



Exacta

ISSN: 1678-5428

exacta@uninove.br

Universidade Nove de Julho  
Brasil

Henriques de Carvalho, Marcius Fabius

A flexibilidade nos sistemas produtivos atuais e sua perspectiva

Exacta, vol. 4, núm. Esp, novembro-special, 2006, pp. 45-57

Universidade Nove de Julho

São Paulo, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81009905>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

# A flexibilidade nos sistemas produtivos atuais e sua perspectiva

Marcus Fabius Henriques de Carvalho  
Cenpra/PUC-Campinas/Unicamp/Unip. Campinas – SP [Brasil]  
marcius.carvalho@cenpra.gov.br

Um dos objetivos deste artigo é provocar uma reflexão sobre o posicionamento passado e presente das empresas de manufatura em relação ao conceito de flexibilidade para, em seguida, discutir sobre seu emprego futuro.

**Palavras-chave:** Cadeias de suprimentos. Flexibilidade. Integração de sistemas. Sistemas de manufatura. Sistemas produtivos.



## 1 Introdução

De acordo com as características e os padrões de demanda existentes até a década de 1970, a indústria buscava a eficiência dos processos, priorizando a obtenção da vantagem competitiva tanto na auto-suficiência quanto nos custos de produção. Esse modelo, ainda fortemente influenciado pelos princípios de Taylor (2004), caracterizava-se pela verticalização dos processos produtivos, produzindo-se o máximo na empresa com o objetivo de depender menos de fornecedores externos (SLACK, 1987). O desejo de controlar atividades críticas motivou a verticalização (KOGUT, 1985; KUMPE; BOLWIJN, 1988).

Esse posicionamento, associado a padrões de demanda menores que a capacidade produtiva, levava à seguinte conclusão: administrar o gargalo adequadamente é suficiente para a melhoria da produtividade (GOLDRATT; COX, 1988). Essa afirmação, que pressupunha os processos que antecederiam esse gargalo, tinham capacidade para supri-lo, e os posteriores, incluindo o consumidor, teriam condições de absorver toda a produção, desde que o elemento restritor da produção fosse administrado de forma adequada. A variável demanda não aparecia de maneira explícita, o que ocorria também com as incertezas tanto do fornecimento quanto dos processos internos (máquinas, planos, estratégias de posicionamento de estoque).

Esse cenário, porém, mudou com o primeiro choque do petróleo em 1973, quando algumas transformações ocorreram. O fato de o preço do petróleo ter quadruplicado nos sete anos seguintes fez com que a produtividade não conseguisse acompanhar o ritmo de crescimento desses preços, o que provocou a contração desse mercado e, ao mesmo tempo, o aumento da inflação. Esse conjunto de fatores levou a capacidade produtiva a tornar-se maior que a demanda, inserindo

uma nova variável no problema – a incerteza da existência dessa demanda, ou seja, o desconhecimento do comportamento real do consumidor ao longo do tempo. Diante dessa realidade, as empresas passaram a estimular a demanda pela melhor administração de suprimentos. A economia de escala foi substituída pela rapidez e pela confiabilidade de entrega, e a flexibilidade de volume do produto tornou-se uma das formas de estímulo à demanda. A diversificação de modelos, o aumento do conteúdo tecnológico dos produtos e até a criação de necessidades pela apresentação de novos produtos ao cliente provocaram a redução do ciclo de vida desses produtos. Nesse novo contexto de incerteza, as empresas que buscavam maior produtividade optaram por maior independência da mão-de-obra e pelo uso da automação dos sistemas de produção.

Crescia dia a dia a necessidade de flexibilizar a produção e diversificar o produto. O sistema flexível de manufatura (em inglês *flexible manufacturing system* [FMS]) – sistema de produção controlado pelo computador – oferecia substancial vantagem quando comparado com sistemas tradicionais como o *job shop*. Segundo Buzacott e Shanthikumar (1989), o FMS é um conjunto de máquinas interligadas por um sistema de movimentação de material com todos esses recursos sob o controle de um computador central. Apresentou-se como um desenvolvimento novo e promissor no campo de manufatura automática, tendo sido adotado por vários países e tipos de indústria. Seu desempenho com relação à flexibilidade era dependente de diversos fatores, tais como tipo de máquina, número de veículos de transporte, número de *pallets* instalados, formas de agrupamento de máquinas, confiabilidade de todos os elementos envolvidos e configuração da demanda (WANG, 1986).

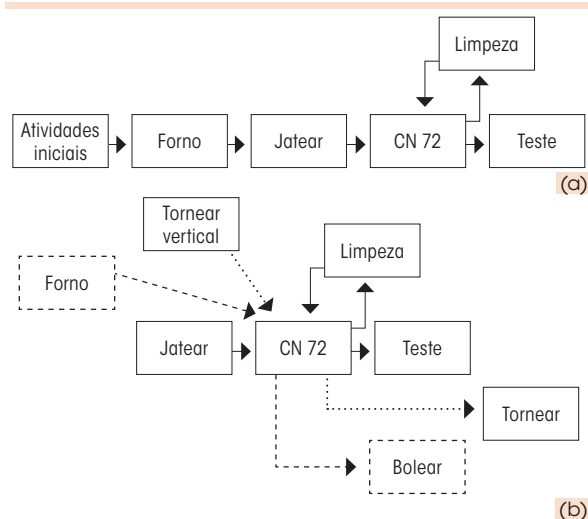
A introdução da flexibilidade visava à consecução de várias operações que deveriam ser reali-

