

ANÁLISE DOS MODELOS MATEMÁTICOS DOS CUSTOS DE ESTOQUES: LOTE ECONÔMICO DE COMPRA X TÉCNICA JUST-IN-TIME

Felipe Cabral de Araujo Gois

Alexandre Carlos Sandes

Luis Carlos Miranda

Resumo:

Este trabalho tem o intuito de analisar a relevância de alguns modelos matemáticos de mensuração dos custos de estoque. Tal análise basear-se-á na discussão da aplicação de dois modelos bastante abordados tanto na literatura acadêmica como no dia-a-dia empresarial: o Lote Econômico de Compra (LEC) e a técnica de gerenciamento Just-In-Time (JIT). O principal objetivo é o de apresentar uma análise que trate matematicamente o LEC e o JIT, extraindo-se daí considerações importantes tanto para efeitos didáticos, quanto para fins da decisão gerencial de volume de ressuprimento.

Palavras-chave:

Área temática: *Os Custos e a Tomada de Decisões*

**ANÁLISE DOS MODELOS MATEMÁTICOS DOS CUSTOS DE ESTOQUES:
LOTE ECONÔMICO DE COMPRA X TÉCNICA JUST-IN-TIME**

Felipe Cabral de Araujo Gois – Mestrando em Engenharia de Produção
Universidade Federal de Pernambuco – Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n,
Cidade Universitária, Recife-PE, CEP 50740-530, Brasil
felipegois@econnect.com.br

Alexandre Carlos Sandes – Mestrando em Engenharia de Produção
Universidade Federal de Pernambuco – Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n,
Cidade Universitária, Recife-PE, CEP 50740-530, Brasil
asandes@alpargatas.com.br

Luis Carlos Miranda, Ph.D. – Professor
Programa de Pós-Graduação em Eng^a de Produção – UFPE/PPEGP
Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife-PE
CEP 50740-530, Brasil
miranda@elogica.com.br

Área Temática: Os Custos e a Tomada de Decisão

ANÁLISE DOS MODELOS MATEMÁTICOS DOS CUSTOS DE ESTOQUES: LOTE ECONÔMICO DE COMPRA X TÉCNICA JUST-IN-TIME

Área Temática: Os Custos e a Tomada de Decisão

Resumo

Este trabalho tem o intuito de analisar a relevância de alguns modelos matemáticos de mensuração dos custos de estoque. Tal análise basear-se-á na discussão da aplicação de dois modelos bastante abordados tanto na literatura acadêmica como no dia-a-dia empresarial: o Lote Econômico de Compra (LEC) e a técnica de gerenciamento “Just-In-Time” (JIT). O principal objetivo é o de apresentar uma análise que trate matematicamente o LEC e o JIT, extraindo-se daí considerações importantes tanto para efeitos didáticos, quanto para fins da decisão gerencial de volume de ressuprimento.

INTRODUÇÃO

A grande difusão na literatura acadêmica e os inúmeros exemplos de aplicação do “modelo japonês de organização industrial” tornaram bastante conhecidas as bases teóricas que sustentam tal modelo. Muito embora freqüentemente não sejam dados a devida atenção e rigor no entendimento teórico dessas bases elas se difundem de forma muito acelerada no dia-a-dia da indústria (Schonberger, 1984).

Como qualquer nova forma de tratar os elementos de um sistema produtivo traz sempre consigo comparações com modelos em uso, as bases de sustentação do “modelo japonês” foram alvo das mais diversas formas de análise comparativa e de aplicação, nem sempre bem sucedidas. Tais análises levam em conta, em sua maioria, os objetivos de desempenho de um sistema produtivo (Slack *et. al.*, 1996): qualidade, rapidez, confiabilidade, flexibilidade e custo.

Iremos, neste trabalho, tratar como foco de nossa análise o custo como fator relevante para uma análise comparativa entre a técnica do Lote Econômico de Compra (LEC) e uma das bases do sucesso do “modelo japonês de organização industrial”, o Just-In-Time (JIT). Pretende-se, com isso, apresentar uma contribuição teórica a uma nova técnica de gerenciamento e, ainda, incentivar o seu estudo de forma sistemática e com o rigor acadêmico que merece.

A compreensão do embasamento teórico que envolve os modelos matemáticos tratados aqui apenas é imediata para aqueles que, de alguma forma, já tenham contato com os dois modelos em estudo. Por isso, e levando-se em conta ainda a diferença cronológica de surgimento de tais modelos, apresentaremos de início uma contextualização e uma apresentação teórica sucinta do LEC e do JIT.

I - O LOTE ECONÔMICO DE COMPRA (LEC)

O conceito de Quantidade Econômica de Encomenda (de acordo com a nomenclatura consagrada, Lote Econômico de Compra - LEC) foi inicialmente proposto separadamente por Ford Harris e R. H. Wilson em 1915. Ele fazia referência a um conflito de interesses existente entre os setores financeiro e de produção de uma organização quanto à dimensão em que se devia estabelecer os lotes de produção dessa organização (Schonberger, 1984). O que se propôs para a eficaz resolução do conflito foi a utilização de um lote de tamanho “economicamente correto” que atendesse a ambos os interesses, quais sejam: tamanhos de lotes que não acarretassem excessivas despesas de manutenção (interesse financeiro), mas que também não levassem a volumosas despesas com preparação do maquinário para a produção (interesse produtivo).

