

METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE MUDANÇA DE ESTRATÉGIA DE GESTÃO DA DEMANDA DE MAKE-TO-ORDER PARA ASSEMBLY-TO-ORDER.

Ricardo Ferrari Pacheco

Pontifícia Universidade Católica do Paraná
Programa de Pós-graduação em Informática Aplicada

Marco A. B. Cândido

Pontifícia Universidade Católica do Paraná
Programa de Pós-graduação em Informática Aplicada

Abstract

This work summarizes the methodology and the binary mathematical programming model proposed to evaluate the advantages obtained by changing the demand fulfillment strategy from Make-to-Order to Assembly-to-Order. Initially the potential competitive advantages related to Assembly-to-Order demand management strategy is presented. Then the methodology and the mathematical model are detailed .

key-words: assembly-to-order; stock; modeling

I-Introdução

A forma de gestão da demanda é parte fundamental da estratégia competitiva de uma empresa (Vollmann, 1993). Ela diz respeito à coordenação de todas fontes de demandas, quer sejam demandas independentes, pedidos de clientes, necessidades de reposição, necessidades de centros de distribuição e dependentes (Corrêa et al, 1997). Basicamente, podemos classificar as estratégias de gestão nas seguintes categorias:

- Make-to-order (MTO): a chegada de um pedido firme de cliente provoca o início da produção dos produtos desejados. Possui a vantagem de se trabalhar com baixos estoques de produtos acabados, sendo adequado para produtos com demanda pouco freqüente, que possuem alto custo de estocagem (itens classe A) ou que são perecíveis. Esta estratégia entretanto torna o lead-time do produto igual ao lead-time do “ramo” mais demorado da fabricação do produto. Este particular pode tornar o prazo de entrega estrategicamente indesejável, especialmente em mercado no qual o fator velocidade de entrega é vital.
- Engineer-to Order: o produto é especificado, projetado e fabricado mediante pedido.
- Make-to-stock (MTS): o produto tem sua fabricação iniciada mediante uma previsão de demanda. A chegada do pedido de cliente provoca o seu atendimento quase imediato, mediante a retirada do produto acabado do estoque. Possui a vantagem de oferecer um lead-time muito reduzido, sendo adequado para a gestão de produtos com demanda bastante previsível. Entretanto, o volume de estoques a serem mantidos para o nível de atendimento desejado pode significar um grande volume de capital investido,

especialmente no caso de empresas com grande número de itens comercializados e cuja capacidade de previsão da demanda é deficiente.

- Assembly-to-order (ATO): o produto tem a fabricação de seus principais componentes disparada mediante uma previsão de demanda, sendo estes componentes produzidos e armazenados antes da chegada do pedido. A chegada do pedido de cliente provoca o término da montagem do produto mediante a utilização dos componentes já produzidos. Possui a vantagem de reduzir o lead-time de atendimento, já que este fica reduzido à etapa de montagem final. Em outras palavras, nessa estratégia se mantêm estoques apenas dos componentes de maior demanda, reduzindo, sob a ótica do cliente, o lead-time de entrega, tornando a empresa apta a realizar em tempo bastante reduzido a montagem de uma grande diversidade de produtos finais. É adequada para situações nas quais um pequeno grupo de componentes é utilizado na fabricação de um grande número de produtos finais, sendo que um produto se diferencia de outro em termos da inclusão ou troca de um ou poucos componentes.

A crescente pressão competitiva tem obrigado as empresas a buscarem alternativas que propiciem tanto a redução nos prazos de atendimento quanto a redução de custos (dentre os quais o de estocagem) em toda a cadeia produtiva (MASON-JONES & TOWILL, 1999, 2000).

Nesse contexto, o estudo do trade-off que envolve a eventual decisão da empresa de gerir sua demanda por meio da estratégia ATO torna-se um tema interessante e pouco explorado pela literatura. Alguns autores (King, 1987), (Guerrero, 1991) discutem os principais aspectos relacionados à estratégia ATO. Baker (in GRAVES et al, 1993) propõe um modelo no qual, dado um conjunto de pedidos em carteria, decide-se o que atender, dadas as limitações de capacidade conhecendo antecipadamente os componentes fabricados ATO e seus estoques. O objetivo é a minimização dos custos de estocagem e das penalizações por não atendimento das ordens.

