

Controle de estoque por revisão contínua e revisão periódica: uma análise comparativa utilizando simulação

Hobed Rosa^{a,*}, Sérgio Fernando Mayerle^b, Mirian Buss Gonçalves^c

^{a,*}obbdy@yahoo.com, UFSC, Brasil

^bmayerle@deps.ufsc.br, UFSC, Brasil

^cmirianbuss@deps.ufsc.br, UFSC, Brasil

Resumo

O estudo e a concepção de modelos de gestão de estoque, baseados na ideia básica de lote econômico de compra (LEC), continuam sendo áreas de interesse para pesquisa. Mais recentemente, tais pesquisas têm abordado a avaliação e a quantificação dos impactos desses modelos sobre a performance da cadeia de suprimentos. Nesse sentido, este trabalho investiga a importância, do ponto de vista de estoque médio e custo total, de se trabalhar com fornecedores que garantam prazos de entrega confiáveis quando o LEC é adotado como política de reposição. Utilizando simulação, duas sistemáticas (Q e P) de controle de estoque são comparadas para níveis distintos de dispersão do tempo médio de ressuprimento do fornecedor. Para tempos de ressuprimento inferiores ou próximos ao intervalo ótimo de pedido, a sistemática Q mostra-se vantajosa, enquanto para tempos maiores as duas sistemáticas praticamente se equivalem. Testes de hipótese são utilizados para análise dos resultados.

Palavras-chave

Controle de estoque. Lote econômico. Revisão contínua. Revisão periódica. Simulação.

1. Introdução

A escolha de um fornecedor é uma decisão que tem impactos diretos na performance de uma empresa, podendo influenciar significativamente seus indicadores de qualidade, custo e prazo. Em um mercado cada vez mais competitivo, ávido pela baixa relação preço-qualidade, uma decisão natural é a escolha daquele fornecedor que apresente baixo custo e garanta uma qualidade satisfatória mínima a seus produtos. Entretanto, outro critério igualmente importante está relacionado ao prazo de entrega do fornecedor escolhido. Nesse contexto, o tempo de ressuprimento (ou *lead time*) desse fornecedor e, principalmente, sua variação assumem papel fundamental frente à atual tendência de gerenciar a cadeia de suprimentos numa abordagem de busca pela eficiência e redução dos custos globais.

Normalmente, o tempo decorrido entre a colocação do pedido e a entrega do lote solicitado consiste da interação de algumas etapas: preparação

da ordem; processamento da ordem; atendimento da ordem; tempo de entrega (WU, 2000). O valor desse tempo de ressuprimento, bem como seu desvio padrão são variáveis relacionadas à quantidade de estoque de segurança que uma empresa deve manter visando suprir, a um dado nível de serviço, sua demanda e, principalmente, suas flutuações naturais. Em alguns casos, esse nível de serviço (mínimo) é estabelecido pelo próprio mercado, dado o tamanho da concorrência existente.

Nas atividades exercidas pela logística, estoques estão sempre presentes, respondendo por uma parcela (significativa) nos custos logísticos de uma empresa e, também, de um país (BALLOU, 1993; BOWERSOX; CLOSS, 2001; LIMA, 2006). A racionalização desses estoques passa pela coordenação da cadeia de suprimento (LAU; XIE; ZHAO, 2008), também como forma de reduzir tais custos (NOVAES, 2004). Como consequência, a diminuição proporcionada nos custos

logísticos poderá vir a se traduzir em aumento das margens e do lucro de uma empresa (FLEURY, 2000). Observando sob a ótica da produção e da saúde financeira da empresa, estoques são igualmente importantes. Processos produtivos pouco confiáveis, bem como aqueles mal gerenciados, acabam por gerar mais estoques, seja num mecanismo de precaução a eventos inesperados, seja como resultado da ineficiência administrativa dos recursos materiais existentes em todo o ambiente produtivo. Estoques, portanto, são de grande importância, tanto para a logística quanto para a produção.

Naturalmente, estoques representam capital imobilizado, o qual pode ser bastante significativo dependendo do ramo de atuação da empresa (SLACK et al., 1997). Gaither e Frazier (2001), ao discutirem a importância dos custos associados aos estoques, argumentam que eles podem parecer indiretos, difusos ou irrelevantes, entretanto, apontam que sua redução pode ser crucial para competir em mercados mundiais.

Na logística e na produção a existência dos estoques é suportada por diversos fatores: permitem economias de escala na compra e no transporte; amortecem as incertezas da demanda e do tempo de ressuprimento (BALLOU, 1993); permitem uma produção uniforme (TUBINO, 2000); garantem disponibilidade (WILD, 2002); minimizam perdas com *stockout* – ruptura de estoque (GAITHER; FRAZIER, 2001); e podem, ainda, ser usados com um viés especulativo (CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A., 2005). Mas, principalmente, estoques são necessários porque há uma incompatibilidade intrínseca entre demanda e oferta (SLACK et al., 1997; BERTAGLIA, 2003).

Diante da necessidade de sua existência e considerando sua importância, tanto estratégica quanto financeira, diversas técnicas e filosofias de trabalho abordam a questão da melhor gestão dos estoques. Uma das primeiras e mais tradicionais formas de trabalhar essa relação de *trade off*, do ponto de vista da minimização de custos, é a utilização do lote econômico de compra (LEC) ou *Economic Order Quantity* (EOQ). Embora outras técnicas (ou filosofias), como o *Just-in-time* (JIT), terem se consolidado e, atualmente, subsidiarem grande parte das ações voltadas à redução dos desperdícios – entre eles, o de estoque (SHINGO, 1996) –, o estudo, a concepção e o aprimoramento de modelos de controle de estoque ainda continuam um campo fértil. Tal desenvolvimento tem se utilizado de outras ferramentas, como a simulação, por exemplo, para a identificação de estratégias ótimas na gestão de estoques. Agora, não só de maneira restrita às fronteiras da empresa, mas, mais recentemente, no âmbito da cadeia de suprimento.

Nessa perspectiva, este artigo enfoca a questão da gestão de estoques considerando a utilização do LEC e dos modelos de revisão contínua e revisão periódica, aplicados à administração de um único item. Assumindo variações no tempo médio de ressuprimento do item pelo fornecedor e uma demanda que flutua aleatoriamente segundo uma distribuição normal, emprega-se uma estratégia de simulação na comparação desses dois modelos. Na seção 2, é apresentada uma breve revisão acerca do LEC, dos modelos de revisão contínua e revisão periódica e sobre estoque de segurança. Em seguida, o problema é descrito e modelado. A dinâmica da simulação é abordada na seção 4. Na seção seguinte, as situações estudadas são apresentadas e justificadas. Os resultados obtidos e as análises pertinentes estão contidos na seção 6. Por fim, algumas considerações e as conclusões são apresentadas.

2. Revisão da literatura

A abordagem do LEC, proposta no trabalho de Ford Whitman Harris, obtém a quantidade ótima a ser solicitada como função dos custos de manutenção do estoque e de realização de um pedido. Admitindo hipóteses de demanda anual (D) constante, e conhecidos o custo fixo de pedido (K), a taxa de encargos sobre o estoque (i) e o custo unitário do produto (C), chega-se à Equação 1 (HARRIS, 1913):

$$Q^* = \sqrt{\frac{2KD}{iC}} \quad (1)$$

onde Q^* é a quantidade ótima a ser solicitada para a qual os custos de manutenção dos itens e colocação de pedidos se equivalem. Na Equação 1 admite-se um processo contínuo no tempo, com tempo de ressuprimento nulo, sendo desconsideradas restrições de armazenagem e faltas de produto.