Embora o surgimento da idéia do Lote Econômico tenha se dado no âmbito da Produção (definição de lotes de produção), o conceito se estendeu para a administração dos estoques de matéria-prima, originando o LEC, enfoque deste trabalho.

De uma maneira geral, os modelos LEC determinam matematicamente qual o tamanho e a frequência dos lotes de compra que minimizam o funcional objetivo custos anuais de estoque. Tipicamente esses custos têm sido tratados e analisados na literatura categorizando-os da seguinte maneira: Custo Total de Compras, Custo Total de Manutenção e Custo Total de Pedido do Estoque (Morse e Roth, 1986; Slack *et. al.*, 1996).

O Custo Total de Compras diz respeito ao desembolso financeiro observado anualmente advindo dos itens adquiridos. Algumas referências, tipicamente as inseridas no contexto de Contabilidade de Custos, não levam tal Custo de Compras em consideração no momento da formulação do modelo matemático de representação do LEC (Morse e Roth, 1986; Usry *et. al.*, 1988).

Entretanto, em estudos mais recentes (Fazel, 1997, 1998; Schniederjans e Cao, 2000, 2001), autores têm reiterado a inclusão dessa parcela de custos, com o propósito de formular modelos que retratem de forma mais consistente a realidade dos estoques.

O Custo Total de Manutenção, de uma forma genérica, abrange os custos anuais incorridos para ter os itens, em sua integridade, no estoque. São expressos sob a forma de uma porcentagem do investimento médio em estoque. Englobam não somente os gastos com a armazenagem física dos itens, bem como aqueles relativos a custo de oportunidade e eventuais custos potenciais de obsolescência e de deterioração de tais itens (Usry *et. al.*, 1988; Slack, *et. al.*, 1996).

Tais custos de oportunidade têm sido retratados nos modelos sob a forma de taxa interna de retorno, calculada com base em um estoque médio de itens. Desembolsos relativos à obsolescência e à deterioração dos itens podem ser expressos sob a forma de uma taxa, estimação esta justificada apenas quando da relevância desses componentes relativamente ao Custo Total de Manutenção (Morse e Roth, 1986).

O Custo Total de Pedido representa o desembolso incorrido no processamento das requisições dos itens, desde a preparação dos pedidos, passando pelos descontos apresentados no preço de compra, até a manutenção de toda a documentação envolvida. Dessa documentação fazem

parte todos os registros necessários realizados ao longo do processo de requisição, como registros de recebimento, compra e “vouchers”.

O componente de maior peso dentro desses custos, no entanto, é o salário do pessoal envolvido no processo de requisições, pois diz respeito não somente à quase totalidade dos gastos necessários à manutenção da atividade, relativamente ao Custo de Manutenção, mas também por apresentar uma característica variável nas grandes organizações e fixa nas pequenas (Morse e Roth, 1986).

Assim, pelo exposto, informações referentes aos Custos Totais de Compra, Manutenção e Pedidos de Estoques são fundamentais na formulação do modelo LEC. Embora essas informações estejam, eventualmente, disponíveis para uso, não estão na forma requerida pelo modelo, pois se apresentam sob a forma de projeções e orçamentos dos setores de compras e marketing.

No entanto, de acordo com Usry *et. al.* (1988), técnicas estatísticas, tais como Análise de Regressão e Análise Diferencial de Custos, podem ser utilizadas para melhor estimar a natureza e a dimensão dos custos envolvidos no modelo LEC. Estas técnicas formulam, a partir de uma base de dados históricos, modelos explicativos do comportamento de tais custos, possibilitando aproximações e previsões.

Uma outra forma de analisar o comportamento das categorias de Custos de Estoque é a representação gráfica. Deixando-se de lado a formulação matemática não tão imediata das técnicas estatísticas, essa simples análise gráfica será capaz de nos elucidar uma característica fundamental do modelo LEC: sua sensibilidade. Segundo Schonberger (1984), a forma gráfica que expressa o comportamento dos custos de manutenção (CM) e pedidos (CP) está representada na Figura 1.