Neste trabalho abordamos um aspecto pouco explorado pelos trabalhos anteriores: procura-se propor uma metodologia para análise da viabilidade da mudança da estratégia MTS para ATO. São descritos os passos da metodologia e o modelo matemático de apoio à decisão desenvolvido.

II- A Metodologia

A metodologia utilizada buscou analisar os impactos da mudança de estratégia de gestão MTO para ATO, sendo composta dos seguintes passos:

Passo I: Avaliação preliminar da viabilidade de adoção da estratégia ATO.

Neste primeiro momento, estuda-se a estrutura dos produtos da empresa e o comportamento da demanda, procurando identificar:

1. Se existe um grande número de produtos compostos por um número significativamente menor de componentes comuns a eles (estrutura em Y ou X).
2. Se a demanda de uma parcela significativa desses componentes é razoavelmente freqüente, verificando se um porcentagem significativa deles apresentava 2 ou mais ordens de produção mensais.

Passo II: Elaboração da função relacionada à redução de lead-time de entrega e ao aumento de retorno.

Uma vez que o passo I mostra que a empresa apresenta a princípio, as características desejáveis para a implantação da estratégia ATO, no passo II busca-se analisar, por meio de entrevistas com responsáveis pelas áreas de vendas, marketing e finanças da empresa, qual o retorno atual de cada uma das famílias de produtos e qual seria o retorno que se poderia esperar caso o lead-time de entrega fosse reduzido. Em outras palavras, quanto se espera que a redução do lead-time de cada família de produtos impacte em aumento do market-share, e conseqüentemente, aumento de retorno financeiro. Para tal, utilizou-se gráficos mostrando o lead-time, market-share e retorno atual das linhas de produtos. O resultado obtido baseado numa média das diversas estimativas fornecidas pelos responsáveis da empresa mostrou-se pouco confiável. Para efeito de simplificação do modelo, definiu-se o ganho esperado como uma constante por dia de redução do lead-time. Embora conceitualmente este ganho seja melhor representado por uma curva em forma de S, consideramos que, dado a quantidade de dias que se esperava reduzir e a imprecisão da estimativa desse ganho, a simplificação do modelo obtida com a adoção de um valor constante foi pouco relevante.

Passo III: Levantamento de dados tecnológicos:

Nos passo III procura-se obter os dados necessários para a implementação do modelo matemático de apoio à decisão. São levantados os lead-times de produção de cada um dos componentes, custos de estocagem, dados históricos de demanda de produtos finais e seus respectivos componentes, capacidade de estocagem de componentes por pallet e total da área de armazenagem disponível.

Dois aspectos que merecem destaque dizem respeito aos custos de estocagem e os estoques médios previstos para cada componente. No modelo adotou-se o custo de estocagem com uma fração do custo unitário do componente, fração esta representando a taxa de juros praticada pelo mercado. Já o estoque médio previsto para o componente foi obtido por meio de levantamento de dados históricos de demanda e utilização de modelos de suavizamento exponencial. Para cada componente analisado obteve-se o histórico semanal de demanda por um período significativo (no caso, 124 semanas). Para componentes que não apresentaram demanda positiva em porcentagem significativa de semanas (no nosso caso, adotou-se 10% ou mais de semanas com demanda igual a zero) adotamos o modelo de previsão B, enquanto nos demais casos, adotou-se o modelo A, ambos explicados abaixo:

