. Os gerentes e supervisores têm que estar vigilantes para garantir que os hábitos corretos da organização do local de trabalho sejam criados e mantidos. Esta é a disciplina necessária para criar novos hábitos. Ao longo do tempo, os colaboradores aprendem o hábito e é das mudanças de hábito que os princípios enxutos precisam. Henry Ford teve uma noção similar chamada CANDO para limpeza (clean), organização (arrange), asseio (neatness), disciplina (discipline) e ordem (orderliness).

#### 8. Enxugue de cima para baixo

Embora as ferramentas e as técnicas enxutas sejam importantes e poderosas, a filosofia enxuta é mais importante. Para criar uma empresa enxuta, o diretor executivo deve adotar a filosofia enxuta a um nível profundo. A manufatura enxuta exige disciplina para que funcione. A criação e sustentação de uma empresa enxuta é uma corrida sem linha de chegada. Sem uma alta administração comprometida, você perderá a corrida.

#### 9. Os infortúnios dos lucros não são um efeito colateral

A implementação das técnicas enxutas nunca deve ser uma desculpa para não se atingir os



objetivos de lucros. A transição nunca deve impedir a satisfação de seus clientes, pois nada anulará a sua iniciativa enxuta mais rapidamente. E se o diretor executivo começar a culpar as iniciativas enxutas pelas quedas nos lucros, os projetos enxutos estarão condenados.

O investimento inicial em sua jornada enxuta pode e deve ser pequeno. Existem muitas idéias enxutas que podem ser implementadas sem grandes investimentos. Pelo fato da iniciativa enxuta ser uma mudança de estratégia significativa, um pequeno projeto enxuto de início em uma área da fábrica e em seguida expandir para outras áreas é uma estratégia sensata e provavelmente a única forma de a iniciativa enxuta ser aceita. As pessoas fazem as iniciativas enxutas acontecer e você deverá tomar cuidado ao usar as boas técnicas de gerenciamento das mudanças para obter a aceitação necessária para a uma mudança de cultura da empresa. Ao longo dos últimos dez anos, mais ou menos, as empresas foram bombardeadas com idéias tais como: TQM ("Total Quality Management", gerenciamento da qualidade total), reengenharia e agora Seis Sigma. Para que os princípios enxutos funcionem, é preciso não permitir que eles se transformem em mais uma moda passageira.

#### 10. O engenheiro industrial é a pessoa certa para o "lean"

Os graduados em engenharia industrial acharão a manufatura enxuta uma extensão natural das ferramentas clássicas da engenharia industrial tais como: o projeto e arranjo físico da fábrica, projeto do local de trabalho, análise de métodos e estudo de tempos. Entretanto, os desenvolvedores do Sistema Toyota de Produção refinaram e ampliaram estas ferramentas clássicas de engenharia industrial. Até os engenheiros industriais treinados podem aprender muito com a leitura da literatura "enxuta" e com a participação de cursos sobre princípios "enxutos". Entretanto, lembre-se que o Sistema Toyota de Produção foi concebido para a indústria automotiva. Portanto, a aplicação das ferramentas e técnicas enxutas em sua empresa exigirão criatividade e disciplina.





### Lean Manufacturing

**Lean Manufacturing** agrupa uma filosofia e conjunto de ferramentas com origem no Sistema de Produção Toyota, que tem como finalidade conseguir um modelo produtivo ágil, flexível, eficiente e capaz de produzir ao ritmo da demanda, sem gerar custos adicionais e ineficiências.

Os pilares da filosofia Lean são igualmente válidos para todos os setores de atividade: Fabricação seriada, fabricação de series curtas de alto valor agregado, processos transacionais, etc.

#### Alguns dos pilares Lean são:

- » Identificar o que é de valor para o cliente.
- » Analisar a cadeia de valor para cada produto / serviço, eliminando os processos e atividades que não adicionam valor (ineficiências).
- » Estabelecer fluxo contínuo, e Pull sempre que possível
- » Trabalhar com continuidade na melhoria dos processos.

Habitualmente se associa **Lean Manufacturing** com um modelo logístico e produtivo altamente ágil e flexível de certa complexidade. No entanto, é recomendável estabelecer previamente uma cultura de padronização, confiabilidade e melhoria contínua antes de gerar mudanças drásticas em outros ambientes.

Conduzindo estes princípios através de distintas ferramentas, em função do tipo de processo que se trate em cada caso, uma organização Lean está preparada para dar resposta às necessidades de inovação, flexibilidade, eficiência e serviço que demanda o mercado.

**CaptoR®** reúne um conjunto de ferramentas que possibilitam à sua organização um impressionante incremento da produtividade, oferecendo-lhe um modelo avançado de informação e gestão para a "Fábrica em Tempo Real".