À parte das questões de autoria e originalidade do modelo, conforme discutido em Roach (2005), o LEC foi sempre sujeito a críticas devido às suas limitações, advindas, essencialmente, das suposições adotadas. Wild (2002), analisando na perspectiva de sua utilização prática, argumenta que o modelo resulta em um nível de estoque geralmente muito elevado, devendo ser utilizado somente quando não há outra alternativa. Outros autores argumentam que o LEC enfoca exclusivamente a redução de custo e não a redução do nível dos estoques, como almejado na filosofia JIT. Nessa linha, Fazel, Fischer e Gilbert (1998) propõem um modelo matemático para comparar o custo total de um sistema submetido ao LEC e ao JIT, tentando definir quando se torna vantajoso optar por uma ou outra estratégia. Ao revisar tal modelo, contemplando as reduções de custos anuais proporcionadas pelo

JIT (redução com eliminação de espaço, produto em processo, produto acabado), Schniederjans e Cao (2000, 2001) verificaram que na maioria das vezes é preferível utilizar o sistema JIT. Schonberger (1992), do ponto de vista da fábrica, diz que os custos de manter o estoque e preparar o equipamento constituem apenas despesas óbvias, devendo também ser considerado outros fatores, tais como: qualidade dos produtos, motivação dos trabalhadores e refugos, pois todos esses são influenciados pelo tamanho do lote fabricado.

Independente das críticas, de uma breve revisão à literatura, considerando as inúmeras variações que o modelo sofreu desde sua concepção, torna-se inegável a contribuição que a abordagem do LEC trouxe às discussões, no campo teórico e prático, acerca do gerenciamento do *trade off* existente nos estoques. Algumas extensões bastante conhecidas são obtidas quando se relaxa a condição de não existência de faltas, ou quando há desconto sobre a quantidade comprada ou, ainda, quando a taxa de produção não é infinitamente maior que a taxa de consumo. Ver, por exemplo, Naddor (1966) ou Buffa (1968) para mais detalhes sobre outros modelos ótimos derivados do modelo clássico. Outras variações oriundas, basicamente, de modificações nas hipóteses assumidas no LEC caminham na direção de aproximar e/ou particularizar o modelo às condições vivenciadas na prática.

Nesse sentido, Weiss (1982) adaptou o modelo de Harris (1913) considerando o custo de manutenção como uma função não linear do tempo, em que o valor dos itens decresce à medida que permanecem em estoque. Ferguson, Jayaraman e Souza (2007) aplicaram esse modelo à administração de estoques perecíveis, tais como leite, frutas e vegetais. Chiu (1995) desenvolveu um modelo heurístico de revisão periódica para itens perecíveis assumindo a existência de tempo de ressuprimento e custo associado ao descarte dos itens perdidos. Moon e Lee (2000) estenderam pesquisas anteriores na incorporação do conceito do valor do dinheiro no tempo ao modelo do LEC, considerando ainda o efeito da inflação. Horowitz (2000) considerou não só a inflação, mas também o impacto das incertezas quanto ao seu valor futuro nas decisões sobre a gestão do estoque.

Abordagens probabilísticas e estocásticas acerca das hipóteses admitidas no modelo original foram contempladas em vários trabalhos. Hariga e Haouari (1999), por exemplo, apresentaram um modelo para quantificar o lote ótimo a ser pedido quando a capacidade do fornecedor não é determinística. Eles citam equipamentos não confiáveis, greves e a priorização de pedidos urgentes como fatores que influenciam a capacidade de entrega de um fornecedor. Utilizando simulação para três tipos de

distribuições de probabilidade para essa capacidade, os autores observaram que negligenciar o lote ótimo por eles determinado em favor da utilização do LEC produz diferenças praticamente insignificantes nos custos. Eroglu e Ozdemir (2007), estendendo estudos anteriores, apresentam um modelo para determinar o valor do LEC quando da existência de produtos defeituosos em cada lote produzido.

Mais recentemente e com maior frequência, a partir do amadurecimento do conceito de logística reversa, alguns trabalhos têm focado a questão da produção baseada na incorporação de itens reutilizáveis, bem como, a recuperação de itens usados. Ambos numa abordagem de quantidades/políticas ótimas (KOH et al., 2002; MAHADEVAN; PYKE; FLEISCHMANN, 2003; EL SAADANY; JABER, 2008).

Ao adotar o modelo do LEC como política de compra/produção, duas tradicionais abordagens relacionadas à maneira de controlar os itens em estoque são normalmente discutidas na literatura. A primeira consiste do modelo de revisão contínua, aqui identificado como sistemática Q, e a segunda, do modelo de revisão periódica, identificado como sistemática P. A seguir, é apresentada uma breve descrição desses modelos.

2.1. Sistemática Q

O modelo de revisão contínua dos estoques é encontrado sob vários nomes na literatura internacional: *continuous review model*, *reorder point policy*, (Q, r) ¹ *model*, *fixed order quantity system*, *two-bin system*, entre outros. Esse modelo consiste em estabelecer um nível fixo de reposição (r) que, ao ser atingido, dispara a emissão de um novo pedido de tamanho (Q) pré-definido. Esse nível r também é conhecido como Ponto de Pedido (PP). De acordo com Tubino (2000), a adoção da sistemática Q não está necessariamente vinculada ao uso do lote econômico. A quantidade Q pode ser definida, conforme Buffa (1968), segundo algum critério de interesse baseado na experiência prática ou aplicando-se o modelo de lote econômico apropriado para a situação em questão. Porém, torna-se evidentemente conveniente repor os estoques em quantidades econômicas.

O intervalo entre cada solicitação neste modelo normalmente é variável, podendo-se definir o momento de colocar o pedido junto ao fornecedor, isto é, o PP, pela Equação 2 (WU, 2000; TUBINO, 2000):

$$r = D_t \cdot t_r + Q_s \quad (2)$$

onde:

- D_t demanda média por unidade de tempo;
- t_r tempo médio de ressuprimento; e
- Q_s estoque de segurança.

¹ Fixed replenishment point (r) / Fixed replenishment quantity (Q).

Buffa (1968) discute que quando o tempo de ressuprimento é longo e a quantidade solicitada é somente suficiente para um tempo menor que t_r , então o ponto de pedido deve, além do estoque corrente, levar também em consideração o estoque pendente, isto é, aquele solicitado, mas ainda não entregue. Dessa forma, uma nova solicitação somente é emitida quando o saldo em estoque (corrente mais pendente) atingir o nível r . Quando o tempo de ressuprimento é curto, essa necessidade acaba sendo mascarada, dado que uma solicitação emitida é quase que prontamente atendida.

A adoção da sistemática Q implica em monitoramento contínuo do nível de estoque atual (BUFFA, 1968; RAO, 2003), verificando sua chegada ao PP. Novaes e Alvarenga (1994) apresentam um critério prático alternativo para renovação dos estoques em que a quantidade solicitada continua fixa e igual ao LEC. Admitindo-se que no início do processo exista um estoque inicial suficiente para manter a operação do sistema até a chegada do primeiro pedido, o critério opera da seguinte maneira:

- Considere o estoque inicial S_0 e uma quantidade ideal a ser pedida igual à Q^* . Faça um pedido inicial de tamanho Q^* e defina o nível de reposição $r \leftarrow S_0 - Q^*$;
- Quando o estoque corrente S atingir a condição $S \leq r$, realize um novo pedido Q^* e faça $r \leftarrow r - Q^*$;
- Ao chegar um pedido qualquer, atualize o nível do estoque e o nível de reposição fazendo: $S \leftarrow S + Q^*$ e $r \leftarrow r + Q^*$.

Utilizando o critério (a)-(c), o nível r não será necessariamente fixo, podendo flutuar de acordo com as quantidades que são solicitadas e recebidas. Tal critério pode ser utilizado igualmente para tempo de ressuprimento longo ou bem reduzido.