zadas mecanicamente em uma peça. Acreditava-se que a mudança automática de ferramenta pudesse diminuir o tempo de preparação de máquina e, ao mesmo tempo, aumentar a produtividade e agilizar o fluxo de produção. Como as ferramentas da máquina seriam controladas por computador, uma simples mudança no *software* seria suficiente para mudar rapidamente o produto final, além de possibilitar o atendimento a eventos imprevistos, como variações de configuração da demanda (*mix* da demanda) ou quebra de máquinas. A flexibilidade, em conjunto com as outras características, era vista como meio de aumentar a utilização da máquina e, simultaneamente, reduzir o trabalho em processo e o ciclo de produção. Logo o conceito de máquina flexível foi ampliado para sistema flexível de manufatura multiestágio que, teoricamente, consistia em uma rede de estações de trabalho automatizadas, associadas a sistemas de transporte e armazenagem, tudo controlado por um único computador (GROOVER JUNIOR, 1980). Se, por um lado, a introdução do FMS trouxe algumas vantagens, por outro, não deixou de causar problemas.

## 2 Análise de FMS

As vantagens e os problemas existentes em um FMS serão discutidos a partir de um estudo feito para uma linha de produção de peças para locomotivas, como apresentado na Ilustração 1a (CARVALHO et al., 1990). Os pedidos de produção de cada uma das peças (pistão, camisa e cabeçote) variavam a cada mês e podiam ser processados simultaneamente ou separados. Algumas máquinas eram utilizadas mais de uma vez no processamento de uma única peça e chegavam a processar mais de uma. De acordo com a Ilustração 1b, a máquina CN72 era utilizada no torneamento do cabeçote, da camisa e dos

diâmetros interno e externo do pistão, devendo, portanto, ser ajustada para cada uma das quatro operações, com tempos significativos de preparação de máquina. Quando alocada para uma operação em uma peça, outras poderiam estar à espera dessa máquina.



**Ilustração 1: Linha de produção de peças para locomotivas**

Obs.: linha para processamento de pistão (a); linha para processamento dos três componentes (b).

Fonte: O autor.

Esses fatores influenciavam significativamente tanto na qualidade das peças quanto no tempo de permanência no sistema (em inglês *work in progress* [WIP]). Para analisar a produção de uma peça, foi desenvolvido um modelo de simulação para a linha de produção de pistão, considerando-se as seguintes atividades:

- Preparação das peças (abrir furos, desbastar e limpeza);
- Alívio de tensão no forno (em lotes de 20 unidades);
- Jateamento interno;
- Acabamento do diâmetro interno na CN72;
- Limpeza interna;
- Torneamento do diâmetro externo na CN72;



- Teste, atividades finais e embalagem.  
As etapas analisadas foram:
- Tempo de permanência das peças no sistema;
- Distribuição do tempo de saída entre as peças;
- Tempo mínimo e máximo para processamento de uma peça;
- Percentual de ocupação das máquinas.

O lote para o forno é de 20 peças, e o lote na CN72 pode ser variado para atender a um dos objetivos da produção. Como o produto passa duas vezes pela CN72, é necessário preparar a máquina para a primeira operação (com duração de uma hora e 30 minutos), processar o lote estipulado, limpar as peças e configurar a máquina para a segunda operação (torneamento do diâmetro externo com tempo de quatro horas). Depois de processado o lote na segunda operação, volta-se à primeira.

O desempenho do sistema foi analisado por meio de simulação do processamento de 100 peças em diferentes tamanhos de lotes. O resumo está na Tabela 1. As colunas apresentam os resultados para os diferentes tamanhos de lotes, e as linhas, os indicadores de desempenho avaliados. A linha “Tempo final” indica o tempo total para o processamento das 100 peças. A linha “Tempo médio” mostra o tempo médio entre a entrada e a saída das peças, pois todas estão disponíveis no início da simulação. A linha “Utilização” indica a utilização média das máquinas; a linha  $T_{\text{mínimo}}$  aponta o tempo de saída da primeira peça; a linha  $T_{\text{máximo}}$ , o tempo de saída da última peça; a linha  $T_{\text{médio}}$ , o tempo médio de saída entre peças. Enquanto o tempo de utilização de máquinas é de interesse exclusivo da empresa, os outros indicadores interessam tanto a empresa quanto o cliente.

Pela análise dos resultados identificam-se objetivos conflitantes. A melhor decisão para mini-

mizar o tempo de processamento do pedido seria o de processá-lo em lotes de 50 peças. Contudo, se o objetivo fosse minimizar o tempo médio da peça no sistema, o lote de 20 peças seria o mais indicado. Cabe ao decisor avaliar os objetivos conflitantes e tomar a melhor decisão, considerando o desejo do cliente. Contudo, essa decisão é dinâmica no tempo e deve ser tomada para cada *mix* de produção e data de entrega.

A última coluna da Tabela 1 mostra o resultado para a inclusão de mais uma máquina CN72. A adição elimina o tempo de preparação entre operações, e os resultados permitem avaliar as vantagens da nova configuração e fazer uma análise econômica dessa alternativa.