- **Modelo A:** previsão de componentes utilizando suavizamento exponencial: baseado no histórico de consumo do primeiro ano obteve-se o melhor valor de alfa e beta do modelo de suavizamento, de modo a minimizar o erro quadrático médio (EQM) da previsão. Os parâmetros utilizados serão utilizados para realizar as previsões para os próximos períodos para este componente. Uma vez obtido o EQM calcula-se o valor do estoque de segurança (correspondente a um certo número de desvios padrão, que no nosso caso, foi de 2,3 desvio, ou 99% de confiabilidade de atendimento) de modo a se garantir o nível de atendimento desejado. Obviamente, quanto maior o EQM, maior deverá ser o ES para um certo grau de atendimento. É importante lembrar também que o nível de atendimento do produto é o resultado da multiplicação do grau de atendimento de todos os componentes desse produto mantidos em estoque. Neste caso o Estoque médio é igual ao estoque de segurança calculado. A figura 1 ilustra o modelo de previsão utilizando suavizamento exponencial e seu valor acrescido do estoque de segurança

para um determinado componente. A figura 2 ilustra o comportamento de estoque de um componente gerido por meio do modelo A.

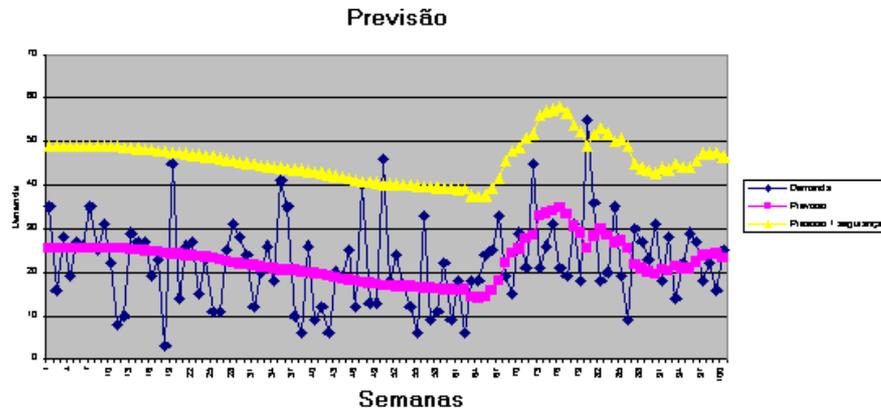


Figura 1

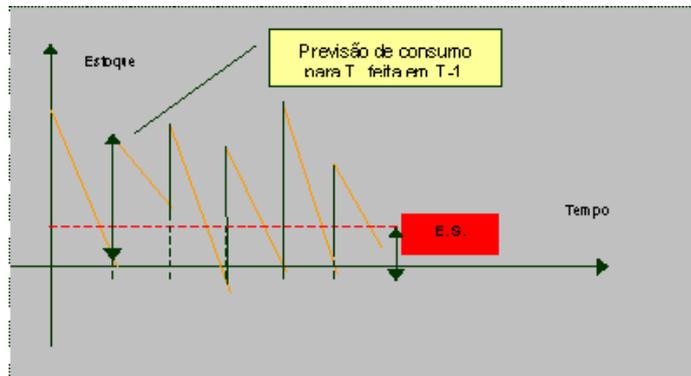


Figura 2

- Modelo B:** Previsão utilizando-se suavizamento exponencial com gestão por meio de reposição do estoque até um nível máximo: também realiza previsão utilizando suavizamento exponencial baseada no histórico de consumo. Entretanto, para itens nos quais o número de semanas com demanda igual a zero é significativo (maior que 10%), expurga-se tais semanas do modelo de previsão. Para esses itens, a gestão do estoque se dá por reposição do máximo, sendo que a demanda futura positiva é prevista pelo modelo de suavizamento exponencial, tal como o modelo A. Note que neste modelo, o estoque máximo é recalculado dinamicamente, não se tratando portanto um modelo reativo tradicional. A figura 3 ilustra o comportamento do estoque de um componente gerido por meio do modelo B.