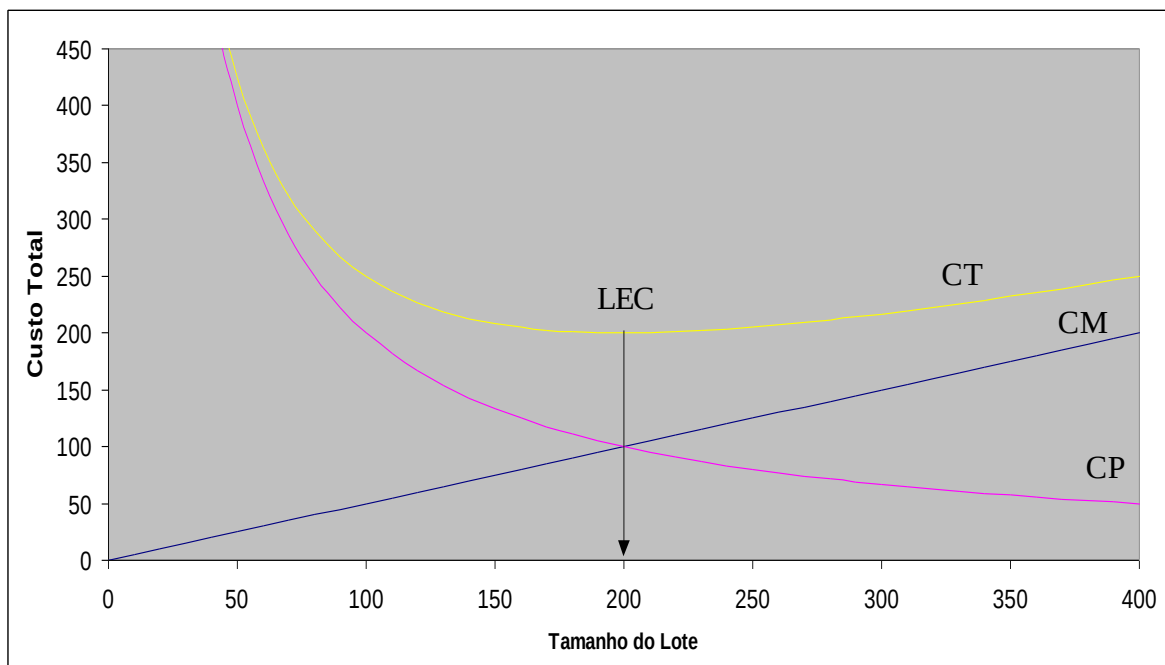


Figura 1. Representação gráfica dos custos de estoque no modelo LEC (Slack *et. al.*, 1996)

Ela apresenta, além das curvas do custo de manutenção e pedidos, a curva total dos custos de estoques, resultante da soma daquelas duas. Essa curva total, conforme vemos na figura, apresenta uma característica de sensibilidade muito peculiar. Dessa forma, apesar de existir apenas um valor singular que minimize os custos totais de estoque (LEC, na figura), qualquer desvio consideravelmente pequeno não nos traz prejuízo maior em termos de custo.

Essa sensibilidade vem reiterar, ainda que com a existência de erros de mensuração e predição dos custos, o uso do modelo LEC em determinados casos, sem prejuízos significativos (Morse e Roth, 1986).

O modelo LEC apresentado tem, na literatura da Engenharia de Produção e de Contabilidade de Custos, um lugar clássico didaticamente falando, apesar das suas limitações de uso. No entanto, apesar do seu poder de sintetização e análise de problemas relativos a quantidades de lotes, esse modelo tem sido alvo de inúmeras críticas. Essas críticas e os pressupostos mais limitadores são (Slack, *et. al.*, 1996; Morse e Roth, 1986; Fazel, 1997; Schniederjans e Cao, 2001)

- Demanda nem sempre conhecida;
- “lead time” incerto;
- desconhecimento de alguns custos de manutenção e de pedidos;
- modelo não aplicável diretamente à produção contínua;
- subestimação dos custos de manutenção.

II – A TÉCNICA DE GERENCIAMENTO “JUST-IN-TIME” (JIT)

A técnica de gerenciamento “Just-In-Time” (JIT) é nada mais do que a tradução estilizada de um conjunto de políticas-padrão das práticas desenvolvidas no Japão pela Toyota Motor Company desde a década de 40, práticas estas tão bem sucedidas que permitiram a Toyota escapar da crise que assolou a economia japonesa em 1973, com o choque do petróleo, passando a ser utilizadas por diversas firmas nipônicas. Estas, por sua vez, vieram a surpreender o Ocidente ao final da década de 70 e início da década de 80 justamente pelas vantagens competitivas que o JIT lhes proporcionava (Ohno, 1997).

O JIT ganhou então uma notoriedade muito grande, despertando o interesse das mais diversas organizações, que buscavam divisar na prática o sucesso que notavam nas empresas concorrentes no mercado. Elas queriam estar diante das técnicas e métodos de trabalho que permitissem vantagem competitiva para quem os aplicasse. Dessa forma, o chamado Sistema Toyota de Produção difundiu-se rapidamente (Ouchi, 1982).

De acordo com Ohno (1997), os pilares de sustentação deste sistema são o “Just-In-Time” e a Autonomia, não tratada aqui.

Detendo-nos apenas ao JIT, uma idéia geral, mas bastante elucidativa deste conceito é a de que se ele é realizado em toda a empresa então inventários desnecessários na fábrica são completamente eliminados, tornando almoxarifado e depósitos desnecessários. O custo de manter estoques é reduzido e a rotatividade do capital de giro aumentada (Monden, 1984).

Em um ambiente “Just-In-Time”, focando-se a linha de produção da entrada para a saída, um processo posterior vai até um processo anterior a fim de retirar mercadorias necessárias, quando e na quantidade necessária. O processo anterior produz, então, essa quantidade retirada pelo processo posterior, trazendo de novo o fluxo produtivo para o seu equilíbrio.

Neste caso, quando o processo posterior vai ao processo anterior para a retirada, eles estão conectados pela informação de retirada ou de movimentação. Estas informações estão fisicamente presentes na forma de cartões de identificação chamados “kanban”. De acordo com Ohno (1997), o “kanban” é o método que traduz as políticas e os objetivos do JIT para o nível operacional, tendo as seguintes funções:

- Fornecer informação sobre apanhar ou transportar;
- fornecer informação sobre a produção;
- impedir a superprodução e o transporte excessivo;
- servir como uma ordem de fabricação afixada às mercadorias;
- impedir produtos defeituosos pela identificação do processo que os produz;
- revelar problemas existentes e manter o controle de estoques.