**Tabela 1: Resultados para o processamento de 100 unidades de pistão**

	Uma máquina CN 72				Duas máquinas CN72
	Lote 10	Lote 20	Lote 50	Lote 100	
Tempo final	279	256	252	267	157
Tempo médio	150	144	158	193	83
Utilização (%)	98	96	91	84	44/94
$T_{\text{mínimo}}$	20	21	64	118	9
$T_{\text{máximo}}$	279	256	252	267	157
$T_{\text{médio}}$	2,6	2,2	1,9	1,5	1,5

Fonte: O autor.

A dificuldade de encontrar uma solução que atinja os objetivos de desempenho em sistemas, como o mencionado, aumenta exponencialmente com o número de produtos e a extensão da linha. Assim, na operação diária, com o sistema submetido ao processamento dos três componentes, será impossível atingir uma solução razoável com um estoque adequado em processo. A solução de duplicação da máquina muitas vezes é inviável pelo alto custo. O desempenho desses sistemas deveria ser contraposto a linhas especializadas. Esses sistemas, embora fossem eficientes com relação a diferentes tarefas em

um produto ou em produtos diferentes, eram rígidos para a introdução de novos produtos. Novos projetos de produto deveriam ser desenvolvidos de acordo com as “limitações” de flexibilidade do FMS. Concluiu-se que, com o custo elevado, a dificuldade de sincronizar a produção e a inflexibilidade a novos produtos impossibilitaram maior utilização de FMS (SURI; WHITNEY, 1984). Além disso, como observado por Schiegel e Smith (2005), a implementação de uma tecnologia sem mudanças no processo e na organização pode causar pouco impacto, além de trazer conseqüências negativas.

### 3 Medidas de flexibilidade

Flexibilidade, segundo o dicionário *Oxford*, significa habilidade para mistura ou para adaptação. No dicionário *Larousse*, é a docilidade para ceder à vontade alheia, enquanto, no meio da pesquisa operacional, é geralmente considerada como a capacidade de um sistema responder às incertezas do ambiente (GERWIN, 1993), que podem ser internas ou externas à empresa. Como variáveis internas, quebras de máquinas, planos e estoques inadequados; como variáveis externas, incertezas no comportamento do consumidor e dos competidores, necessidade de maior rapidez, falha dos fornecedores etc.

Uma vez que qualquer ambiente real é cercado de incertezas, a flexibilidade torna-se vital. Slack, Chambers e Johnston (2002) identificam dois tipos de flexibilidade: a de tempo de resposta e a de faixa. A flexibilidade de tempo de resposta é a habilidade de o sistema adaptar-se, em tempo, à nova situação e, em decorrência disso, quanto menor for esse tempo, mais flexível será o sistema. A flexibilidade de faixa (ou amplitude) está associada ao grau de variabilidade (de produto, de volume). Ambas procuram medir a

capacidade de o sistema adaptar-se a um novo cenário. Ainda, segundo Slack, Chambers e Johnston (2002), existem quatro tipos de flexibilidade de sistema:

De volume: capacidade de o sistema mudar o nível de saída dos produtos;

De entrega: habilidade de o sistema mudar as datas planejadas ou assumidas para entrega;

De mix: habilidade de o sistema alterar o mix de produção em um intervalo de tempo estipulado;

De novos produtos: habilidade de introduzir novos produtos ou de modificar os existentes.

A seguir, serão objeto de discussão as flexibilidades de volume e a de tempo, tendo como referência o trabalho desenvolvido por Beamon (1999).

#### 3.1 Flexibilidade de volume (Fv)

Medida de Fv é a determinação da faixa de volume em que a organização pode trabalhar com retorno positivo, ou seja, a variação de demanda que pode ser atendida com esse retorno. Para definir-se o índice de Fv, supõe-se que a demanda (D) seja uma variável aleatória aproximada por uma distribuição normal, tendo valores mínimo ( $D_{\min}$ ) e máximo ( $D_{\max}$ ), com retorno positivo. Para essa demanda, a média (d) e o desvio-padrão (S) podem ser calculados como:

$$d = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i$$

e

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (d_i - d)^2$$

Em que  $d_i$  é a demanda durante o período i e N é o número de períodos considerados. Uma



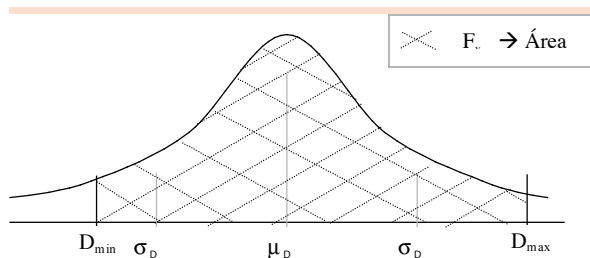
medida de flexibilidade de demanda pode ser definida como:

$$F_v = \text{Prob} \left( \left( \frac{D_{\min}}{S} \right) \leq d \leq \left( \frac{D_{\max}}{S} \right) \right)$$

ou seja, a probabilidade de que a demanda  $d$  ocorra entre os valores mínimo e máximo, calculada como a área sob a curva de probabilidade entre os valores  $D_{\min}$  e  $D_{\max}$ .

$$F_v = \phi \left( \frac{D_{\max}}{S} - d \right) - \phi \left( \frac{D_{\min}}{S} - d \right)$$

Dessa forma,  $F_v \in (0, 1)$  representa a proporção de demanda de longo prazo que pode ser suprida com retorno positivo. Nessa relação, a demanda é padronizada e representada por uma curva normal com média  $\mu_D$  e desvio-padrão  $\sigma_D$  (Ilustração 2).