2.2. Sistemática P

O modelo de revisão periódica também pode ser encontrado com vários nomes na literatura: *periodic review model*, *periodic order model*, $(R, T)^2$ *model*, *fixed reorder cycle system*, entre outros. Em suma, esse modelo consiste em definir um intervalo ótimo (I_p) entre cada solicitação. A quantidade solicitada a cada novo pedido varia de acordo com o consumo no período anterior (BUFFA, 1968). Portanto, normalmente, a quantidade solicitada é diferente da quantidade ótima, devendo ser suficiente para cobrir a demanda durante o intervalo considerado (SLACK et al., 1997).

A principal vantagem da sistemática P é a flexibilidade na determinação da periodicidade a

ser empregada. De acordo com Novaes e Alvarenga (1994), as revisões são feitas a intervalos fixos, eliminando a necessidade de controle contínuo sobre o nível atual do estoque, como requerido na sistemática Q. Sendo assim, o intervalo pode ser convenientemente escolhido de forma a fazer coincidir, numa mesma data, as emissões dos pedidos de vários produtos, facilitando o processo de aquisição e aproveitando eventuais descontos no transporte (NOVAES; ALVARENGA, 1994; TUBINO, 2000). Essa característica faz com que a sistemática P seja, segundo Novaes e Alvarenga (1994), mais empregada pelas empresas. Contudo, a escolha do intervalo mais conveniente pode seguir outro critério qualquer de interesse (TUBINO, 2000).

Naturalmente, a determinação do intervalo pode ser feita de forma a obter-se o intervalo ótimo que resultaria do emprego de algum dos modelos de lote econômico (BUFFA, 1968). O intervalo ótimo entre pedidos (ou intervalo econômico de pedido) pode ser escrito (Equação 3), para o caso do modelo clássico, como (GAITHER; FRAZIER, 2001):

$$I_p = \sqrt{\frac{2K}{DiC}} \quad (3)$$

ou, equivalentemente, pela Equação 4:

$$I_p = Q^*/D_t \quad (4)$$

O nível alvo máximo do estoque é dado, então, pela Equação 5 (BUFFA, 1968):

$$R = D_t \cdot (t_r + I_p) + Q_s \quad (5)$$

A quantidade (Q) solicitada em cada pedido, que levará o estoque ao nível R , deve levar em conta o saldo atual em estoque (Q_f). Portanto, define-se $Q = R - Q_f$. De acordo com Tubino (2000), para casos em que $I_p < t_r$ haverá quantidades solicitadas pendentes (Q_p) que deverão ser consideradas. Ainda, se demandas reprimidas (Q_r) devem ser atendidas assim que possível, então, pode-se escrever Q pela Equação 6 (TUBINO, 2000):

$$Q = D_t \cdot (t_r + I_p) - Q_f - Q_p + Q_r + Q_s \quad (6)$$

2.3. Estoque de segurança

Estoque de reserva, *buffer stock*, *safety stock* são denominações encontradas para se referir ao estoque de segurança. Além da função de cobrir as variações aleatórias intrínsecas à demanda e ao tempo de ressuprimento, o estoque de segurança atua nos momentos de falha no ressuprimento, no transporte, na comunicação, na produção, na previsão da demanda, entre outros (WILD, 2002; CHOPRA;

² Optimal review period length (T) / Optimal target inventory position (R).

MEINDL, 2003). Para Chopra e Meindl (2003), a quantidade adequada de estoque de segurança a ser mantida está vinculada à incerteza da demanda/suprimento e ao nível de serviço que se pretende oferecer ao cliente. Essa quantidade a ser mantida pode ser calculada pela Equação 7 (TUBINO, 2000):

$$Q_s = m \cdot \sigma \quad (7)$$

onde:

- m número de desvios padrões dado em função do nível de serviço pretendido; e
- σ desvio padrão da demanda durante o tempo médio de ressuprimento.

Consideraremos, neste estudo, que tanto a demanda pelo item em estoque quanto o tempo de ressuprimento do fornecedor comportam-se como variáveis aleatórias. Portanto, o desvio padrão σ pode ser obtido pela Equação 8 (FOOTE; KEBRIAEI; KUMIN, 1988; NOVAES; ALVARENGA, 1994):

$$\sigma = \sqrt{t_r \cdot \sigma_d^2 + D_i^2 \cdot \sigma_{t_r}^2} \quad (8)$$

onde:

- σ_{t_r} desvio padrão do tempo médio de ressuprimento; e
- σ_d desvio padrão da demanda por unidade de tempo.

A Equação 7, com σ dado por (8), pode ser aplicada, como forma de compensar as flutuações aleatórias da demanda e do tempo t_r , quando a sistemática de controle utilizada é a Q. Para a sistemática P, além dessas variações, deve-se considerar a demanda e sua variação aleatória no período entre um pedido qualquer e seu subsequente. Assim, σ pode ser calculado pela Equação 9 (NOVAES; ALVARENGA, 1994):

$$\sigma = \sqrt{(t_r + I_p) \cdot \sigma_d^2 + D_i^2 \cdot \sigma_{t_r}^2} \quad (9)$$

3. Descrição e modelagem do problema

Em Novaes e Alvarenga (1994), simulações são realizadas comparando, para um item em estoque e um valor de tempo de ressuprimento, as sistemáticas de controle Q e P. Os autores apontam que apesar da primeira sistemática conduzir a um estoque médio ligeiramente menor, por questões de praticidade as empresas acabam optando pela segunda alternativa, principalmente na existência de uma quantidade muito grande de itens a controlar (NOVAES; ALVARENGA, 1994). Mais recentemente Lau, Xie e Zhao (2008) estudaram, também por meio de simulação, a influência do compartilhamento da informação na performance de quatro modelos de controle de estoque (entre eles as sistemáticas Q e P) em uma cadeia de suprimento composta por quatro

varejistas e um fornecedor. Eles constataram que a utilização da sistemática Q proporcionou o menor custo para a cadeia, enquanto o compartilhamento de informações referente a pedidos futuros se mostrou o meio mais efetivo para melhorar o nível de serviço e reduzir o custo total. Numa linha um pouco diferente, Santoro e Freire (2008) comparam três modelos de estoque reativos, isto é, aqueles que não utilizam previsão da demanda na definição do tamanho do lote, e um ativo (que o faz) sob demandas com diferentes previsibilidades. Suas simulações sugerem vantagens no uso de modelos ativos.

Num momento em que se discute intensamente a importância de cada integrante de uma cadeia de suprimento, buscando-se a redução de custos e a melhor eficiência global (CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A., 2005), deve-se ter em mente que o não cumprimento de prazos é um fator que impacta diretamente nos níveis de serviço e estoque, influenciando, portanto, os custos de cada integrante. De acordo com Lau, Xie e Zhao (2008), várias pesquisas têm indicado que a boa performance da cadeia de suprimento é dependente de interações complexas de compartilhamento de informações, comprometimentos prévios de compra e políticas de estoque. A coordenação da cadeia é fator imperativo para reduzir os diversos estoques e aliviar os efeitos (como, por exemplo, o chamado *Bullwhip Effect* ou efeito chicote) quanto à incerteza da demanda (LAU; XIE; ZHAO, 2008). Ainda, coordenar e buscar reduzir os custos nos vários níveis da cadeia pode ser exigência mínima para atuar competitivamente em mercados globalizados (NOVAES, 2004).

Com a globalização e a consequente redução das distâncias entre empresa e consumidor, é comum que empresas possuam fornecedores sediados em outros continentes. Nesses casos, os tempos de ressuprimento podem tornar-se bastante significativos. Qualquer perturbação nas várias etapas existentes entre a solicitação e a entrega do lote pode fazer com que, na prática, o tempo de ressuprimento varie. Tais variações, aliadas às flutuações naturais da demanda, refletem-se, conforme (8) e (9), no tamanho do estoque de segurança que uma empresa deve manter se pretende oferecer certo nível de serviço a seus clientes. Nesse contexto, a escolha de uma sistemática de controle pode ser mais ou menos vantajosa do ponto de vista de estoque médio e custo total.