Para que se possa atingir plenamente os seus objetivos descritos acima, os “kanbans” devem ser projetados e analisados seguindo-se as seguintes regras de utilização (Ohno, 1997):

- O processo subsequente apanha o número de itens indicado pelo “kanban” no processo precedente;
- o processo inicial produz itens na quantidade e sequência indicadas pelo “kanban”;
- nenhum item é produzido ou transportado sem um “kanban”;
- serve para afixar um “kanban” às mercadorias;
- produtos defeituosos não são enviados para o processo seguinte. O resultado é mercadorias 100% livres de defeitos;
- reduzir o número de “kanbans” aumenta sua sensibilidade aos problemas.

Segundo Shingo (1996), a redução de custos pela total eliminação de desperdícios está na raiz do Sistema Toyota de Produção, tendo no JIT um sustentáculo poderoso. Pensando-se contabilmente, podemos tratar esse objetivo de uma forma não convencional, denominando-o de uma “subtração dos custos”. Ele está baseado na convicção de que

$$\text{Preço de Venda} - \text{Custo} = \text{Lucro}$$

Dessa forma, segundo Shingo (1996), não podemos mais contentar-nos com a equação tradicional

$$\text{Custo} + \text{Lucro} = \text{Preço de Venda}$$

As razões que justificam a mudança de perspectiva são imediatas. Uma empresa simplesmente não consegue gerar lucro a não ser que os desperdícios sejam eliminados. Assim, em termos de processo, a eliminação absoluta de perdas significa a eliminação de estoques, e esse é o nosso enfoque (Shingo, 1996).

Segundo Shingo (1996) o JIT é visto então como um meio de eliminação de estoques, ou seja, um meio de eliminação de perdas por superprodução. Assim, JIT significa produzir o necessário, quando necessário, na quantidade necessária. Isso, por sua vez, exige:

- Maior sincronização da produção através de sistemas de controle total do trabalho;
- métodos de fluxos de peças unitárias com o “layout” das máquinas baseado nos processos;
- “setups” de troca rápida de ferramentas para permitir produção em lotes os menores possíveis.

Dessa forma, reduz-se o nível de estoque, contribuindo-se não somente para a redução imediata dos custos, como para a perfeita compreensão do funcionamento da produção, através da identificação de desperdícios (Ohno, 1997).

III – OS MODELOS DE CUSTOS DE ESTOQUE

A formulação matemática das abordagens de custo de estoques levam em consideração todo o contexto em que as técnicas de mensuração desses custos se fazem presentes. Nesse sentido, as razões para a inclusão de determinada categoria ou a eliminação de outra do modelo se encontram na forma e na acuidade com que as abordagens são utilizadas.

Fazel (1997, 1998) apresentou uma abordagem bastante generalista, mas muito elucidativa. Tal abordagem foi extendida e criticada por Schniederjans e Cao (2000, 2001). Iremos apresentar essa abordagem de uma forma direta e auto-explicativa, para em seguida apresentarmos as considerações referentes ao poder e à relevância de tal modelo.

Segundo Fazel (1997), os custos totais anuais de estoque em um ambiente LEC são dados por

$$TC_E = \frac{kD}{Q} + \frac{Qh}{2} + P_E D \quad (1)$$

onde TC_E são os custos totais anuais de estoque em um ambiente LEC, k é o custo unitário de pedido, D é a demanda anual, Q é o tamanho do lote, h é o custo anual unitário de manutenção e P_E é o preço unitário de compra. Cada uma das parcelas da equação acima representa, respectivamente, os custos anuais de pedido, manutenção e compras.

O LEC estabelece que a dimensão dos lotes deve ser tal que minimize os custos totais de estoque. Nesse sentido, derivando-se a equação (1) e resolvendo para Q , temos o Lote Econômico de Compra Q^* (Fazel, 1997)

$$Q^* = \sqrt{\frac{2kD}{h}} \quad (2)$$

Retornando-se este valor na equação (1) encontramos então os custos totais de estoque sob a seguinte configuração

$$TC_E = \sqrt{2kDh} + P_E D \quad (3)$$

Esse modelo de custos de estoque sob LEC já se faz presente sob a forma de conhecimento estabelecido em livros; até em artigos mais recentes, autores apresentam um consenso quanto a essa forma de apresentação (Fazel, 1997; Schniederjans e Cao, 2001).

Entretanto, uma certa discussão se forma quanto à maneira de se modelar os “custos de estoque” em um ambiente JIT. Em virtude do objetivo constante de eliminar estoques do JIT, muitas são as possibilidades de estabelecer quão custosos podem ser os produtos e as operações sob tal configuração.

Apresentaremos a seguir o modelo desenvolvido por Schniederjans e Cao (2001) baseados no texto anterior de Fazel (1997). Eles criticam o modelo de Fazel por este apresentar apenas o componente custo de compras no ambiente JIT, desconsiderando outras vantagens em termos de custos advindas da prática do JIT.

Segundo Schniederjans e Cao (2001), os custos anuais totais de estoque em um ambiente JIT podem ser estendidos para incluir o custo de oportunidade da área de armazenagem “economizada” na planta, da seguinte forma

$$TC_J = P_J D - FN \quad (4)$$

onde, além das nomenclaturas já listadas, temos F como sendo o custo anual por unidade de área para manter a planta e N como a área total “economizada” na planta após a adoção do JIT.

A importância dessa inclusão do custo de oportunidade se apresentará de forma mais clara matematicamente nos moldes de um exemplo comparativo, objeto da seção IV. Entretanto, o simples fato de o “Just-In-Time” perseguir e ter como ideal a eliminação dos estoques já nos dá a idéia de quanto se pode deixar de desembolsar para manter um espaço físico, em detrimento de um maior preço de compra que possa ser, inicialmente, observado numa organização sob JIT.