**Ilustração 2: Função distribuição "tamanho dos pedidos"**

Fonte: O autor.

Exemplo: Suponha os dados apresentados na Tabela 2 para 32 semanas de demanda de uma empresa:

A demanda média para este exemplo é expressa como:

$$d = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T d_i = 24,69$$

Com desvio-padrão dado por:

**Tabela 2 Distribuição dos pedidos**

Período (t)	Demanda (unidade)	Período (t)	Demanda (unidade)	Período (t)	Demanda (unidade)	Período (t)	Demanda (unidade)
1	16	9	12	17	38	25	24
2	21	10	43	18	19	26	17
3	32	11	8	19	29	27	36
4	5	12	29	20	12	28	11
5	18	13	33	21	34	29	28
6	26	14	39	22	49	30	23
7	40	15	7	23	16	31	32
8	31	16	15	24	30	32	17

Fonte: O autor.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^T (d_i - d)^2}{T - 1}} = 11,35$$

Se a empresa tem retorno rentável para volumes entre 5 e 50 unidades por período de tempo, a flexibilidade de volume é representada por:

$$F_v = \phi \left( \frac{50 - 24,69}{11,35} \right) - \phi \left( \frac{5 - 24,69}{11,35} \right)$$

$$F_v = \phi (2,23) - \phi (-1,73) = 0,945$$

O resultado para  $F_v$  indica que 94,5% dos pedidos dos clientes serão atendidos na faixa de retorno rentável para a empresa. É importante observar que os valores mínimos e máximos são estabelecidos por contrato de flexibilidade de quantidade entre fornecedor e cliente, enquanto a empresa procura garantir ao cliente um serviço adequado, mesmo com oscilação de demanda, embora o obrigue à compra mínima (TSAY; LOVEJOY, 1999). Ao fornecedor é dada a opção de aceitar ou não pedidos acima do máximo ou abaixo do mínimo especificado em contrato.

### 3.2 Flexibilidade de tempo de entrega

A habilidade de o sistema acomodar o tempo de entrega de pedidos urgentes ou especiais é importante para a competitividade da empresa. Essa flexibilidade será expressa como porcentagem do tempo de folga que poderá reduzir o tempo de entrega. Mais especificamente, define  $t^*$  como o tempo atual,  $L_j$  como a data de entrega para a tarefa  $j$  e  $E_j$  como o tempo reduzido para a entrega da tarefa  $j$ . Se existirem  $j = 1, \dots, J$  tarefas no sistema, o tempo total de folga para todas as tarefas será dado por:

$$T_f = \sum_{i=1}^J (L_j - t^*)$$

E o tempo mínimo de entrega para todas as tarefas é dado por:

$$T_{\min} = \sum_{i=1}^J (E_j - t^*)$$

A flexibilidade instantânea ( $F_d$ ) de entrega pode ser medida como uma proporção do excesso de folga de todas as tarefas.

$$F_d = \frac{\sum_{i=1}^J (L_j - t^*) - \sum_{i=1}^J (E_j - t^*)}{\sum_{i=1}^J (L_j - t^*)}$$

Podendo ser simplificada para:

$$F_d = \frac{\sum_{i=1}^J (L_j - t^*)}{\sum_{i=1}^J (L_j - t^*)}$$

### 3.3 Comentários sobre medidas de flexibilidade

As medidas apresentadas podem ser estendidas para o mix de produção e para a flexibilidade de novos produtos (BEAMON, 1999). Contudo, a questão é “o quanto flexível deve ser um sistema?” A resposta a essa questão depende do posicionamento estratégico. Na Tabela 3 são apresentados alguns dados do setor automotivo americano (ALKIRE et al., 2002). Conforme consta nessa Tabela, a General Motors (GM) é a montadora com maior flexibilidade de modelos, enquanto a Nissan é o oposto. Para atingir esse resultado, a GM optou por um número significativo de Plantas (31) e, com isso, conseguiu um volume de produção e de participação elevado no mercado. Para estar mais próxima ao cliente e atendê-lo mais rapidamente, optou também por um número expressivo de revendas. Contudo, recentemente a imprensa anunciou problemas na GM e a necessidade de seu reposicionamento no mercado. Uma análise da Tabela 3 indica o porquê dessa necessidade. Muitos modelos levam a muitas unidades de montagem (com diminuição da produtividade), e muitas revendas, por sua vez, elevam substancialmente o estoque com aumento significativo do custo de estocagem, conforme demonstra o giro de estoque apresentado na última linha da Tabela 3.

Alkire e colaboradores (2002) destacam, na conclusão de seu trabalho, que o maior objetivo das montadoras, atualmente, é o de reduzir o tempo de entrega ao consumidor final ou à revenda. Acreditam que, ao fazê-lo, estarão satisfazendo melhor o cliente e, ao mesmo tempo, diminuindo o custo de produção e de estoque. O meio mais fácil para obter essa redução é limitar o número de variações de produto. Flexibilidade de tempo contrapõe-se às flexibilidades de mix, e a de modelos pode causar estresse no consumidor (ALKIRE et al., 2002).