Neste trabalho o objetivo é contribuir nesse sentido, analisando o efeito produzido por variações no desvio padrão do tempo médio de ressuprimento (σ_{t_r}) de um fornecedor que abastece, com um único item, duas empresas que estão sujeitas às mesmas demandas diárias, mas que adotam políticas distintas para controle de seu estoque. Essa análise é realizada

para vários valores de tempo médio de ressuprimento e desvio padrão, tentando identificar quando se torna vantajoso, do ponto de vista de estoque médio e custo total, adotar uma das sistemáticas.

Uma quantidade significativa dos trabalhos que estendem o modelo de Harris (1913) ou que realizam simulações de modelos de estoque desconsidera o tempo de ressuprimento, ou assume que o mesmo é determinístico. Aqui, queremos comparar as sistemáticas Q e P sob a ótica do estoque médio e do custo final resultante sem fazer tais restrições. Para tanto, serão considerados os custos de pedido, de manutenção do estoque e de falta. Embora a falta seja indesejável, e o modelo de lote econômico analisado não a leve em consideração, deve-se ter em conta que, com a aleatoriedade da demanda e do processo de reposição, elas ocorrem em maior ou menor frequência em função dos níveis de serviço estabelecidos.

Na modelagem do problema, os seguintes pressupostos foram adotados:

1. A demanda é uma variável aleatória de distribuição normal com média e desvio padrão conhecidos;
2. O tempo de ressuprimento é uma variável aleatória de distribuição normal com média e desvio padrão conhecidos;
3. Toda quantidade solicitada é integralmente entregue de uma só vez;
4. Não há desconto sobre quantidades compradas;
5. Rupturas de estoque podem ocorrer. Nesse caso a demanda fica reprimida, sendo completamente atendida assim que possível. É aplicada uma penalização diária (custo da falta) sobre os itens em falta;
6. Não há restrição nas capacidades de fornecimento e armazenamento; e
7. Assume-se que se mantém registro da demanda diária com o objetivo de se conhecer seu desvio padrão diário.

Na prática, o conhecimento sobre o formato da distribuição do tempo de ressuprimento e da demanda durante este tempo costuma ser limitado. Nesses casos, a adoção de uma distribuição normal pode não garantir a proteção mais adequada quando da ocorrência de outra distribuição com mesma média e desvio padrão (MOON; GALLEGOS, 1994). Porém, neste estudo, justifica-se a suposição de uma distribuição normal na medida em que existe uma tendência de adotar tal formato quando informações mais precisas não estão disponíveis.

4. Dinâmica da simulação

Pesquisas e simulações anteriores apontam que a boa performance (qualitativa e quantitativa) da

cadeia depende de todos os elos integrantes; que o elo mais forte exerce papel determinante na gestão de toda a cadeia; e que na administração eficiente dessa cadeia é onde, atualmente, devem se concentrar os esforços na busca pela redução de custos e elevação do nível de serviço ao cliente (CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A., 2005; LAU; XIE; ZHAO, 2008). Neste trabalho queremos avaliar a importância do cumprimento de prazos de ressuprimento para a gestão dos estoques, a fim de compreender o impacto sobre as empresas sujeitas a estes atrasos.

O estudo consiste em simular, para um conjunto de dados teóricos, o comportamento das sistemáticas Q e P submetidas a distintos valores de desvio padrão do tempo médio de ressuprimento de um fornecedor. Para cada $\sigma_{t_i}^j$ ($i = 1, \dots, I$) distinto a ser testado, são geradas R repetições com N dias de operação a cada repetição r .

Em cada repetição, Q^* é calculado conforme (1), I_p por (4) e Q_s por (7), utilizando (8) e (9) para as sistemáticas Q e P, respectivamente. A simulação inicia com a realização de um pedido seguindo o critério (a)-(c), discutido na seção 2.1, para a sistemática Q, e a equação para a sistemática P. Como regra, todos os pedidos são realizados ao final do dia e os recebimentos ocorrem no início do dia. Para que o sistema não esteja sujeito a rupturas de estoque durante os primeiros dias, deve existir uma quantidade inicial mínima em estoque visando satisfazer a demanda até a chegada do primeiro pedido realizado. O cálculo dessa quantidade inicial mínima é realizado conforme as Equações 10 e 11, para as sistemáticas Q e P, respectivamente (NOVAES; ALVARENGA, 1994):

$$Q_{Inicial_Q} = D_t \cdot t_r + Q_s \quad (10)$$

$$Q_{Inicial_P} = D_t \cdot (t_r + I_p) + Q_s \quad (11)$$

A demanda d_n ($n = 1, \dots, N$) de cada dia é independente, assim como o tempo de ressuprimento p_j ($j = 1, 2, \dots$) de cada pedido, ambos sendo gerados aleatoriamente segundo uma distribuição normal com média e desvio padrão especificados. Esses valores são obtidos usando a forma polar da transformação de Box-Müller (BOX; MÜLLER, 1958).

Nas simulações, as demandas e os tempos de ressuprimento são números inteiros e positivos (valores positivos são assegurados ao se considerar desvios significativamente menores que a média). Sendo assim, os valores aleatoriamente gerados são truncados para o inteiro mais próximo. Ainda, as simulações não consideram explicitamente a ocorrência de *order crossover*, que consiste do

recebimento de pedidos em sequência diferente da qual foram realizados (RIEZEBOS, 2006; HAYYA; HARRISON; CHATFIELD, 2009). Entretanto, como cada pedido está associado a um tempo de ressuprimento obtido de forma aleatória, eventualmente, para simulações com $\sigma_{t_r}^i$ elevado, é possível que ocorra inversão na ordem de recebimentos de alguns pedidos.

Com o objetivo de eliminar os possíveis efeitos causados por uma eventual utilização de demandas diárias distintas, ao se avaliar as sistemáticas Q e P foram empregadas as mesmas séries de demanda geradas aleatoriamente em cada repetição para ambas as sistemáticas. Em contrapartida, o valor do tempo de ressuprimento p_j dos pedidos foi independente entre as sistemáticas em todas as repetições r de qualquer $\sigma_{t_r}^i$ simulado. A Figura 1 resume a dinâmica da simulação.

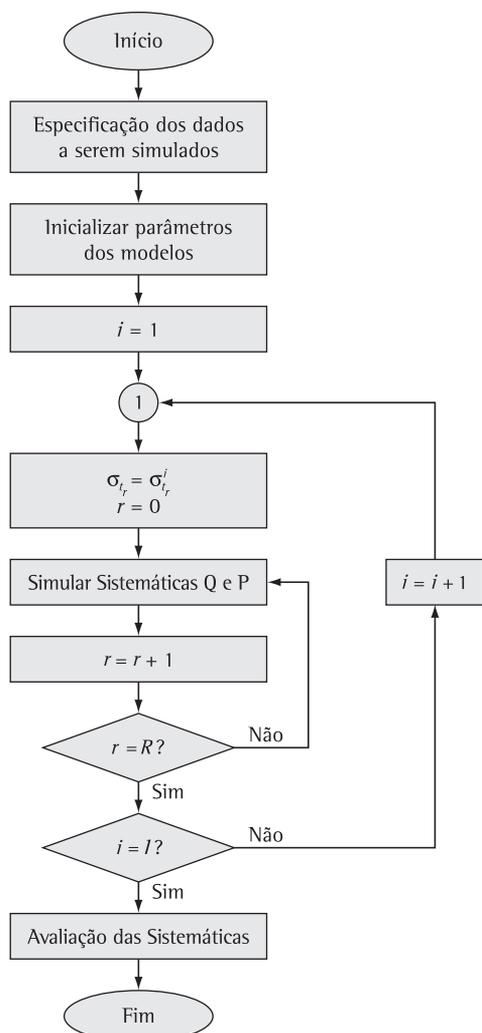


Figura 1. Esquema simplificado da simulação.