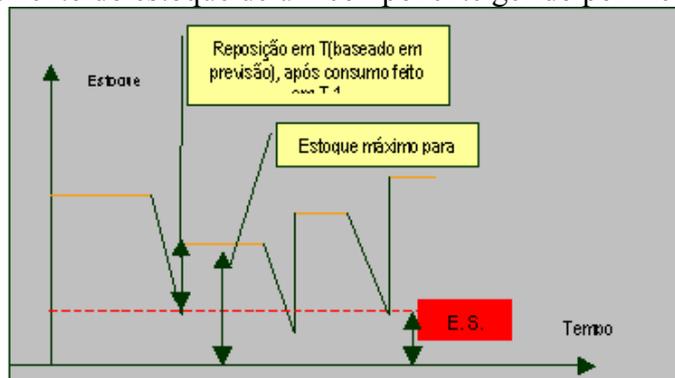


Figura 3

Neste caso o estoque médio é dado por :

$$EM = E.S. + LM*(T-1)/T$$

onde

EM = acréscimo médio de estoque com a nova estratégia

ES = Estoque de Segurança calculado pelo modelo de previsão

LM = Demanda Média Prevista

T = tempo médio entre demandas

O estudo de outras famílias pode necessitar de modelos sazonais. Pode-se ainda estudar a adoção de modelos mais sofisticados, como os modelos ARIMA, mas de ajustes mais complexos. No caso estudado, o modelo de previsão utilizado mostrou-se adequado.

Passo IV: Modelagem Matemática do Problema e Análise dos Resultados:

Neste passo implementa-se o modelo matemático de apoio à decisão, cujo objetivo é decidir quais os produtos a serem geridos por meio da estratégia ATO (ou MTS) e quais componentes a empresa deve manter em estoque de modo a maximizar os aumentos de retorno com a redução do lead-time de entrega, considerando o aumento nos custos de estocagem envolvido nesta decisão. Os detalhes do modelo são mostrados no próximo tópico.

Passo V: Implantação do processo de previsão para os componentes

Uma vez definidos os componentes produzidos baseados em previsão e estocados, inicia-se a implantação do modelo de previsão para os componentes, transformando-os, no sistema MRP II, em itens com demanda independente. Além disso, a forma com que se dá o consumo dos componentes e suas demandas independentes pelas demandas dependentes derivadas de pedidos de produtos acabados deve ser parametrizada adequadamente no sistema MRP II.

Passo VI: Criação do estoque inicial de componentes:

Uma vez implantado o processo de previsão periódica de componentes, deve ser gerado o estoque inicial dos mesmos. Dada uma eventual falta de capacidade para se produzir todos os componentes necessários num curto espaço de tempo, esta etapa deve tomar tanto mais tempo quanto maior for a taxa de utilização atual dos recursos da empresa.

Passo VII: Alteração dos tempos de promessa de produtos:

Nesta etapa realiza-se a última fase da implantação da nova estratégia, com a adoção por parte do departamento comercial da empresa, dos novos prazos de atendimento de pedidos, para os produtos compostos dos componentes estocados.

Passo VIII: Revisão Periódica do Processo de Decisão:

Deve-se garantir que tanto os passos da metodologia quanto o modelo sejam revistos com certa periodicidade. É importante que a empresa esteja atenta a possíveis mudanças no perfil do consumidor quanto à vantagem percebida pelo cliente com a redução do lead-time de entrega. A manutenção da estrutura do produto, dos custos de estocagem e dos parâmetros do modelo de previsão são importantes para que as decisões geradas pelo mesmo sejam confiáveis..

III - O Modelo Matemático Utilizado

O modelo utilizado utiliza variáveis de decisão binárias (COOK, 1998) e procura maximizar o lucro obtido com a mudança da estratégia de MTS para ATO ou MTS.

