

Um caso de estudo de gestão da cadeia logística

Revisão periódica e coordenação de encomendas

por Ana Paula Barroso e Rui Oliveira

RESUMO: As problemáticas da coordenação de encomendas e do aprovisionamento conjunto de vários artigos de uma mesma família colocam-se de forma crescente na gestão da cadeia de abastecimentos. A tendência para encomendas de dimensão mais reduzida, com entregas mais frequentes, obriga a uma gestão coordenada que tire partido das economias de escala associadas a um aprovisionamento conjunto, com partilha de custos fixos associados ao processamento das encomendas e transporte das mesmas. Neste texto, apresenta-se um modelo que visa apoiar decisões sobre a gestão coordenada de aprovisionamentos de artigos oferecidos no âmbito de uma campanha de fidelização de clientes, promovida por uma companhia petrolífera com cerca de 250 postos de abastecimento espalhados pelo País. Apoiando-se numa política de revisão periódica, o modelo incorpora elementos inovadores e produz recomendações sobre a periodicidade de aprovisionamentos por segmentos de pontos de venda, tendo em vista a minimização dos custos globais de operação. Este modelo permite ainda abordar fundamentadamente o binómio nível de serviço «versus» custo global respectivo, questão central na gestão da cadeia logística.

Palavras-chave: Programas de Fidelidade de Clientes, Logística, Gestão de Stocks, Coordenação de Encomendas, Modelos de Revisão Periódica

TITLE: Case study on logistic chain management: Joint replenishment under a periodic review policy

ABSTRACT: The issues associated with order coordination and joint replenishment of several items belonging to the same family is of growing importance in supply chain management. The trends towards smaller orders and more frequent deliveries require a coordinated management that exploits economies of scale associated to a joint replenishment, sharing fixed costs related with order processing and transportation. This paper presents a model that aims at supporting decisions for a coordinated management and joint replenishment for items offered in a customer loyalty scheme of an oil company with about 250 geographically dispersed outlet stores. Assuming a periodic review policy, the model incorporates innovative elements and produces recommendations about the replenishment periodicity by point of sales segment in order to minimize the global cost of operation. The model allows a deeper approach to balance service level versus the corresponding global costs – a key issue in supply chain management.

Key words: Customer Loyalty Schemes, Logistics, Inventory Management, Joint Replenishment, Periodic Review Policy

TITULO: Un caso de estudio en la gestión de cadena logística: Revisión periódica y coordinación de pedidos

RESUMEN: Las problemáticas asociadas con la coordinación de pedidos y provisión conjunta de varios artículos pertenecientes a una misma familia, es de creciente importancia en la gestión de cadena de suministro. Las tendencias hacia pedidos más pequeños y entregas más frecuentes requieren una gestión más coordinada que explota

economias de escala associadas a uma provisão conjunta, compartilhando custos fixos relacionados com o processamento de ordens e transporte. Este estudo apresenta um modelo que aponta ao apoio de decisões para uma gestão coordenada e provisão conjunta para artigos oferecidos, em um esquema baseado em uma campanha de fidelização do cliente, de uma empresa petrolífera com alrededor de 250 pontos de abastecimento esparcidos geograficamente. Assumindo uma póliza de revisão periódica, o modelo incorpora elementos inovadores e produz recomendações sobre a provisão periódica segmentada por pontos de venda com o fim de minimizar o custo global de la operação. El modelo permite un acercamiento más profundo para crear un balance del nivel del servicio versus el coste global correspondiente – una asunto clave en la gestión de cadena de suministro.

Palabras clave: Esquemas de Fidelização de Clientes, Logística, Gestão de Inventário, Provisão Conjunta, Póliza de Revisão Periódica

A gestão integrada de qualquer cadeia logística visa a otimização de fluxos (de bens e de informação) e de recursos, ao longo de toda a cadeia de abastecimento, desde os fornecedores até aos clientes finais (Beninder, 1993).

No passado, as elevadas margens de lucro permitiam absorver os custos induzidos por uma gestão logística ineficiente. Actualmente, e face ao forte aumento da competitividade, constata-se uma redução de margens que torna imperativas a eficiência e eficácia da gestão a todos os níveis da cadeia logística, sendo vital que se disponha de adequados instrumentos que permitam avaliar os méritos relativos de soluções alternativas e otimizar as decisões logísticas.