De forma simplificada, a estrutura simulada equivale à seguinte situação: duas empresas, rigorosamente sujeitas às mesmas demandas diárias por produtos idênticos, possuem formas distintas de controlar seu estoque; a primeira usa a sistemática Q, e a segunda, a P. Mantendo estoque de segurança, ambas procuram oferecer o mesmo nível de serviço aos seus clientes. Essas duas empresas são abastecidas por um mesmo fornecedor, que não consegue manter prazos de entrega confiáveis. Diante desta situação, as empresas desejam saber qual das duas formas de controle é mais vantajosa do ponto de vista de estoque médio e custo total. Esta análise é realizada para vários valores de tempo médio de ressuprimento e desvio padrão desse tempo.

5. Situações simuladas

Com o objetivo de simular o comportamento das sistemáticas Q e P, submetidas a diferentes valores de tempo médio de ressuprimento de um fornecedor, três situações são consideradas neste trabalho: $t_r < I_p$, $t_r = I_p$ e $t_r > I_p$. Para cada situação, dez valores de σ_{t_r} foram escolhidos, de modo que os valores de tempo de ressuprimento (p_j) gerados aleatoriamente em cada repetição cobrissem, de forma aproximada, a faixa de ± 3 desvios padrões em relação ao valor teórico do tempo médio de ressuprimento (t_r) praticado pelo fornecedor. A Tabela 1 apresenta os dados gerais do problema, os quais resultam, aproximadamente, em um intervalo ideal de ressuprimento de 8 dias. Para o nível de serviço pretendido, foi utilizando m igual a 2,05.

A Tabela 2, por sua vez, apresenta os valores dos desvios padrões simulados para cada uma das três situações apontadas anteriormente.

Para cada situação e valor de σ_{t_r} apresentados na Tabela 2 foram realizadas 500 repetições ($R = 500$), cada uma representando o período de um ano de operação. Em cada repetição, as demandas diárias geradas foram igualmente submetidas às sistemáticas.

Tabela 1. Dados gerais especificados.

Dados gerais do problema	Valor
Demanda anual (D)	21,500 unidades
Desvio padrão da demanda diária (σ_d)	19,50 unidades
Dias úteis por ano	242 dias
Custo unitário produto (C)	71,50 \$
Custo unitário pedido (K)	155,00 \$
Taxa manutenção anual (i)	18%
Nível serviço	98%
Custo da falta (ao dia)	5%

Tabela 2. Desvios por situação simulada.

Desvio	Situações simuladas		
	$t_r < I_p$ $t_r = 3$ dias	$t_r = I_p$ $t_r = 8$ dias	$t_r > I_p$ $t_r = 27$ dias
$\sigma_{t_r}^1$	0,00	0,00	0,00
$\sigma_{t_r}^2$	0,05	0,10	1,00
$\sigma_{t_r}^3$	0,15	0,30	1,50
$\sigma_{t_r}^4$	0,20	0,50	2,00
$\sigma_{t_r}^5$	0,30	0,65	2,50
$\sigma_{t_r}^6$	0,45	0,80	3,00
$\sigma_{t_r}^7$	0,50	0,95	3,50
$\sigma_{t_r}^8$	0,55	1,10	4,00
$\sigma_{t_r}^9$	0,60	1,30	4,50
$\sigma_{t_r}^{10}$	0,65	1,50	5,00

6. Resultados e análises

Para comparação do desempenho das sistemáticas Q e P foram utilizados testes de hipótese, considerando os resultados obtidos nas simulações de cada situação e valor de σ_{t_r} conforme Tabela 2. Nesta análise as seguintes hipóteses são formuladas:

- H_0 : em média, as duas sistemáticas conduzem a estoques médios iguais; e
- H_1 : em média, a sistemática P conduz a estoques médios mais elevados;
- H'_0 : em média, as duas sistemáticas resultam em custos totais iguais; e
- H'_1 : em média, a sistemática P resulta em custos totais mais elevados.

Devido às características das simulações realizadas, foi adotado o Teste t para duas Amostras Independentes com o objetivo de verificar as hipóteses formuladas anteriormente. Para aplicação desse teste de hipótese recomenda-se que três suposições básicas devam ser verificadas para cada grupo de dados resultante das R repetições (BARBETTA; REIS; BORNIA, 2004):

- As observações em cada grupo de dados devem ser independentes, isto é, o valor de uma observação não está relacionado com o valor da outra;
- As variâncias populacionais devem ser iguais nos dois grupos de dados correspondentes às sistemáticas Q e P; e
- Os dois conjuntos de dados devem provir de distribuições normais.

A condição de independência pode ser garantida pela forma como o experimento de simulação foi realizado. A condição (b) pode ser verificada aplicando-se o Teste F para duas variâncias, e a condição (c), por sua vez, pode ser verificada com o Teste de Lilliefors (BARBETTA; REIS; BORNIA, 2004).

Acomparação, propriamente dita, do desempenho das sistemáticas está baseada na aplicação dos testes de hipótese sobre a média verificada em cada grupo de dados contendo 500 amostras (uma para cada repetição) de estoque médio (EM) e custo total (CT). Cada amostra de EM e CT foi obtida da média calculada em um intervalo consecutivo de 150 dias do período simulado. Visto que as sistemáticas possuem condições iniciais distintas, isto é, estoques iniciais diferentes, o intervalo considerado foi tomado somente a partir do 50º dia da simulação. Testes prévios mostraram que após os primeiros 50 dias de operação as condições iniciais deixam de ser relevantes às sistemáticas. Assim, são eliminados (ou atenuados) os possíveis efeitos das Equações 10 e 11.

A Figura 2 ilustra o processo de obtenção das amostras, onde x representa um número aleatório (entre 0 e 15) sorteado ao acaso a cada repetição para determinar o início propriamente dito do intervalo consecutivo de dias a ser tomado. Para cada repetição r foi tomado, portanto, um intervalo diferente de dias.

A Tabela 3 apresenta o resumo dos valores médios verificados em cada grupo de dados de EM e CT obtidos das amostras e submetidos aos testes $H_0 - H_1$ e $H'_0 - H'_1$. Os valores estão referenciados ao maior EM e CT médios verificados em cada situação.

Nas três situações consideradas, a sistemática Q resultou num menor nível de EM para todos os desvios simulados. Para $t_r < I_p$ essa diferença é de, aproximadamente, 18,4%, enquanto que para $t_r = I_p$ verifica-se, em média, 12% menos estoques quando comparado à situação em que a sistemática P é empregada. Já para a última situação, as duas sistemáticas resultam em EM relativamente próximo, em média, 4,9% inferior para a sistemática Q.

Com relação ao CT, análise semelhante é válida para os dados obtidos. A sistemática Q mostra-se mais vantajosa, principalmente, para as duas primeiras situações, em que os custos médios incorridos com a armazenagem, pedidos e faltas foram 10,4% e 7,2% menores, respectivamente. Para a terceira situação obteve-se CT, em média, 3,3% maior na sistemática P.

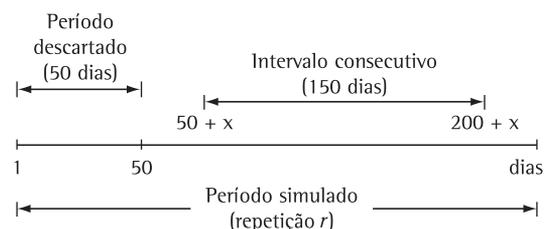


Figura 2. Intervalo de dias para obtenção das amostras de EM e CT.