**Tabela 3: Dados do setor automotivo nos EUA**

	Modelos	Plantas	Volume de produção (mil)	Market share	Trabalhadores/hora	Número de revendas	Re vendas (giro de estoque)
GM	71	31	7583	16,30%	26,1	16327	6
Ford	32	20	6676	7,80%	26,9	7417	5,5
DCW	41	15	4364	11,90%	30,8	8877	5,9
BMW	14	2	947	0,34%		340	17,4
VW	16	1	5109	0,87%		866	5,5
Honda	16	4	2674	1,25%	19,7	1259	8,8
Nissan	11	4	2559	1,26%	17,9	1231	6,2
Toyota	26	5	6055	1,39%	22,5	1395	11,7

Fonte: 2002 Market Data Book, Automotive News Data Center

As análises anteriores trataram da relação empresa e consumidor. A seguir será analisado como melhorar a flexibilidade, atuando no projeto do produto e, principalmente, no processo de produção.

## 4 Mudanças organizacionais para a flexibilidade

Sendo cada vez mais crescente o cenário em que a demanda é menor que a capacidade de produção, a estratégia de oferecer ao consumidor o que ele realmente necessita, no tempo aceitável, tornou-se a chave do sucesso da empresa. Surgiram propostas para novas organizações da produção. Para atingir um posicionamento de flexibilidade em relação à demanda, grandes estruturas abriram espaço à competência central. As empresas buscaram a desintegração vertical; por isso, optaram pela terceirização de sua produção, pela passagem de atividades não essenciais às subsidiárias multinacionais ou por parcerias. Dessa forma, o ambiente produtivo passou a existir pela formação de alianças estratégicas, incluindo acordos cooperativos focados no interesse comum de mercado. Esse caminho levou também ao compartilhamento do risco do

investimento, criado pela incerteza da existência da demanda, e ao atendimento a mercados globalizados, que necessitam mundialmente da presença da empresa, requisito somente atingível pelas substanciais mudanças organizacionais.

Essa mudança estratégica procurava realinhar o conjunto de produtos para o mercado. Nesse processo, o crescimento dividia-se em duas partes: expansão e diversificação (ANSOFF, 1977). A expansão envolve a penetração das organizações e do produto no mercado, por seu desenvolvimento; e no consumidor, pela necessidade de aquisição do “novo”. Já a diversificação é a mais drástica e arriscada das duas estratégias, pois envolve o afastamento simultâneo do produto e do mercado conhecido. Caminhando no mesmo sentido, Volberda (2004) destaca que novas direções estratégicas apontam para o deslocamento de fronteiras organizacionais e a consolidação de competências dinâmicas. Passa-se a acreditar que o ambiente produtivo, apoiado em terceiros, em parcerias, em alianças e em organizações virtuais, possa atingir maior diversificação, agilidade e custo competitivo. A competitividade de um produto não mais se restringe à fronteira da empresa detentora da marca e passa a relacionar-se com todo o ambiente em que ele se insere. Nesse mesmo contexto não há flexibilidade de empresa, mas o produto resultante de várias empresas situadas em regiões distintas, com maior tempo de circulação da informação e de material em um processo administrado de forma descentralizada.

### 4.1 Conceito de cadeia de suprimentos

Atualmente, um produto é resultado da associação entre empresas de manufatura e de serviços, chamada cadeia de suprimentos (em inglês *supply chain*), e pode assumir diferentes configurações de produção e de gestão que influenciam a flexibili-

dade do produto. Assim, no cenário da cadeia de suprimentos, a flexibilidade depende da:

- Estratégia clara de posicionamento do produto no mercado;
- Rede de empresas e do processo de produção, tendo como base a estratégia;
- Plataforma de tecnologia de informação (TI) para apoiar a estratégia.

#### 4.2 Estratégia a ser adotada em relação à flexibilidade

A determinação da estratégia para a flexibilidade depende de como a empresa gestora da cadeia de suprimentos quer posicionar seu produto em relação ao cliente ou ao consumidor final. Segundo Fisher (1997), os produtos encontrados em supermercados e postos de gasolina e que satisfazem a necessidade básica do cliente têm demanda estável e previsível. Por causa dessas características, são chamados de funcionais e fazem parte de um mercado altamente competitivo; por isso, quem trabalha com esse tipo de produto prevê uma margem de retorno menor. Ainda segundo Fisher (1997), com o fito de obter margens maiores de retorno, as empresas buscam inovar para dar ao consumidor uma razão adicional de compra. Exemplos desse posicionamento são os produtos inovadores encontrados na moda, em computadores pessoais, câmeras fotográficas, alguns modelos de automóveis etc. A inovação cria a necessidade de consumo. Embora possa trazer maior retorno por unidade, a inovação gera também a incerteza do mercado e requer ciclo de vida pequeno, uma vez que o tempo acaba com essa vantagem.

Produtos funcionais requerem linha de produção funcional, com objetivo de competir pelo menor custo. Produtos inovadores exigem linhas de produção ágil, processo de negócio entre empresas parceiras que compartilhem riscos advin-

dos da incerteza do comportamento da demanda pela introdução de flexibilidade.