Sejam:

K o número de produtos acabados

I	o número de componentes que formam os produtos analisados
J _k	número de ramos do k-ésimo produto, sendo k=1..K
R _j = {i ∈ I}	Lista dos componentes que formam um ramo de um produto, no sentido do pai (raiz) pra o filho (até a folha)
Z _j	número de componentes pertencente ao conjunto R _j
G _k	ganho obtido por período, com a redução de 1 dia no lead-time do produto k, k=1..K
LTA _k	lead-time atual do produto k, com a estratégia MTO
C _i	custo unitário de estocagem do componente i, por período
EM _i	estoque médio de segurança necessário para o componente i atender os produtos que compõe, caso seja estocado
AMAX	número máximo de pallets de tamanho padrão possíveis de serem armazenados
N _i	quantidade de componentes i armazenáveis em um pallet padrão.
CAPMAX	capital máximo disponível para aumento dos estoques
P _i	custo unitário do componente i
t _i	lead-time do componente i

As variáveis de decisão são:

$x_i = \{0,1\}$ variável de decisão binária. Valor zero indica que o componente não deve ser estocado e 1 indica que deve ser estocado.

LTr_j lead-time do ramo j obtido com a estratégia ATO (do ponto de estoque ao produto acabado)

LT_k lead-time do produto k obtido com a estratégia ATO

O modelo é dado por:

Mimize $Z =$

$$\sum_{k=1}^K G_k (LT_k - LTA_k) + \sum_{i=1}^I C_i EM_i x_i \quad (1)$$

A função objetivo (1) procura encontrar um trade-off com resultado o menor possível onde os dois aspectos analisados são o aumento de custos com a criação de estoques de componentes versus o aumento de retorno obtido com a redução do lead-time dos produtos. Os estoques médios necessários foram obtidos por previsão, conforme abordagem já comentada, enquanto que o valor de G_k foi obtido por estimativas junto à empresa. Resultados de valor negativo indicam ganhos com a mudança da estratégia atual para a solução dada pelo modelo.

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^{Z_j} x_i \leq 1 \quad \forall R_j \quad (2)$$

A restrição (2) garante que, para cada ramo da estrutura do produto, o estoque será formado no máximo em apenas um ponto. É importante observar que soluções na qual o estoque se faz na raiz da estrutura (pai) significa que a adoção da estratégia MTS é indicada. Nesse sentido, o modelo se presta para a avaliação da viabilidade da estratégia ATO ou MTS, sendo o segundo caso um caso particular no qual o estoque está concentrado no topo e o lead-time é zero. A existência do mesmo componente em pontos distintos da estrutura do mesmo produto ou em produtos distintos, será tratada pelo modelo de forma global. Assim, se estocado para o atendimento de um dos produtos de que faz

parte, o componente estará disponível para atender aos demais, embora possa não ser utilizado. Isto ocorre visto que para a empresa torna-se inviável a produção do componente mediante pedido para alguns produtos e para estoque para outros.

$$LTr_j = \sum_{i=1}^{Z_j} t_i - \sum_{i=1}^{Z_j} \sum_{j=i}^{Z_j} x_i t_j \quad \forall R_j \quad (3)$$

A restrição (3) calcula o lead-time de cada ramo, que é dado pela soma dos lead-times dos nós acima do ponto onde é formado o estoque. É importante observar que a ordem dos componentes na lista que forma o ramo é definida como sendo do pai para o filho. Assim, 1 corresponde ao pai e Z_j à folha (último filho).

$$LT_k \geq LTr_j \quad \forall \text{ ramo } R_j \in \text{produto } K \quad (4)$$

A restrição (4) indica que o lead-time do produto é no mínimo igual ao lead-time do maior ramo pertencente a ele.

$$\sum_{i=1}^I \frac{EM_i x_i}{N_i} \leq AMAX \quad (5)$$

A restrição (5) impede que seja utilizada mais área para a formação de estoques que a área máxima disponível.

$$\sum_{i=1}^I EM_i P_i x_i \leq CAPMAX \quad (6)$$

A restrição (6) impede que seja utilizado mais capital para a formação de estoques que o máximo desejado ou disponível pela empresa.

IV - Aplicação da Metodologia e Resultados Preliminares Obtidos

A metodologia proposta está sendo aplicada experimentalmente em parte de uma família de produtos de uma empresa do setor de fabricação de motores. Escolheu-se parte de uma família de produtos para a análise, já que a família era composta de centenas de produtos, a grande maioria com demanda esporádica. Assim, filtrou-se, dentro da família, os produtos com demanda de maior frequência.