Para as situações e valores de σ_{t_r} testados, todas as simulações sugerem que a sistemática Q é mais vantajosa, tanto em relação ao EM quanto ao CT. Desvios maiores no tempo de ressuprimento conduzem, como esperado, a estoques e custos mais elevados. Em geral, a sistemática Q resultou em, aproximadamente, 12% a menos de estoque e 7% a menos no custo total.

É importante observar a influência do estoque de segurança (ES) e da dinâmica, propriamente dita, de funcionamento das sistemáticas sobre esses resultados. A Tabela 4 apresenta a relação entre ES – calculado utilizando (7), (8) e (9) –, EM e CT para as sistemáticas P e Q em cada uma das situações e desvios estudados.

Para a primeira situação, a sistemática P requer, em média, conforme valores calculados, 58,7% a mais de ES, enquanto, segundo valores obtidos com as simulações, o EM resultante possui diferença menos significativa. Para tempo médio de ressuprimento igual ao intervalo entre pedidos, verifica-se comportamento semelhante à situação anterior. Entretanto, para a última situação não é significativa a diferença entre a relação do ES e do EM. A Figura 3 traz os gráficos que mostram a evolução dessas relações para os vários desvios e situações. À medida que desvios maiores e t_r mais elevados são considerados, menor é a diferença de ES e EM requerido pelas sistemáticas.

Com relação ao CT, a Figura 4 apresenta a evolução das relações de acordo com os desvios.

Tabela 3. Valores médios relativos do EM e do CT por situação e desvio.

Estoque médio e custo total por situação e desvio												
Desvio	$t_r = 3$ dias				$t_r = 8$ dias				$t_r = 27$ dias			
	EM		CT		EM		CT		EM		CT	
	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P
$\sigma_{t_r}^1$	76,4	93,1	84,9	95,3	69,2	79,0	79,3	86,1	44,2	49,1	56,5	60,2
$\sigma_{t_r}^2$	76,6	93,5	85,1	95,4	69,4	79,3	79,4	86,2	49,3	53,9	60,5	64,1
$\sigma_{t_r}^3$	77,2	93,6	85,5	95,5	70,4	80,6	80,1	87,1	54,6	57,9	64,9	67,4
$\sigma_{t_r}^4$	77,9	93,7	85,9	95,8	72,5	82,6	81,6	88,3	60,7	63,3	69,7	71,6
$\sigma_{t_r}^5$	79,4	94,6	87,0	96,3	74,7	84,2	83,1	89,4	67,9	68,9	75,3	76,0
$\sigma_{t_r}^6$	82,5	96,8	88,9	97,7	77,2	86,6	84,9	91,1	72,6	75,4	78,9	81,0
$\sigma_{t_r}^7$	83,7	97,2	89,7	97,9	80,7	89,5	87,1	92,9	78,1	81,3	83,0	85,6
$\sigma_{t_r}^8$	84,7	98,1	90,2	98,5	83,7	91,9	89,2	94,5	85,2	87,4	88,6	90,3
$\sigma_{t_r}^9$	86,0	99,5	91,0	99,3	87,6	95,7	91,9	97,1	90,8	94,0	92,9	95,4
$\sigma_{t_r}^{10}$	87,1	100,0	92,0	100,0	92,6	100,0	95,2	100,0	97,3	100,0	97,9	100,0

Tabela 4. Relação entre os valores de ES, EM e CT por situação e desvio.

Relação entre estoque de segurança, estoque médio e custo total por situação e desvio									
Desvio	$t_r = 3$ dias			$t_r = 8$ dias			$t_r = 27$ dias		
	ES_p/ES_0	EM_p/EM_0	CT_p/CT_0	ES_p/ES_0	EM_p/EM_0	CT_p/CT_0	ES_p/ES_0	EM_p/EM_0	CT_p/CT_0
$\sigma_{t_r}^1$	1,915	1,219	1,122	1,414	1,141	1,085	1,139	1,112	1,067
$\sigma_{t_r}^2$	1,903	1,221	1,121	1,405	1,143	1,085	1,081	1,092	1,059
$\sigma_{t_r}^3$	1,819	1,214	1,118	1,346	1,146	1,087	1,053	1,060	1,038
$\sigma_{t_r}^4$	1,757	1,203	1,115	1,267	1,139	1,082	1,036	1,042	1,027
$\sigma_{t_r}^5$	1,626	1,191	1,107	1,215	1,128	1,076	1,025	1,016	1,009
$\sigma_{t_r}^6$	1,453	1,173	1,099	1,173	1,121	1,073	1,019	1,039	1,027
$\sigma_{t_r}^7$	1,406	1,160	1,091	1,140	1,110	1,066	1,014	1,042	1,032
$\sigma_{t_r}^8$	1,365	1,158	1,092	1,114	1,099	1,059	1,011	1,027	1,020
$\sigma_{t_r}^9$	1,328	1,157	1,091	1,089	1,093	1,057	1,009	1,036	1,027
$\sigma_{t_r}^{10}$	1,296	1,148	1,087	1,071	1,080	1,050	1,007	1,028	1,022
Média	1,587	1,184	1,104	1,223	1,120	1,072	1,039	1,049	1,033

Apesar de, conforme a Tabela 3, desvios maiores acarretarem em CT mais elevados, as sistemáticas tendem, de modo geral, a proporcionar resultados cada vez mais próximos para desvios maiores. Quanto menor o valor t_r e o desvio associado, mais vantajosa torna-se a sistemática Q.

Para a última situação, apesar dos dois sistemas passarem a sofrer com penalizações (custo da falta) quando desvios maiores são considerados, a sistemática Q ainda resulta em menores custos.

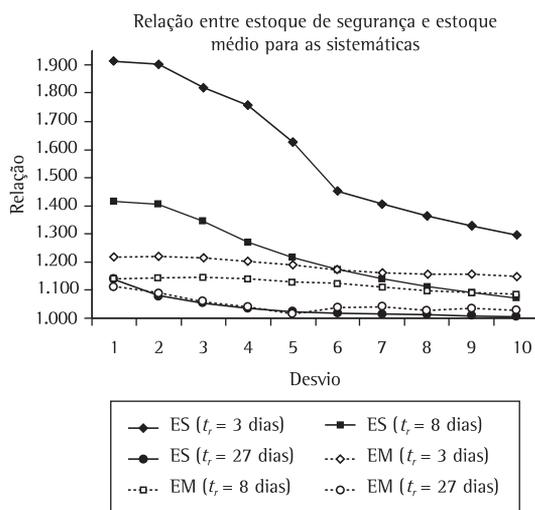


Figura 3. Gráficos da relação entre os valores de ES e EM por situação e desvio.

Essas conclusões obtidas são subsidiadas pelos resultados dos testes de hipótese aplicados a cada grupo de dados contendo as amostras de EM e CT resultantes das R repetições. Todos os testes aplicados rejeitaram, ao nível de significância de 5%, as hipóteses H_0 e H'_0 em favor das hipóteses H_1 e H'_1 . Com relação às suposições (b) e (c) para aplicação dos testes de hipótese, 84% dos grupos de amostras testadas indicaram aderência a uma distribuição normal, quando da aplicação do Teste de Lilliefors. Enquanto 34% das amostras de EM e CT indicaram igualdade de variância em Q e P quando submetidos ao Teste F com nível de significância de 2,5%.

Embora a suposição (b) não tenha sido verificada na maioria dos testes, uma análise geral sobre

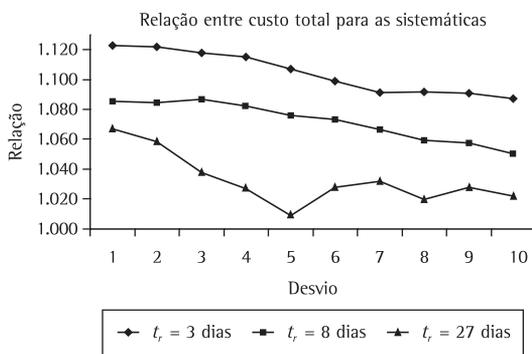


Figura 4. Gráficos da relação entre o CT por situação e desvio.