Como forma de traçar e entender melhor o comportamento das duas abordagens sob as mais variadas ordens de grandeza da demanda anual estabelece-se uma nova variável Z como sendo a diferença entre os custos anuais totais de estoque sob LEC (equação (3)) e os custos anuais totais de estoque sob JIT (equação (4)) (Schniederjans e Cao, 2001). Logo, temos

$$Z = \sqrt{2kDh} - (P_J - P_E) D + FN \quad (5)$$

Ou, alternativamente,

$$Z = \sqrt{\frac{2kh}{P_E}} C - \left(\frac{P_J}{P_E} - 1\right) C + FN \quad (6)$$

onde $C = DP_E$, sendo que C representa o valor em dinheiro total correspondente à demanda anual D .

Podemos derivar da relação acima o exato nível de demanda onde, teoricamente, os custos totais de estoque das duas abordagens se igualam (ponto de equilíbrio), bastando, para tal, tomarmos o valor zero para Z na equação (6) e resolvê-la para D . Assim, chamando esse nível de demanda de D_{ind} , temos (Schniederjans e Cao, 2001)

$$D_{ind} = \frac{[(P_J - P_E)FN + kh] + \sqrt{2(P_J - P_E)FNkh + k^2 h^2}}{(P_J - P_E)^2} \quad (7)$$

Ou, alternativamente,

$$C_{ind} = \frac{\left[\left(\frac{P_J}{P_E} - 1\right)FN + \frac{kh}{P_E}\right] + \sqrt{2\left(\frac{P_J}{P_E^2} - \frac{1}{P_E}\right)FNkh + \frac{k^2 h^2}{P_E^2}}}{\left(\frac{P_J}{P_E} - 1\right)^2} \quad (8)$$

O exemplo ilustrativo da seção IV vai nos mostrar que, apesar do poder explicativo do modelo exposto, a simples aceitação matemática dos valores da equação acima pode levar a decisões erradas quanto à escolha entre as abordagens para se trabalhar. Nesse sentido, o texto de Fazel (1997) apresenta conclusões que, em determinados níveis de demanda, são favoráveis ao LEC, desconsiderando variáveis importantes como a área de armazenagem e o próprio conceito de inexistência de estoques para o JIT.

O modelo inicialmente apresentado por Fazel (1997) e posteriormente estendido por Schniederjans e Cao (2001) se completa com o estabelecimento de um preço máximo de compra a ser desembolsado em um ambiente JIT. Tal preço (P_{Jmax}) é facilmente encontrado no ponto de equilíbrio dos custos totais de estoques JIT e LEC, ou seja, tomando-se Z igual a zero na equação (5) e resolvendo-a para P_J , como segue

$$P_{Jmax} = \sqrt{\frac{2kh}{D}} + P_E + \frac{FN}{D} \quad (9)$$

Seguindo-se esta mesma metodologia podemos derivar ainda relações matemáticas para o valor da demanda (D_{max}) onde a diferença de custos de estoque entre o LEC e o JIT é maximizada, bastando para tal encontrarmos o

máximo da função dada pela equação (5) para D (Schniederjans e Cao, 2001). Assim,

$$D_{máx} = D_{ind} * \frac{kh}{2\{[(P_J - P_E)FN + kh] + \sqrt{2(P_J - P_E)FNkh + k^2h^2}\}} \quad (10)$$

O modelo representado pelas dez relações acima descreve comparativamente o comportamento dos custos de estoque entre ambientes LEC e JIT. Certamente esse modelo, principalmente com relação ao “Just-In-Time”, se mostra ainda bastante resumido e de uso limitado. Modelos que acrescentam outras categorias de custo específicas de manufaturas JIT podem ser encontrados nos textos de Schniederjans e Cao (2000, 2001).

Entretanto, um dos maiores méritos da aplicação da técnica “Just-In-Time” é a redução de custos diretos e indiretos relativos à existência de estoques para armazenagem de produtos, além do grande poder indicador de falhas, desperdícios e oportunidades de melhorias na manufatura (Ohno, 1997). Por essa razão decidimos apresentar neste trabalho esse modelo reduzido que mostre a importância do custo de oportunidade nas decisões de ressurgimento.

IV – UM EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO MODELO APRESENTADO

Uma forma eficiente de visualizar e comparar o comportamento dos custos de estoque LEC e JIT é a representação gráfica da diferença entre tais custos, dada pela equação (5). Analisando o comportamento dos valores dessa diferença (Z) para os mais variados valores de demanda anual (D) podemos identificar tanto graficamente como numericamente o comportamento de todas as variáveis que fazem parte do modelo (equações de (1) a (10)).

A fim de tornar mais elucidativa a discussão do modelo, apresentaremos inicialmente o exemplo numérico comparativo, objeto dessa seção, para depois nos determos na análise de cada ponto desse modelo. Para mantermos a consistência com as referências principais e reforçarmos as críticas a esses modelos, iremos apresentar um exemplo numérico inicialmente proposto por Fazel (1997) e, em seguida, estendido por Schniederjans e Cao (2001).