Os estoques médios necessários para os componentes foram analisados por meio de séries históricas de 124 semanas e calculados os estoques de segurança necessários.

Uma vez que os valores de G_k fornecidos foram bastante divergentes, aplicou-se o modelo utilizando-se um valor de G único para todos os produtos, resultante da média dos valores de G_k fornecidos. O modelo mostrou vantajosa a criação de estoques de componentes em porcentagem significativa dos produtos, de modo a reduzir os lead-times de entrega de 17 dias para 9 dias em média. Os resultados obtidos estão ainda sob análise da empresa.

V - Conclusões Finais e Trabalhos Futuros

O presente artigo trata de um tema pouco abordado na literatura e de grande interesse para as empresas: como avaliar o ganho esperado com a mudança da estratégia de gestão da demanda de MTO para ATO ou MTS. É proposta uma metodologia de avaliação da viabilidade da mudança e proposto um modelo matemático para tratar o problema.

Um dos principais parâmetros do modelo de decisão, o estoque médio necessário para o componente, é obtido por meio de dois modelos de previsão distintos, A e B, sendo o

modelo a obtido por meio de suavizamento exponencial e o modelo B por meio de suavizamento exponencial com as demandas iguais a zero expurgadas da previsão e os estoques de tais componentes geridos por reposição do máximo.

Atualmente os autores têm procurado concentrar esforços em três pontos da metodologia que julgam deficientes:

- 1) O modelo matemático proposto mostrou-se pouco adequado para a solução de problemas de grande porte, tais como se apresentam os problemas reais, nos quais milhares de produtos e ramos (e conseqüentemente restrições) deverão ser analisados. A criação de um modelo heurístico deve substituir o modelo otimizador descrito neste trabalho.
- 2) A melhoria na forma de se estimar os valores dos ganhos esperados (G_k) com a redução do lead-time. A abordagem atual para a estimativa dos ganhos foi baseada em entrevistas e mostrou-se pouco confiável, visto que os valores sugeridos divergiam substancialmente. Há outros benefícios intangíveis com a redução do lead-time tal como melhoria na qualidade do produto e redução de custos, que não foram considerados.
- 3) Os impactos da modificação da estratégia de gestão nos outros parâmetros do sistema. Foram mantidos neste estudo, por exemplo, as políticas de setup e de ciclo de execução do MRP.

Bibliografia

- Cook, W.; Cunningham, W.H.; Pulleyblank, W.R.; Schrijver, A.:** *Combinatorial Optimization*; ed. John Wiley & Sons; 1998.
- Corrêa, H & Giansi, I, Caon M.:** Planejamento, Programação e Controle da Produção MRPII/ERP Conceitos, uso e implementação; 3ª ed; Ed. Atlas; 1997.
- Gerrero, H.H.:** “Demand Management Strategies for Assembly-to-order Production Environments” *International Journal of Production Research*; 29(1); 39-51; 1991.
- Graves, S. C.; Rinnooy Kan, A.H.G.; Zipkin, P.H.:** Logistics of Production and Inventory; North Holland; Amsterdam; 1993.
- King, B. E. & Benton, W.C.:** “Alternative Master Production Scheduling Techniques in a Assembly-to-order Environment”; *Journal of Operations Management*; 7(2); 179-201; 1987.
- Mason-Jones, R & Towill, D.R.:** “Total cycle line compression and the agile supply chain”; *Engineering Costs And Production Economics*; 62; 61-73; 1999.
- Mason-Jones, R & Towill, D.R.:** “Lean, agile or leagile? Matching your supply chain to the marketplace”; *International J. of Prod. Research*; vol 38; n. 17; 4061-4070; 2000.
- Sipper, D & Bulfin Jr. R.L.:** Production Planning, Control and Integration; Ed. McGraw-Hill; 1997.
- Vollmann, T. E.; Berry, W. L.; Whybark, D. C.:** Integrated Production and Inventory Management; ed. Business One Irwin; 1993.