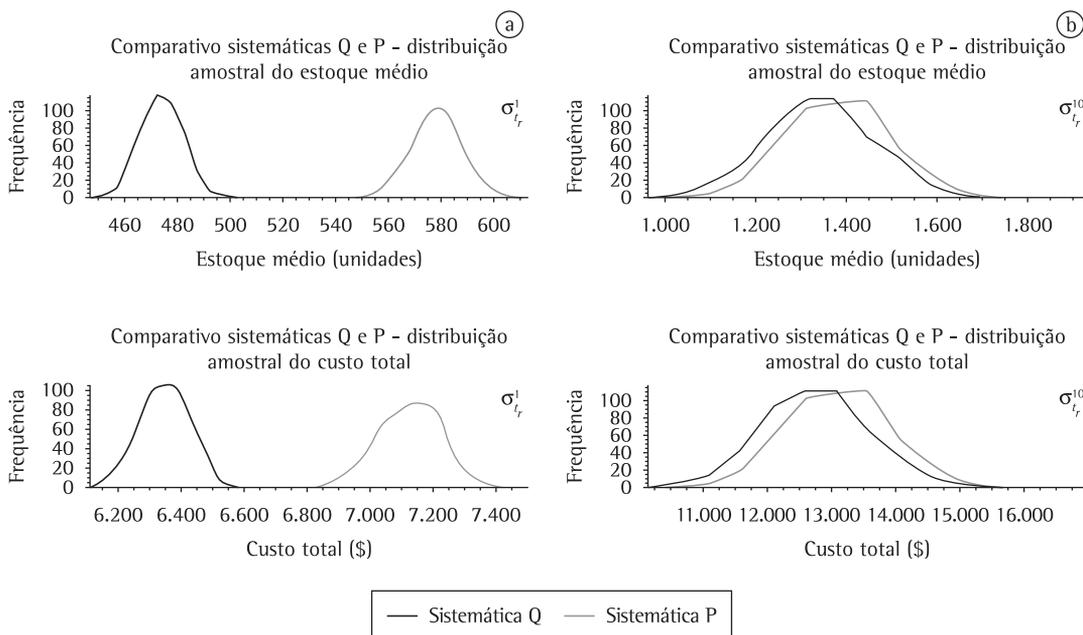


Figura 5. Distribuições de EM e CT.

os valores obtidos nas simulações aponta que a sistemática Q conduz a uma melhor relação do *trade off* falta-manutenção-pedidos. Conforme pode ser visto na Figura 5, essa vantagem é mais significativa quando se trabalha com $t_r \leq I_p$.

A Figura 5a apresenta a distribuição das 500 amostras de EM e CT tomadas das duas sistemáticas para a situação com $t_r = 3$ dias e desvio nulo. Já a Figura 5b traz a distribuição para a situação com $t_r = 27$ dias e desvio σ_r^{10} . As simulações indicam que, para condições de tempo médio de ressuprimento maior que o intervalo econômico de pedido, as duas sistemáticas conduzem a valores de EM e CT bastante semelhantes, independente do desvio que se considere.

7. Considerações e conclusões

Este trabalho apresenta resultados e análises acerca do efeito causado por variações no desvio padrão do tempo médio de ressuprimento de um fornecedor que abastece, com um único produto, duas empresas sujeitas às mesmas demandas diárias. Essas duas empresas mantêm estoque de segurança visando atender, com mesmo nível de serviço, seus clientes. Adotando políticas distintas para controle de seus estoques, elas desejam saber se a escolha de uma dessas políticas se traduz em vantagem significativa, do ponto de vista de estoque médio e custo total. São admitidos custos associados ao pedido, à falta e a manutenção dos itens em estoque.

Empregando simulação, as sistemáticas Q e P (revisão contínua e revisão periódica) são comparadas quando submetidas às mesmas séries de demanda diária e diferentes tempos médio de ressuprimento e desvio padrão desse valor. As análises mostraram que, sob as condições admitidas, a sistemática Q produz melhores resultados quanto a estoque médio e custo total. Esse resultado vai ao encontro do estudo de Novaes e Alvarenga (1994). De forma mais ampla, porém no mesmo sentido, Lau, Xie, Zhao (2008) obtiveram resultados que apontam na direção de custos menos elevados para toda a cadeia quando se opta por uma política de revisão contínua.

Diferentemente do que se poderia supor, mesmo empregando-se, por um lado, o lote econômico (sistemática Q) e, por outro, o intervalo econômico de pedido (sistemática P), as duas formas de controle não conduzem a resultados semelhantes. Todos os testes de hipótese realizados descartaram, ao nível de significância de 5%, a hipótese de as duas sistemáticas produzirem, em média, resultados iguais.

Parte da vantagem observada na sistemática Q deve-se ao menor nível de estoque de segurança que esta forma de revisão requer. Porém, conforme

resultados obtidos, à medida que desvios maiores relacionados ao tempo médio de ressuprimento são considerados, a importância do ES diminui, e as sistemáticas verificam ES mais próximos. Por outro lado, a dinâmica de operação dos modelos de revisão faz com que a diferença de EM nas sistemáticas não seja tão acentuada quanto o verificado para o ES. Desvios maiores diminuem ainda mais essa diferença.

Como resultado geral, quando o tempo médio de ressuprimento é curto (notoriamente, $t_r \leq I_p$) e o desvio padrão desse tempo é pequeno, há significativa vantagem em operar com o modelo de revisão contínua. Em contrapartida, à medida que o desvio cresce, os resultados (EM e CT) proporcionados pelas duas formas de operação tornam-se mais próximos, porém, ainda com ligeira vantagem para a sistemática Q. Por último, nas situações em que o tempo médio de ressuprimento é longo, torna-se praticamente equivalente optar por uma das sistemáticas, independentemente do desvio padrão que se verifique.

Dessa forma, embora os testes de hipótese tenham descartado as hipóteses nulas formuladas, a adoção da sistemática P em situações de elevado t_r e desvio padrão pode não representar desvantagem, pois, conforme exposto, o modelo de revisão periódica possui facilidades inerentes a sua operacionalização.

Em contrapartida, diante das vantagens proporcionadas pela adoção do modelo de revisão contínua para situações onde o desvio e o tempo médio de ressuprimento são pequenos, a decisão de qual modelo será utilizado pode tornar-se um diferencial na busca pela redução de custos. Se, anteriormente, o uso da revisão contínua era limitado devido às dificuldades intrínsecas de controlar continuamente diversos itens em estoque, atualmente essas dificuldades podem ser contornadas pela grande oferta de *softwares* que realizam tal tarefa e também por estratégias de transporte de ressuprimento e distribuição tipo *milk run*, por exemplo.

Naturalmente, dada a natureza do estudo, os resultados obtidos estão limitados aos casos contemplados. Cada situação merece um estudo em particular. A utilização da ferramenta desenvolvida em linguagem Delphi pode ser útil na comparação de políticas de controle de estoque adotadas, mesmo quando não se usa o LEC numa dada empresa. A função de custos associada à falta de produto é específica para cada situação. Neste estudo uma penalização simples foi aplicada. Deve-se considerar também que o estudo abrangeu apenas a utilização de um único item. Assim, pesquisas posteriores devem levar essas deficiências em conta para obtenção de resultados ainda mais robustos.