Produtos funcionais e inovadores são resultados de componentes vindos de fornecedores cuja relação de parceria deve ser determinada pela empresa gestora. Trent (2004) propõe quatro classificações para os itens e os serviços: 1) de transação, aqueles que têm valor total baixo com um mercado de suprimento limitado em que um processo sofisticado de escolha de fornecedor pode ter custo mais elevado que o ganho advindo dessa ação; 2) de mercado, incluem padrões ou serviços de baixo e médio custo, caracterizados pela existência de vários fornecedores, com custo baixo de troca de fornecedor; 3) alavancadores, que se beneficiam de volumes consolidados e poucos fornecedores. 4) estratégicos, que consomem uma grande quantidade de recursos de compra e são essenciais às funções do produto final ou contribuem para a diferenciação do produto de forma reconhecida.

Para os itens de transação e de mercado, a relação é tipicamente competitiva com foco no preço, podendo haver trocas constantes de fornecedores. Contudo, a relação com o fornecedor de itens e serviços alavancadores e estratégicos deve ser, no mínimo, cooperativa, focada em fatores que garantam o desempenho adequado da cadeia, como custo, qualidade, logística de entrega, gestão de estoque e serviço e flexibilidade (TRENT, 2004).

Já Lapide (2005) sugere a segmentação A/B/C que utiliza critério baseado em valor (volume de vendas e/ou margem de contribuição). Assumida uma classificação, cada segmento da cadeia é administrado segundo formas de negócio desenvolvidas especificamente para ele, que estabelecem, por exemplo, o grau de cooperação entre empresas, a tecnologia de informação necessária para apoio à gestão cooperativa e a qualidade de serviço.



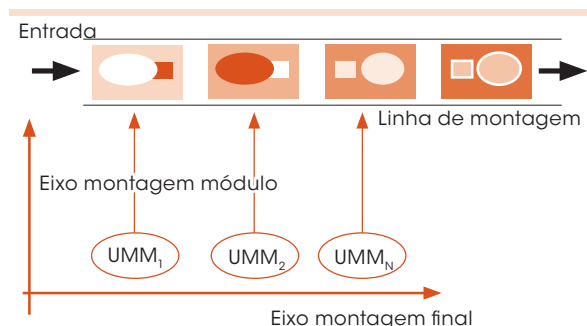
### 4.3 Melhoria do processo com base na estratégia para o produto

A seguir serão discutidas, entre outras, três melhorias de processo como forma de introdução de flexibilidade do produto final. Essas melhorias requerem relação cooperativa entre empresas, fornecedores de itens estratégicos e alavancadores. São elas: montagem modular, postergação e estoque controlado pelo vendedor.

#### 4.2.1 Montagem modular

O sistema de montagem modular prioriza a flexibilidade e a rapidez da montagem de um produto, atribuindo a cada unidade a produção de um módulo que deve ser entregue na sequência definida pela linha principal de montagem, Ilustração 3. Uma unidade modular de montagem (UMM) deve executar operações básicas de montagem, e não de manufatura, e precisa estar localizada o mais próximo possível da planta da montadora, procurando evitar tempos longos de processamento e de transporte para garantir maior confiabilidade ao processo. As UMMs podem pertencer a empresas distintas, mas devem estar sincronizadas à linha de montagem (FREDRIKSSON, 2002).

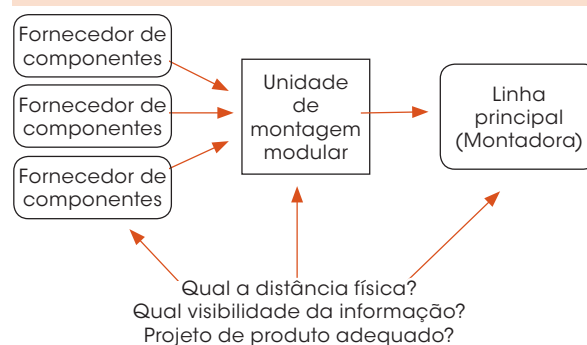
Empresas e áreas distintas têm enfoques diferenciados para a montagem modular. Algumas preferem montar os módulos internamente, ter-



**Ilustração 3: Montagem modular**

Fonte: O autor.

ceirizando a produção de componentes, enquanto outras buscam internalizar os parceiros. Um ponto importante, em ambos os casos, é a necessidade de suprir rapidamente as UMMs, o que é possível a partir de uma extensiva troca de informação entre as empresas envolvidas. Assim, a análise de desempenho de um consórcio modular ultrapassa as barreiras da montadora para considerar os fornecedores de módulos, ou seja, as UMMs e os fornecedores, Ilustração 4. Por conseguinte a flexibilidade do produto final envolve todos os processos, tanto de manufatura quanto de informação.



**Ilustração 4: Fatores conflitantes em projeto de uma UMM**

Fonte: O autor.

Uma grande vantagem da modularização é que os fabricantes podem produzir os módulos simultaneamente, em vez de adotar a produção sequencial. Essa produção paralela encurta o *lead time*, melhora a qualidade do serviço prestado ao cliente, além de reduzir o custo do estoque de produto acabado. Exemplos de montagem modular no setor automotivo brasileiro são a linha de montagem de caminhões e ônibus da Volkswagen (VW), em Resende (RJ), a do Celta da GM, em Gravataí (RS) e a fábrica da Ford, em Camaçari (BA).