Considere-se uma organização que se encontra em um momento de decisão entre continuar sob um ambiente convencional de Lote Econômico de Compra ou adotar a técnica “Just-In-Time” para o gerenciamento de seus estoques. No exemplo original de Fazel (1997) temos os seguintes dados:

$P_E = R\$ 40,00$	$k = R\$ 500,00/\text{pedido}$
P_E – Preço Unitário de Compra (LEC)	k – Custo Unitário de Pedido
$h = R\$ 12,00$ (30% de P_E)	$P_J = R\$ 40,40$
h – Custo Unitário de Manutenção	P_J – Preço Unitário de Compra (JIT)

Tabela 1. Dados do exemplo comparativo (Fazel, 1997)

Em seguida, Fazel (1997) faz uso da relação de diferença entre custos de LEC e JIT (correspondente à equação (5) neste texto) para tomar as decisões quanto à escolha definitiva entre os dois modelos. O que se obtém é o seguinte gráfico apresentado na Figura 2 (Fazel, 1997).

Da análise desse gráfico, podemos observar que, em termos exclusivamente de custos, o JIT se mantém preferível até um nível de demanda em torno de 80.000 unidades ($Z > 0$). A partir de tal ponto, segundo o autor, o LEC se mostra mais favorável, pois daí em diante temos $Z < 0$. Fazel (1997) conclui então que o Lote Econômico de Compra se mostra competitivo para itens com alto nível de demanda anual. Assim poderíamos, segundo o autor, nos inclinar para uma decisão favorável ao LEC nesses altos níveis de demanda, confirmando o senso comum em relação a esta teoria.

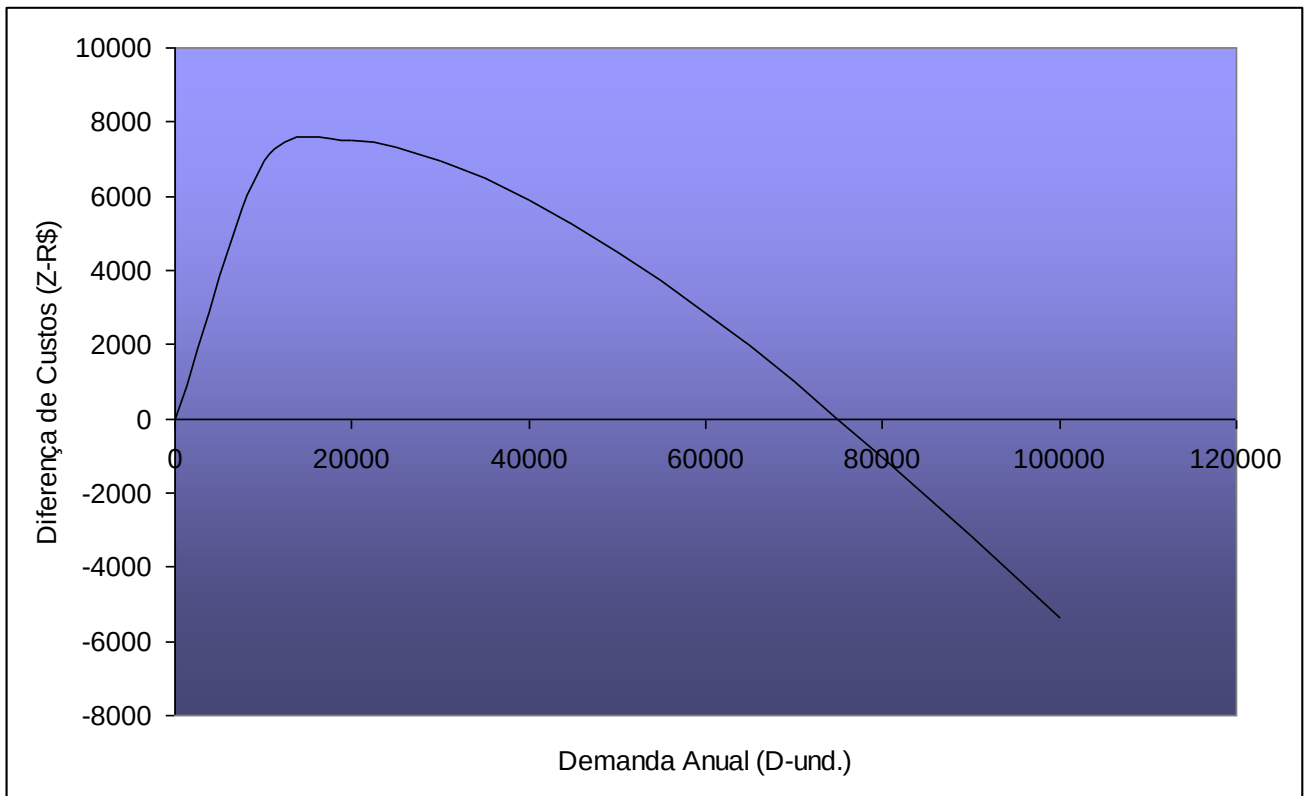


Figura 2. Comportamento dos Custos (Z) em função da Demanda (D) (Fazel, 1997)

Esta conclusão favorável ao LEC para itens de demanda anual alta despertou a atenção de autores que estudam e são simpatizantes do JIT. Nesse sentido, Schniederjans e Cao (2001) propuseram um estudo alternativo que englobasse categorias de custos outras que viessem a demonstrar, virtualmente, a preferência do JIT relativamente ao LEC em todos os níveis de demanda. No caso em questão, a categoria incluída foi o custo de oportunidade da área de estoque. Para evidenciar tal afirmação, estes autores tomaram o mesmo exemplo proposto inicialmente por Fazel (1997), acrescentando os valores de F e N . O resultado obtido está exposto na Figura 3. Convém observar atentamente que estes autores tomaram o cuidado de “estimar” quantidades para as grandezas F e N que correspondessem consideravelmente à realidade empresarial. Neste propósito, eles afirmam que tais valores foram tomados de forma muito conservadora.