Referências

- BALLOU, R. H. *Logística empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física*. São Paulo: Atlas, 1993.
- BARBETTA, P. A.; REIS, M. M.; BORNIA, A. C. *Estatística: para cursos de engenharia e informática*. São Paulo: Atlas, 2004.
- BERTAGLIA, P. R. Administrando os estoques na cadeia de abastecimento. In: _____. *Logística e gerenciamento da cadeia de abastecimento*. São Paulo: Saraiva, 2003. p. 312-352.
- BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. *Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento*. São Paulo: Atlas, 2001.
- BOX, G. E. P.; MÜLLER, M. E. A note on the generation of random normal deviates. *Annals of Mathematics*, v. 29, p. 610-611, 1958.
- BUFFA, E. S. *Production inventory systems: planning and control*. Illinois: Richard D. Irwin, 1968.
- CHIU, H. N. A heuristic (R,T) periodic review perishable inventory model with lead times. *International Journal of Production Economics*, v. 42, n. 1, p. 1-15, 1995.
- CHOPRA, S.; MEINDL, P. *Gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégia, planejamento e operação*. São Paulo: Prentice Hall, 2003.
- CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. *Administração de produção e de operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica*. São Paulo: Atlas, 2005.
- EL SAADANY, A. M. A.; JABER, M. Y. The EOQ repair and waste disposal model with switching costs. *Computers & Industrial Engineering*, v. 55, n. 1, p. 219-233, 2008.
- EROGLU, A.; OZDEMIR, G. An economic order quantity model with defective items and shortages. *International Journal of Production Economics*, v. 106, n. 2, p. 544-549, 2007.
- 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*, v. 54, n. 1, p. 101-109, 1998.
- FERGUSON, M.; JAYARAMAN, V.; SOUZA, G. C. Note: an application of the EOQ model with nonlinear holding cost to inventory management of perishables. *European Journal of Operational Research*, v. 180, n. 1, p. 485-490, 2007.
- FLEURY, P. F. Conceito de logística integrada e supply chain management. In: _____. *Logística empresarial: a perspectiva brasileira*. São Paulo: Atlas, 2000. p. 27-48.
- FOOTE, B.; KEBRIAEI, N.; KUMIN, H. Heuristic policies for inventory ordering problems with long and randomly varying lead time. *Journal of Operational Management*, v. 7, n. 4, p. 115-124, 1988.
- GAITHER, N.; FRAZIER, G. Sistemas de estoques com demanda independente. In: _____. *Administração da produção e operações*. São Paulo: Pioneira, 2001. p. 268-307.
- HARIGA, M.; HAOUARI, M. An EOQ lot sizing model with random supplier capacity. *International Journal of Production Economics*, v. 58, n. 1, p. 39-47, 1999.
- HARRIS, F. W. How many parts to make at once. *Factory, The Magazine of Management*, v. 10, n. 2, p. 135-136, 1913.
- HAYYA, J.; HARRISON, T. P.; CHATFIELD, D. C. A solution for the intractable inventory model when both demand and lead time are stochastic. *International Journal of Production Economics*, v. 122, n. 2, 2009, p. 595-605.
- HOROWITZ, I. EOQ and inflation uncertainty. *International Journal of Production Economics*, v. 65, n. 2, p. 217-224, 2000.
- KOH, S. et al. An optimal ordering and recovery policy for reusable items. *Computers & Industrial Engineering*, v. 43, n. 1, p. 59-73, 2002.
- LAU, R. S. M.; XIE, J.; ZHAO, X. Effects of inventory policy on supply chain performance : a simulation study of critical decision parameters. *Computers & Industrial Engineering*, v. 55, n. 3, p. 620-633, 2008.
- LIMA, P. M. Custos logísticos na economia brasileira. *Revista Tecnológica*, v. 11, n. 122, p. 64-69, 2006.
- MAHADEVAN, B.; PYKE, D. F.; FLEISCHMANN, M. Periodic review, push inventory policies for remanufacturing. *European Journal of Operational Research*, v. 151, n. 3, p. 536-551, 2003.
- MOON, I.; GALLEGRO, G. Distribution free procedures for some inventory models. *The Journal of the Operational Research Society*, v. 45, n. 6, p. 651-658, 1994.
- MOON, I.; LEE, S. The effects of inflation and time-value of money on an economic order quantity model with a random production life cycle. *European Journal of Operational Research*, v. 125, n. 3, p. 588-601, 2000.
- NADDOR, E. *Inventory systems*. New York: John Wiley, 1966.
- NOVAES, A. G. *Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.
- NOVAES, A. G.; ALVARENGA, A. C. Armazenagem de produtos. In: _____. *Logística Aplicada: suprimento e distribuição física*. São Paulo: Pioneira, 1994. p. 183-213.
- RAO, U. S. Properties of the periodic review (R,T) inventory control policy for stationary, stochastic demand. *Manufacturing & Service Operations Management*, v. 5, n. 1, p. 37-53, 2003.
- RIEZEBOS, J. Inventory order crossovers. *International Journal of Production Economics*, v. 104, n. 2, p. 666-675, 2006.
- ROACH, B. Origin of the economic order quantity formula; transcription or transformation? *Management Decision*, v. 43, n. 9, p. 1262-1268, 2005.
- SANTORO, C. M.; FREIRE, G. Análise comparativa entre modelos de estoque. *Revista Produção*, v. 18, n. 1, p. 89-98, 2008.
- 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*, v. 65, n. 3, p. 289-294, 2000.
- SCHNIEDERJANS, M. J.; CAO, Q. An alternative analysis of inventory costs of JIT and EOQ purchasing. *International Journal of Physical Distribution & Logistic Management*, v. 31, n. 2, p. 109-123, 2001.
- SCHONBERGER, R. J. A produção Just-in-Time com o controle da qualidade total. In: _____. *Técnicas industriais japonesas: nove lições ocultas sobre a simplicidade*. São Paulo: Pioneira, 1992. p. 13-37.

- SHINGO, S. *Sistemas de produção com estoque zero: o sistema Shingo para melhorias contínuas*. Porto Alegre: Bookman, 1996.
- SLACK, N. et al. Planejamento e controle de estoques. In: _____. *Administração da produção*. São Paulo: Atlas, 1997. p. 380-409.
- TUBINO, D. F. Administração dos estoques. In: _____. *Manual de planejamento e controle da produção*. São Paulo: Atlas, 2000. p. 103-145.
- WEISS, H. J. Economic order quantity models with nonlinear holding costs. *European Journal of Operational Research*, v. 9, n. 1, p. 56-60, 1982.
- WILD, T. *Best practice in inventory management*. Oxford: Elsevier, 2002.
- WU, K. (Q,R) inventory model with variable lead time when de amount received is uncertain. *Information and Management Sciences*, v. 11, n. 3, p. 81-94, 2000.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer aos dois revisores anônimos pelos comentários e sugestões realizadas. Suas contribuições ajudaram a melhorar o trabalho. Em particular, o primeiro autor gostaria de agradecer ao CNPq-Brasil pelo suporte financeiro.

Continuous and periodic review inventory control: a comparative analysis using simulation

Abstract

The basic idea introduced in the Economic Order Quantity (EOQ) model is still an important approach in the study and design of models for inventory management. Recently, some research projects have sought to assess the effects and impacts of these inventory models on supply chain performance. In this context, the paper investigates the consequence of supplier delivery lead-time uncertainty on average inventory held and total cost incurred over a period in a company that uses EOQ rules as replenishment policy. Through computer simulation we compare two inventory control models (herein referred to as Q and P “systematic”) using a range of values for the supplier’s delivery lead time standard deviation. When lead-time is short or close to optimum replenishment interval systematic Q is found to be better. However, for long delivery lead-time the results of both models are nearly equals. Statistical hypothesis tests are applied in the analyses.

Keywords

Inventory control. Economic Order Quantity. Continuous review. Periodic review. Simulation.