#### 4.2.2 Postergação da diferenciação

Talvez o caminho mais efetivo para a gestão da cadeia de suprimentos e flexibilidade seja a

técnica de postergação da diferenciação (PAGH; COOPER, 1998). Com essa técnica, aplicada a partir de um projeto adequado para o produto, procura-se trabalhar nas fases iniciais da produção com “produto-padrão” e fazer a customização nos centros de distribuição junto ao consumidor final. Um exemplo clássico desse processo foi vivido pela Hewlett Packard (HP), em sua linha de impressoras DeskJet. Com a produção centralizada em Vancouver (Canadá), a empresa atendia às necessidades de diferentes mercados, como o espanhol e o japonês, com relação a configurações de caracteres. Impressoras com padrão genérico eram produzidas e enviadas para os centros de consumo onde se realizava o acoplamento do módulo de diferenciação.

A adoção dessa técnica resulta em várias vantagens. Permite que os produtos sejam “especializados” sem comprometer a economia de escala na produção do produto genérico e, no transporte, estende a produção funcional até o último instante. Aproveita a centralização para minimizar o estoque de segurança e assim diminuir o risco, uma vez que ele ocorre com o produto ainda em sua forma genérica. Seguindo a mesma linha de raciocínio, a produção pode basear-se em previsões agregadas que são mais exatas que as por produto (TAYLOR, 2004).

A postergação tem como elementos básicos a modularização e a redefinição da seqüência das operações, ações que podem elevar o custo de fabricação, independentemente de onde a montagem final ocorra. Esse incremento de custo deve ser comparado com o benefício da centralização do estoque e da melhoria da prestação de serviço ao cliente. O conceito da postergação na logística significa adiar para o último instante mudanças no estoque localizado próximo ao cliente, o que exige uma logística rápida para atender às variações de demanda do consumidor final.

#### 4.2.3 Controle de estoque pelo vendedor

Outra forma de produzir respostas mais rápidas e, ao mesmo tempo, organizar melhor a produção e a logística de entrega é o sistema de controle de estoque pelo vendedor (em inglês *vendor management inventory* [VMI]). Normalmente implementado por um grande vendedor que busca melhorar sua relação de previsão de consumo e diminuição de estoque com seus clientes, esse sistema transfere para o vendedor a ação de controlar o estoque, gerar pedidos para seus clientes, tendo como base o conhecimento do estoque real de cada um deles. Essa autonomia deixaria os clientes sem controle do próprio estoque, o que poderia gerar perdas econômicas. Contudo, a garantia contra obsolescência de peças, o *buyback*, para as peças não vendidas em um determinado prazo, contorna esse problema. Algumas vantagens desse sistema:

Disponibilidade de um localizador de peças entre os parceiros da região: com base na internet, para que seja realizado suprimento rápido e econômico da peça que falta ao cliente;

Sistema *milk-run* de suprimento para diluir os custos logísticos: são feitas entregas em prazos proporcionais aos volumes de venda ao cliente, em intervalos curtos de entrega de vários itens, em uma rota predeterminada de entregas;

Revisão periódica para entrega: diariamente são atualizados os estoques de todos os clientes e, dependendo da posição do estoque, é gerado um pedido de ressuprimento e entrega automáticos.

Esses sistemas são encontrados em empresas *benchmarking*, tais como Benetton, 3M, McDonald's e no sistema AltoGiro da GM, e introduzem flexibilidade de atendimento ao cliente por antecipar a visibilidade da variação da demanda ao sistema de produção e à logística de entrega.



## 5 Considerações finais

O conceito de flexibilidade nasceu no chão de fábrica, para possibilitar a uma máquina executar várias funções, e não obteve muito sucesso nesse caminho. Contudo, evoluiu para representar o posicionamento estratégico da empresa gestora de uma marca ante os parceiros de negócio, tais como fornecedores, operadores logísticos e clientes. Esse posicionamento depende, principalmente, da visão do consumidor sobre o produto e da empresa sobre o fornecedor. Muitas vezes as empresas posicionam produtos nos dois quadrantes, inovador (grande flexibilidade) e funcional (competitividade em custo), como forma de obter estabilidade no processo produtivo e galgar maior retorno pela inovação. No setor automotivo, os modelos “mil” e modelos “luxo”, e no setor de computadores, a Dell permitindo a personalização e oferecendo modelos de “prateleira” são alguns exemplos.

O reconhecimento de que a redução do estoque em 20% eleva o lucro da empresa em 6% e de que o aumento em 5% da utilização dos equipamentos pode também elevar o estoque em 5%, para manter a mesma qualidade de serviço (SCHLEGEL; SMITH, 2005). Se houver diminuição do estoque, menor será a capacidade de atendimento às incertezas da demanda. O mesmo ocorre com maior utilização de equipamento que diminui a capacidade de atendimento ao crescimento da demanda, a menos que haja aumento de estoque. Além disso, a flexibilidade não é um elemento isolado nem estático no sistema, podendo assumir formas diferentes para situações similares. Por exemplo, na situação em que o mercado é fraco, a empresa procura manter todos os consumidores; caso o mercado seja, acima de sua capacidade, busca atender somente os consumidores escolhidos.

Embora as empresas líderes, com suas tecnologias e metodologias, se encontrem a grande dis-

tância das outras empresas, o desenvolvimento da cadeia de suprimento ainda não chegou ao fim da linha; por isso, fornecer uma visão do futuro pode criar no leitor uma boa oportunidade de “especulação”. Essa visão deve considerar como principais fatores influenciadores:

- O reconhecimento de que a evolução de uma cadeia de suprimentos é produto de fatores macro, do ambiente em que ela se encontra, e que está além do controle da empresa;
- A partir da análise dos macrofatores, estabelecer uma visão para a sua cadeia de suprimentos reconhecendo suas particularidades e não tentando seguir indiscriminadamente as empresas líderes.