Neste texto, apresenta-se um modelo que visa apoiar decisões relativas ao aprovisionamento de artigos em cerca de 250 pontos de venda dispersos pelo território nacional e sua distribuição a partir de um armazém central. Abordam-se, de forma integrada, as problemáticas da gestão

dos aprovisionamentos e da distribuição entre os dois níveis inferiores das cadeias logísticas de um conjunto de artigos de procura média reduzida, mas com alta variabilidade das vendas. Face à baixa procura média destes artigos, é vital que a gestão do aprovisionamento seja feita de um modo coordenado, tirando partido de economias de escala associadas ao aprovisionamento conjunto desses artigos e introduzindo elementos de eficiência na gestão das respectivas cadeias de abastecimento.

A problemática do aprovisionamento coordenado de artigos é amplamente tratada no âmbito da gestão de inventários [ver, por exemplo, Ballou (1999) ou Silver *et al.* (1998)]. É sabido que, ao aprovisionamento, está associado um custo fixo, independente do número de artigos envolvidos ou das quantidades encomendadas (pelo menos dentro de determinados limites), o qual vem associado, por exemplo, ao processamento administrativo das encomendas ou ao transporte das mesmas.

Ana Paula Barroso

apb@fct.unl.pt

Doutora em Engenharia de Sistemas. Professora Auxiliar no Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Monte de Caparica, Portugal.

PhD in Systems Engineering. Auxiliary Professor at the Department of Mechanical and Industrial Engineering at Faculdade de Ciências e Tecnologia of Universidade Nova de Lisboa, Monte de Caparica, Portugal.

Doctora Ingeniero en Sistemas. Profesora Auxiliar del Departamento de Ingeniería Mecánica e Industrial de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Nueva de Lisboa, Monte de Caparica, Portugal.

Rui Carvalho Oliveira

roliv@ist.utl.pt

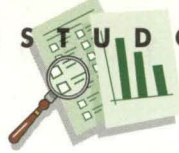
Doutor em Engenharia de Sistemas. Professor Associado no Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal.

PhD in Systems Engineering. Associated Professor at Instituto Superior Técnico, Lisbon, Portugal.

Doctor Ingeniero en Sistemas. Profesor Asociado del Instituto Superior Técnico de Lisboa, Portugal.

Recebido em Julho de 2004 e aceite em Setembro de 2006.

Received in July 2004 and accepted in September 2006.



As políticas de revisão periódica vêm sendo crescentemente adoptadas, em detrimento de políticas de controlo contínuo que, ainda que requerendo tipicamente menores níveis de stocks de segurança, dificultam ou inviabilizam o aprovisionamento coordenado porque a periodicidade das encomendas deixa de ser controlável.

Sendo possível uma partilha de custos fixos de aprovisionamento, o custo associado ao aprovisionamento de dois ou mais artigos, em simultâneo, é menor do que o custo resultante da soma dos custos de aprovisionamento de cada artigo em separado. Assim, se o aprovisionamento envolve um determinado número de artigos, e se pretende a partilha dos custos fixos associados à operação, recorre-se a modelos de aprovisionamento coordenado (Goyal e Satir, 1989).

De entre as várias doutrinas operativas de gestão de inventários, é universalmente reconhecido (Ballou, 1999; Silver *et al.*, 1998) que as políticas de revisão periódica de stocks criam condições propícias à coordenação de encomendas. Para estas políticas, e como a sua designação indicia, a revisão da posição do inventário, e (potencial) colocação de encomendas, ocorre a intervalos fixos de tempo ('tempo de ciclo'), o que, obviamente, viabiliza o aprovisionamento conjunto de vários artigos desde que se adopte um mesmo tempo de ciclo (ou múltiplos inteiros de um período-base) para esses artigos cuja fonte de abastecimento seja comum, como é o caso do nosso objecto de estudo (o armazém central). Por esta razão, as políticas de revisão periódica vêm sendo crescentemente adoptadas, em detrimento de políticas de controlo contínuo que, ainda que requerendo tipicamente menores níveis de stocks de segurança, dificultam ou inviabilizam o aprovisionamento coordenado porque a periodicidade das encomendas deixa de ser controlável.

Sendo vital no nosso caso de estudo tirar partido das economias de escala associadas ao aprovisionamento conjunto dos artigos, decorrentes, sobretudo, da partilha dos meios de transporte, adoptou-se uma política de revisão periódica, fazendo-se, mais adiante, uma breve revisão dos modelos disponíveis na literatura. Como atrás referido, a alta variabilidade da procura nos pontos de venda, torna

crítica a questão do dimensionamento dos stocks de segurança nesses pontos indispensáveis para acomodar essa variabilidade. Face à limitação dos modelos disponíveis, desenvolveu-se uma abordagem original, que complementa o modelo de Atkins e Lyogun (1988), seleccionado para esta aplicação, e que será adiante apresentada.