**"Somente pode ser melhorado aquilo que se mede"**



### Ferramentas Lean

Conceito	Descrição	Ferramentas
<b>Processos robustos e confiáveis</b>	Antes de gerar mudanças na área de logística e fluxos produtivos, é necessário certificar-se da estabilidade, confiabilidade e otimização dos processos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 5Ss e SMED para a redução dos tempos de troca</li> <li>- Gestão de OEE através de TPM-fácil</li> <li>- Redução de variabilidade dos processos-6Sigma</li> </ul>
<b>Fluxo contínuo, sistemas pull</b>	Fluxo contínuo e redução de lotes são conceitos básicos de Lean Manufacturing, que devem ser aplicados sempre que possível.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análise da cadeia de valores: VSM</li> <li>- Células de fabricação, one-piece-flow</li> <li>- Sistemas pull puros e híbridos push-pull</li> <li>- Nivelção (level scheduling)</li> </ul>
<b>Desdobramento estratégico e melhoria contínua</b>	Alinhar as ações de melhoria contínua com os objetivos estratégicos da empresa, garantindo estabilidade do sistema e efeito sobre KPI's	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análise global da cadeia de valores: VSM</li> <li>- Desdobramento estratégico de objetivos</li> <li>- Atuação coordenada de projetos de melhoria (6Sigma) e eventos de melhoria (Kaizen Blitz)</li> </ul>



<p>Aula lean manufacturing</p>	<p>Formação in-company, alternando aulas conceituais, lúdicas e aplicadas, adaptada às necessidades e modelo produtivo de cada empresa.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Fase conceitual:</b> Princípios lean, TPM, trabalho padronizado e 5Ss, fluxo contínuo, sistemas pull, melhoria contínua, supply chain.</li> <li>- <b>Fase lúdica:</b> Formação didática sobre 5Ss, fluxo contínuo, kanban, gestão da cadeia de fornecimento.</li> <li>- <b>Fase de aplicação:</b> Seleção das ferramentas aplicáveis e formação através de eventos Kaizen Blitz (kanban, SMED, 5Ss,...).</li> </ul>
<p>Lean design / Desenho Lean</p>	<p>Análise e otimização do processo de desenho e industrialização de produto, para reduzir os prazos e custos de lançamento.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gestão visual de projetos</li> <li>- Criação de equipes de projeto flexíveis e integradas</li> <li>- Criação de linhas principais e auxiliares</li> <li>- Integração de conceitos lean: valor, serviço, cliente.</li> <li>- Agilidade em gestão de ciclo PPDI</li> </ul>
<p>Incentivos por objetivos</p>	<p>Sistema dinâmico de incentivos, baseado na definição de padrões de trabalho, objetivos cumpridos e melhoria dos padrões (baseado em ciclo DMAIC- Define Measure Analyse Improve Control)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definição de padrões</li> <li>- Seleção de indicadores principais e moduladores</li> <li>- Desdobramento e objetivos por áreas</li> <li>- Desenho de eventos Kaizen para atuar sobre os indicadores</li> <li>- Análise de melhoria e atualização de padrões</li> </ul>



### Conclusão

Concluimos que as empresas e os consumidores estão em busca de inovação. O setor industrial tem apresentado modificações profundas em sua estrutura produtiva nos últimos 25 anos. Este processo iniciou-se na década de 70 e foi intensificado a partir do final da década de 70. As estratégias adotadas pelas empresas americanas, japonesas e européias para manter e ampliar sua participação no mercado centraram-se nas inovações técnicas, organizacionais e mercadológicas, que por sua vez foram beneficiadas pelos avanços verificados, durante o mesmo período, nas áreas de microeletrônica, informática e comunicações. Em relação aos produtos, as principais estratégias adotadas foram a redução do tempo de lançamento de novos modelos, a ampliação das opções de produtos customizados e um esforço concentrado na melhoria da qualidade. Esse quadro exigiu profundas modificações no modo de produzir, de forma a atender as demandas por produtos diversificados com menor escala produtiva. Nesse sentido, várias mudanças foram feitas tanto em nível da tecnologia de fabricação quanto nas formas de gestão da produção e do trabalho, mudanças estas que vieram a se constituir num novo padrão de produção industrial. A nível interno das empresas, foram adotadas as tecnologias de automação flexível, vários métodos gerenciais inovadores para compressão do ciclo produtivo e processos intensivos de requalificação profissional e de capacitação técnica da mão-de-obra. Dentre estes métodos, destacam-se a Gestão da Qualidade Total, a introdução das normas ISO9000, as mini-Fábricas ou Rearranjo em células, o KANBAN, a Engenharia Simultânea, etc. Além disso, as empresas fazem uso de recursos tecnológicos de Automação industrial tais como o CLP (Controlador Lógico Programável), os computadores (mainframe, mini e microcomputadores) e robôs. O levantamento de informações necessárias á avaliação de um processo de uma solução de software para manufatura ocorre de forma diferente de empresa. Não existe uma regra padrão para cada empresa busca em uma solução, aquilo que realmente vai agregar valor para seu processo em particular, contudo não há dúvidas quanto aos grandes benefícios que essas ferramentas de apoio podem gerar ao ambiente da manufatura.





### Bibliografia

- Alcorta, L. (1998) "The Diffusion of Advanced Automation in Developing Countries: Factors and Adoption Process", *Technovation*, pp. 163-175.
- Carvalho, R. Q. (1992) "Projeto de Primeiro Mundo com Conhecimento e Trabalho do Terceiro?" Textos para discussão, núm.12, Instituto de Geociências, UNICAMP, Campinas.
- PAEP (Pesquisa da Atividade Econômica Paulista) (1999) "Registros Metodológicos".
- Proença, A.; Neves, M. (1999) "Evolução dos Perfis de Automação no Brasil" *Revista Máquinas e Metais*, pp.83-91
- Segre, L. M. et al. (1995) "Volver a pensar la educación (Vol. I), Política, Educación y Sociedad, Congreso Internacional de Didáctica SENAI, DN. (1998) "Modernização, Emprego e Qualificação Profissional".
- Silveira, P. R. da; Winderson E. dos Santos (1968) "Automação e Controle Discretos"; Érica, São Paulo, 1998.