Singh (2004), em uma extensa revisão bibliográfica sobre o tema “cadeias de suprimento em 2020”, identifica 35 macrofatores, que dirigem mudanças futuras, e 60 visões, estratégias-chave ou mudanças operacionais como constituintes do cenário futuro das cadeias de suprimento. É certo que o foco do negócio estará na eficiência, na flexibilidade, na velocidade de entrega e na mudança de produtos, tendo o consumidor como elemento principal.

Enfim, a habilidade de aprender e agir mais rápido que seu competidor pode ser a única vantagem competitiva para um produto resultante de uma cadeia de suprimentos.

## Referências

- ALKIRE, K. F. et al. Order to deliver: fertile ground for improvement. *Office for the Study of Automotive Transportation University of Michigan*. Michigan: 2002. Disponível em: <<http://www.osat.umich.edu/research/industry/OTD.doc>>. Acesso em: maio 2003.
- ANSOFF, H. I. *Estratégia empresarial*. 1. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1977.



- BEAMON, B. M. Measuring supply chain performance. *International Journal of Operations & Production Management*, Bradford, v. 19, n. 3, p. 275-292, 1999.
- BUZACOTT, J. A.; SHANTHIKUMAR, J. G. Models for understanding flexible manufacturing systems. In: DESROCHERS, A. A. *Modeling and control of automated manufacturing systems*. 1. ed. Piscataway: IEEE Press, 1989. p. 84-95.
- CARVALHO, M. F. H. et al. Simulação a eventos discretos. In: GARCEZ J. N.; SOUZA, J. R. B. de. (Org.). *8º Congresso brasileiro de automática. Minicursos*. 1. ed. Belém: UFPA, 1990. v. 1, p. 27-58.
- FISHER, M. L. What is the right supply chain for your product? *Harvard Business Review*, Nova York, v. 75, n. 2, p. 105-116, 1997.
- FREDRIKSSON, P. Modular assembly in the car industry: an analysis of organizational forms influence on performance. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, Londres, v. 8, n. 4, p. 221-233, 2002.
- GERWIN, D. Manufacturing flexibility: a strategic perspective. *Management Science*, Linthicum, v. 39, n. 4, p. 395-410, 1993.
- GOLDRATT, E. M.; COX, J. Computerized shop floor scheduling. *International Journal of Production Research*, Loughborough, v. 26, n. 3, p. 443-445, 1988.
- GROOVER JUNIOR, M. P. *Automation, production system and computer-aided manufacturing*. 1. ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 1980.
- KOGUT, B. Designing global strategies: comparative and competitive value-added chains. *Sloan Management Review*, v. 26, n. 4, p. 15-28, 1985.
- KUMPE, T. K.; BOLWIJN, P.T. Manufacturing: the new case for vertical integration. *Harvard Business Review*, Nova York, v. 66, p. 75-81, 1988.
- LAPIDE, L. Benchmarking best practices. *The Journal of Business Forecasting*, Cincinnati, p. 29-32, n. 6, 2005.
- PAGH, J. D.; COOPER, M. C. Supply chain postponement and speculation strategies: how to choose the right strategy. *Journal of Business Logistics*, Lombard, v. 19, n. 2, p. 13-33, 1998.
- SINGH, M. A review of the leading opinions on the future of supply chains. *Supply Chain 2020 Project Working Paper*. Cambridge: MIT, 2004. Disponível em: <[http://ctl.mit.edu/public/opinions\\_future\\_supply\\_chains.pdf](http://ctl.mit.edu/public/opinions_future_supply_chains.pdf)>. Acesso em: 10 out. 2006.
- SLACK, N. The flexibility of manufacturing systems. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 7, n. 4, p. 35-45, 1987.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. *Administração da produção*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- SURI, R.; WHITNEY, C. K. Decision support requirements in flexible manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, Dearborn, v. 3, n.1, p. 61-70, 1984.
- TAYLOR, D. A. *Supply chains: a manager guide*. 1. ed. Boston: Pearson Education, 2004.
- TRENT, R. J. What everyone needs to know about supply chain management. *Supply Chain Management Review*, n. 2, mar. 2004. Disponível em: <<http://www.scmr.com/scm/article/CA629912.html>>. Acesso em: 10 out. 2006.
- TSAY, A. A.; LOVEJOY, W. S. Quantity flexibility contracts and supply chain performance. *Manufacturing & Service Operations Management*, v. 1, n. 2, p. 89-111, 1999.
- VOLBERDA, H. W. Crise em estratégia: fragmentação, interpretação ou síntese. *Revista de Administração de Empresas*, São Paulo, v. 44, n. 4, p. 32-43, 2004.
- WANG, H. An experimental analysis of the flexible manufacturing system (FMS). In: KUSLAK, A. (Ed.). *Flexible manufacturing systems: methods and studies*. 1. ed. Amsterdã: 1986. p. 319-339.

#### Para referenciar este texto

CARVALHO, M. F. H. de. A flexibilidade nos sistemas produtivos atuais e sua perspectiva. *Exacta*, São Paulo, v. 4, n. especial, p. 45-57, 25 nov. 2006.