Apresentação sintética

Aborda-se neste texto o caso da gestão dos aprovisionamentos de artigos associados a uma campanha de fidelização de clientes promovido por uma companhia petrolífera com uma rede de cerca de duas centenas e meia de postos de abastecimento de combustíveis dispersos por todo o País. Estes artigos (designados por brindes) são oferecidos gratuitamente ou a preço reduzido aos clientes dessa companhia, uma vez acumulado um certo número de pontos atribuídos por cada litro de combustível abastecido ou outras aquisições de bens ou serviços. Aqueles artigos (brindes) são apresentados num catálogo disponibilizado aos clientes, sendo constituído em cada posto de abastecimento (aqui assimilado a um ponto de venda) um stock para alguns (não todos) brindes de entrega imediata aos clientes.

É sobre este último tipo de artigos (brindes com stock nos postos de abastecimento) que incide a análise que visa apoiar decisões sobre o aprovisionamento destes artigos nas vertentes de dimensionamento do inventário e de políticas de reabastecimento do mesmo em cada ponto de venda. A gestão dos artigos com stock no posto de abastecimento é centralizada, sendo as entregas feitas a partir de um único armazém central detido por um operador logístico contratado para manter esse stock central e realizar a distribuição dos brindes aos postos de abastecimento.

Para o conjunto de pontos de venda da rede, a gestão do aprovisionamento de cada brinde, realizada de um modo independente, envolveria mais de seis milhares de parametrizações de um mesmo modelo. No entanto, um número reduzido de modelos contribui para uma gestão mais eficiente, uma vez que simplifica o processo de manutenção dos modelos face a alterações do padrão de vendas dos brindes. Assim, procedendo a uma gestão coordenada dos aprovisionamentos, haveria necessidade de apenas duas centenas e meia de parametrizações (4%). Neste trabalho,

no entanto, será considerada a segmentação dos postos de abastecimento da rede proposta em Barroso (2003) e que levou à identificação de oito segmentos, o que permite uma redução ainda maior no número e parametrizações dos modelos a adoptar.

• Identificação das componentes do custo

O custo associado à gestão do aprovisionamento resulta da soma de custos associados à preparação da encomenda no armazém central, à posse e à ruptura de stock no posto de abastecimento, e ao transporte entre o armazém central e o posto de abastecimento.

A preparação da encomenda, ao nível do armazém central, implica um custo de manuseamento para cada artigo integrante da encomenda, que é praticamente independente da quantidade a manusear. O custo do transporte de uma encomenda entre o armazém central e o posto de abastecimento é um custo fixo, porque é independente da quantidade e do número de artigos a transportar para as situações habituais. O espaço ao nível do ponto de venda, sendo um recurso escasso, torna o custo de posse de stock elevado.

De sublinhar que os custos de transporte são claramente prevalentes, pelo que a partilha dos meios de transporte por vários artigos numa só entrega, com consolidação de cargas, assume particular relevância na eficiência das operações de distribuição.

• Comportamento das vendas

O comportamento do perfil das vendas de cada brinde revela um padrão que se caracteriza por grande variabilidade, mas reduzidos valores médios. Algumas análises estatísticas, sobretudo testes de ajustamento, permitiram inferir a aproximação a uma distribuição de probabilidade exponencial negativa para modelar a procura dos brindes (Barroso, 2003).

Seleção do modelo e doutrina operativa

Face, por um lado, aos baixos valores da procura média e, por outro, à prevalência dos cursos de distribuição, torna-se vital uma gestão coordenada do aprovisionamento dos artigos nos pontos de venda que viabilizem, sob o ponto de vista da eficiência operacional, entregas aos pontos de

venda com frequência ajustada à preservação de adequados níveis de serviço dependentes da disponibilidade dos artigos requeridos pelos clientes. As políticas de gestão de inventários baseadas na revisão periódica, reconhecidamente favorecem essa gestão coordenada dos aprovisionamentos, que permitem explorar economias de escala associadas a encomendas e entregas partilhadas por vários artigos provenientes de uma mesma fonte de abastecimento.

Adicionalmente, sendo um operador logístico a realizar os abastecimentos aos pontos de venda, a adopção de doutrinas operativas baseadas em controlo periódico facilita a programação das operações de distribuição e torna menos complexa a gestão e a avaliação das actividades inerentes a contratos comerciais e de prestação de serviços entre as partes.