Conforme observamos na figura 3, o nível de demanda em que se encontra o ponto de equilíbrio em termos de custo entre LEC e JIT é muito

superior ao obtido por Fazel (1997). Assim, teoricamente, o LEC ainda seria preferível ao JIT para uma demanda em torno de 1.600.000 unidades.

Porém, conforme afirmaram oportunamente Schniederjans e Cao (2001), uma planta que opere nesse nível de demanda em um ambiente LEC terá que ter entregas tão freqüentes que seu sistema de gerenciamento de estoques passará a funcionar como se fora JIT, embora oficialmente não o seja. Ou, de outra forma, a oportunidade de dispor de capital extra advindo de um aluguel do armazém, por exemplo, o convencerá a adotar o JIT, independentemente da acuidade dos dados matemáticos obtidos na análise. Em resumo, apesar de nesse nível de demanda o LEC ser matematicamente favorável, esta solução não se aplica ao problema.

Dessa forma é que podemos afirmar que, acrescentando-se o considerável custo de oportunidade da área física, o JIT se torna a técnica de gerenciamento de estoques preferível sob qualquer nível de demanda anual (Schniederjans e Cao, 2001). Os resultados obtidos matematicamente e graficamente neste artigo vêm reiterar a aplicação já há alguns anos no mundo empresarial não só de ambientes JIT, mas também pela exploração e estudo mais aprofundados do “modelo japonês de organização”.

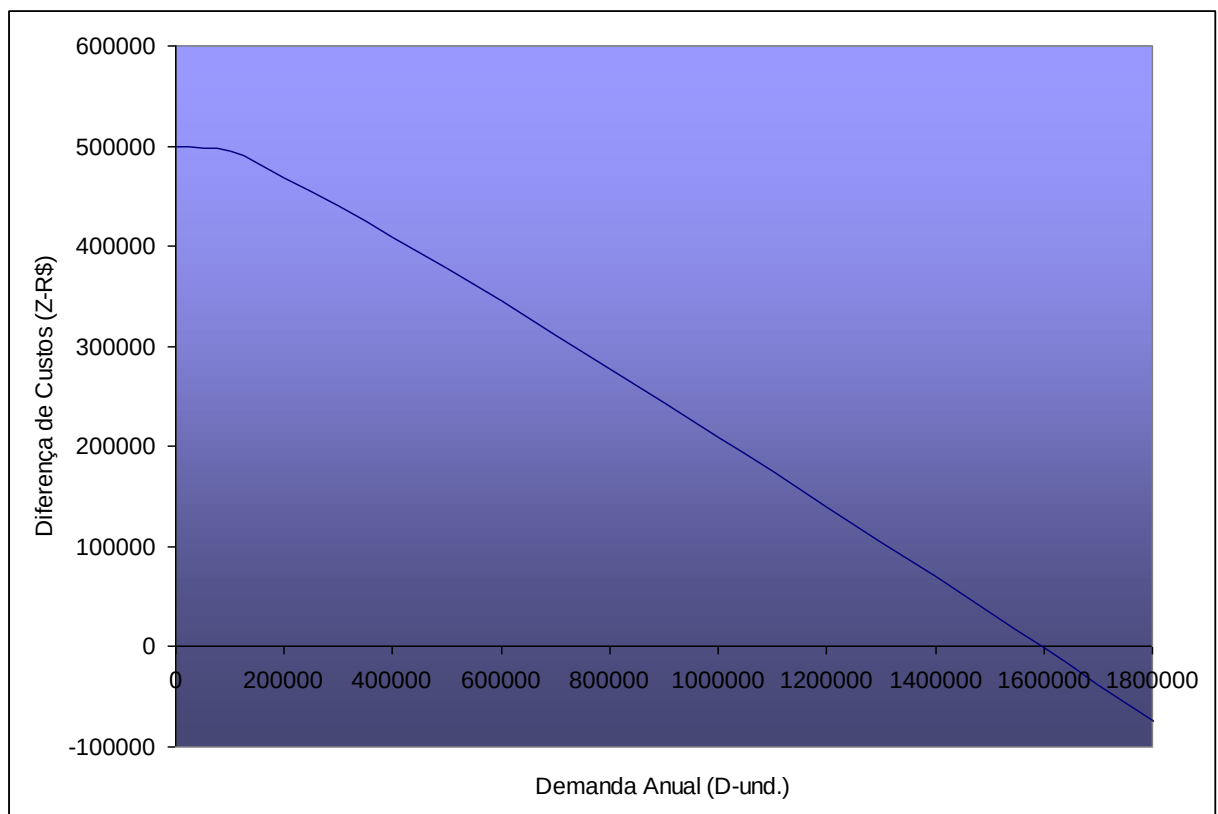


Figura 3. Comportamento dos Custos (Z) em função da Demanda (D) (Schniederjans e Cao, 2001)

A fim de melhor estabelecer a superioridade dos resultados obtidos pelo JIT neste exemplo, e no modelo de uma forma geral, apresentamos na Tabela 2 os valores para as variáveis de interesse dos modelos apresentados por Fazel (1997) e Schniederjans e Cao (2001), respectivamente sem e com o custo de oportunidade da área de armazenagem de estoques.