Por fim, a variabilidade da procura requer cuidados especiais no dimensionamento dos stocks de segurança nos pontos de venda, os quais ficam obviamente dependentes da frequência dos reabastecimentos.

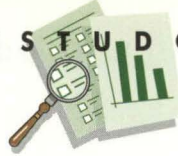
Neste enquadramento, o modelo que possa apoiar decisões sobre a gestão logística destes artigos deverá ser estocástico e de controlo periódico.

Modelos de gestão coordenada de aprovisionamentos

A gestão coordenada de aprovisionamentos de uma família de artigos baseada na revisão periódica de stocks implica estabelecer um intervalo de tempo, designado por tempo de ciclo (T) base, que medeia entre a colocação de duas encomendas sucessivas ao fornecedor.

Uma vez que o aprovisionamento é realizado a intervalos de tempo fixos (T), a razão entre a frequência da colocação de encomendas ao fornecedor e a frequência de aprovisionamento necessária para cada artigo particular é um inteiro positivo. Para um artigo em particular, a razão igual a 1 indica que o artigo deve ser aprovisionado em todos os ciclos, e a razão igual a 3, por exemplo, indica que o artigo deve ser aprovisionado de três em três ciclos de aprovisionamento.

Os modelos que visam apoiar decisões neste contexto procuram otimizar o tempo de ciclo base (T) à luz de critérios de eficiência operacional face a níveis de serviço pré-estabelecidos, sendo habitual adoptar como objectivo a minimização dos custos globais.



A maioria dos modelos estocásticos utiliza algoritmos heurísticos baseados no comportamento aleatório da procura, sendo esta a maior fonte de incerteza considerada. Obviamente, a incerteza da procura torna ainda mais complexo o problema de decisão num contexto de gestão coordenada.

Considere-se, então, a seguinte notação:

- A – Custo fixo de aprovisionamento; quantia monetária;
- a_i – Custo de aprovisionamento dependente do artigo i ; quantia monetária;
- D_i – Taxa de procura para o artigo i ; unidades do artigo/unidade de tempo;
- v_i – Custo unitário de aquisição do artigo i ; quantia monetária/unidade do artigo;
- n – Número de artigos que constituem a família de artigos;
- I – Taxa de posse de stock; percentagem por quantia monetária e unidade de tempo;
- E_i – Número médio de aprovisionamentos desencadeado pelo artigo i por unidade de tempo;
- N_i – Número médio de aprovisionamentos por unidade de tempo, para o artigo i ;
- b_i – Custo de ruptura por unidade de tempo, para o artigo i ; quantia monetária por unidade de tempo;
- X_i – Nível médio de stock em mão para o artigo i ; unidades do artigo;
- B_i – Nível médio de rupturas referente ao artigo i ; unidades do artigo.

A função objectivo dos modelos estocásticos de aprovisionamento coordenado, $CVT()$, é expressa, geralmente, como a minimização da soma dos custos esperados de aprovisionamento (fixos e dependentes do artigo), posse de stock e de ruptura (expressão 1),

$$CVT() = \sum_{i=1}^n [E_i A + N_i a_i + X_i v_i I + B_i b_i] \quad (1)$$

Considerando a natureza estocástica da procura, foram vários os autores a propor métodos e procedimentos de resolução do problema do aprovisionamento coordenado de controlo contínuo baseados nos sistemas (S, c, s) , normalmente designados por *can-order* (Balintfly, 1964; Curry et al., 1970; Federgruen et al., 1984; Silver, 1973 e 1974). Quando o nível de stock de um determinado artigo i , pertencente a uma família de artigos abastecida pelo mesmo

fornecedor, atinge o ponto de encomenda, designado por s_i , é desencadeada uma encomenda (para esse artigo i) de uma quantidade que permita elevar o nível do stock para o nível de enchimento S_i . Uma vez que é efectuada uma encomenda para o artigo i , no sentido de minimizar os custos fixos decorrentes desse processo, na mesma requisição de encomenda deverão figurar as encomendas de todos os artigos que, apesar de ainda não terem atingido o nível S_i , verificam a condição do nível do stock ser inferior a c_i , valor entre S_i e s_i .

No fim da década de 1980, Atkins e Iyogun (1988) referem que o controlo contínuo, baseado no sistema (S, c, s) , apresenta um desempenho inferior ao do controlo periódico, excepto quando os custos fixos de aprovisionamento são baixos. Estes autores propõem um novo limite inferior para o custo óptimo, permitindo avaliar o desempenho de alguns métodos e/ou heurísticas e propõem, ainda, dois métodos heurísticos de resolução, baseados em sistemas de controlo periódico.