Fazel (1997)	Schniederjans e Cao(2001)
$D_{ind} = 75.000$	$D_{ind} = 1.595.974$
D_{ind} – Demanda correspondente à igualdade de custos entre JIT e LEC	
$C_{ind} = R\$ 3.000.000,00$	$C_{ind} = R\$ 63.838.963,00$
C_{ind} – Valor em dinheiro correspondente à igualdade de custos entre JIT e LEC	
$D_{max} = 18.750$	$D_{max} = 18.750$
D_{max} – Demanda correspondente à diferença máxima de custos entre LEC e JIT	
$P_{Jmax} = R\$ 40,39$	$P_{Jmax} = R\$ 40,39$
P_{Jmax} – Preço de compra aceitável para o JIT	
$Z_{max} = R\$ 7.500,00$	$Z_{max} = R\$ 507.500,00$
Z_{max} – Diferença máxima de custos entre JIT e LEC	

Tabela 2. Resultados comparativos dos modelos propostos

Podemos, de posse desses valores, estabelecer conclusões esclarecedoras quanto ao processo de decisão relativamente à escolha entre LEC e JIT. Essas conclusões levam em conta como fator determinante a análise de custos derivada do modelo apresentado, combinada com pressupostos básicos das teorias de Lote Econômico de Compra e “Just-In-Time”.

Conforme já observado anteriormente, o nível de demanda no ponto de equilíbrio entre LEC e JIT é bem superior no modelo que leva em conta o espaço físico. Assim, os níveis de demanda favoráveis ao LEC seriam tão altos que as entregas dos itens teriam que ocorrer, forçosamente, sob um pseudo-JIT.

Da mesma forma, conforme observamos na Tabela 2, o nível de demanda em que a diferença de custos é máxima é o mesmo para ambos os modelos. Entretanto, o valor para essa diferença é demasiado enorme, em torno de R\$ 500.000,00, mais uma vez favorecendo o modelo mais completo.

Diante dessas diferenças observadas na Tabela 2 vemos a força e o poder do modelo apresentado por Schniederjans e Cao (2001) para explicar os custos de estoques sob LEC e JIT, inicialmente proposto por Fazel (1997). O simples fato da inclusão dessa nova categoria de custos relativa à área física destinada aos estoques mostra, em termos de custos, a grande vantagem da abordagem japonesa sobre a tradicional para o gerenciamento de estoques.

V – CONCLUSÕES

Apresentamos nesse texto modelos explicativos do comportamento dos custos de estoque em ambientes de Lote Econômico de Compra (LEC) e “Just-In-Time” (JIT). Foram feitas extensões ao modelo inicialmente proposto na literatura para incluir um fator de fundamental importância na mensuração dos custos de armazenagem de estoques: a área física do mesmo.

Com a inclusão de tal fator pudemos analisar graficamente o comportamento favorável do JIT em relação ao LEC. Mais, comprovamos matematicamente através de um exemplo comparativo a superioridade da técnica japonesa em gerenciar estoques, mesmo sob valores de demanda onde inicialmente tenderíamos a embarcar no ambiente LEC.

Sob este contexto, apresentamos na pesquisa razões tanto meramente matemáticas quanto de âmbito da engenharia industrial favoráveis a

implantação da técnica “Just-In-Time”, em detrimento do LEC, virtualmente sob qualquer nível de demanda tanto nas empresas de manufatura quanto em organizações afins, reforçando o interesse pelo estudo e aplicação do “modelo japonês de organização”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FAZEL, F., FISCHER, K. P. & GILBERT, E. W. JIT purchasing vs. EOQ with a price discount: An analytical comparison of inventory costs. **International Journal of Production Economics**, 1998, v. 54, pp. 101-109.

FAZEL, F. A comparative analysis of inventory costs of JIT and EOQ purchasing. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, 1997, v. 27, n. 8, pp. 496-504.

MONDEN, Y. **Sistema Toyota de Produção**. São Paulo: IMAM, 1984.

MORSE, W. J. & ROTH, H. P. **Cost Accounting: Processing, Evaluating and Using Cost Data**. Reading: Addison-Wesley Publishing Company, 1986.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.

OUCHI, W. **Teoria Z: como as empresas podem enfrentar o desafio japonês**. São Paulo: Fundo Educativo Brasileiro, 1982.

SCHNIEDERJANS, M. J. & CAO, Q. A note on JIT purchasing vs. EOQ with a price discount: An expansion of inventory costs. **International Journal of Production Economics**, 2000, v. 65, pp. 289-294.

SCHNIEDERJANS, M. J. & CAO, Q. An alternative analysis of inventory costs of JIT and EOQ purchasing. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, 2001, v. 31, n. 2, pp. 109-123.

SCHONBERGER, R. J. **Técnicas industriais japonesas: nove lições ocultas sobre simplicidade**. São Paulo: Pioneira, 1984.

SHINGO, S. **Sistemas de Produção com Estoque Zero: o sistema Shingo para melhorias contínuas**. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SLACK, N., CHAMBERS, S., HARLAND, C., HARRISON, A. & JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 1996.

USRY, M. F., HAMMER, L. H. & MATZ, A. **Cost Accounting: Planning and Control**. Cincinnati: South-Western Publishing CO., 1988.