No primeiro método heurístico, método P, todos os artigos, pertencentes à mesma família, utilizam o mesmo tempo de ciclo, T . No outro método, método MP, os autores consideram que existe um subconjunto de artigos com o tempo de ciclo T , enquanto o outro subconjunto de artigos se caracteriza por um período de revisão superior ao tempo de ciclo (mas múltiplo deste), i.e., por uma frequência de aprovisionamento menor. Os métodos baseiam-se, essencialmente, na atribuição de uma maior percentagem do custo fixo de aprovisionamento aos artigos que são produzidos (contexto de produção) ou abastecidos/comprados (contexto de distribuição) com maior frequência.

• Modelo de Atkins e Iyogun

A heurística MP baseia-se, essencialmente, na atribuição de uma maior percentagem de custo fixo de aprovisionamento, A , aos artigos com maior frequência de aprovisionamento da maneira que se descreve em seguida.

Inicialmente, é determinada a quantidade económica de encomenda para cada artigo i , QEE_i (expressão 2), considerando, apenas, os custos de aprovisionamento que dependem exclusivamente dos artigos, a_i .

$$QEE_i = \sqrt{\frac{2a_i D_i}{I v_i}} \quad (2)$$

Para cada artigo i , a relação entre a quantidade económica de encomenda, QEE_i , e o valor médio da procura, D_i , permite determinar o período de cobertura, designado por T_i , i.e., o intervalo de tempo em que a quantidade económica de encomenda permite satisfazer a procura média. Os artigos devem, então, ser ordenados por ordem crescente do período de cobertura, T_i .

No passo seguinte, faz-se a atribuição de uma percentagem do custo fixo a cada um dos artigos. A ideia básica que rege este procedimento é atribuir a totalidade do custo fixo de aprovisionamento aos artigos, atribuindo uma maior percentagem aos aprovisionados mais frequentemente. Assim, faz-se a atribuição de uma pequena percentagem, designada por α_1 , do custo fixo de aprovisionamento, A , ao artigo 1, artigo colocado no início da lista ordenada. A atribuição ao artigo 1 de uma determinada percentagem do custo fixo de aprovisionamento, $\alpha_1 A$, aumenta o custo de aprovisionamento do artigo 1 conduzindo, por essa razão, a uma quantidade económica de encomenda maior e, conseqüentemente, a um período de cobertura também maior. Eventualmente, pode atingir o valor do período de cobertura do artigo 2 (cujo cálculo foi baseado, exclusivamente, nos custos de aprovisionamento dependentes do próprio artigo, α_2). Nestas circunstâncias, fica atribuída uma percentagem do custo fixo de aprovisionamento ao artigo 1, α_1 , e uma percentagem nula ao artigo 2, α_2 , considerando os tempos de cobertura relativos a estes artigos balanceados, $T_1 = T_2$. Aumentando-se as percentagens de custo fixo relativas aos artigos 1 e 2, α_1 e α_2 , os períodos de cobertura desses artigos podem igualar o do artigo 3, de maneira que $T_1 = T_2 = T_3$. Este processo continua até que o somatório das percentagens seja igual à unidade (expressão 3), traduzindo a atribuição da totalidade do custo fixo de aprovisionamento, A , e permitindo determinar o tempo de ciclo, T .

$$\sum_i \alpha_i = 1 \quad (3)$$

Na prática, para um determinado período de cobertura, a determinação da percentagem α_i , para $i = 1, \dots, n$, é realizada a partir da expressão 4.

$$\alpha_i = \frac{T_i^2 I v_i D_i}{2A} - \frac{a_i}{A} \quad (4)$$

A resolução do sistema de equações definidas pelas expressões 3 e 4, permite determinar o tempo de ciclo óptimo, designado por T^* , que conduz, assim, à definição da frequência de aprovisionamento. Os artigos a que correspondem α_i positivos, apresentam o mesmo tempo de ciclo. Os que apresentam α_i nulos envolverão uma frequência de aprovisionamento superior. A heurística sugere que a frequência de aprovisionamento dos artigos que não são abastecidos em todos os ciclos deve ser múltipla do tempo de ciclo. McGee e Pyke (1996) sugerem a utilização de múltiplos de potências de 2 do tempo de ciclo, i.e., $2^j T$ em que $j \geq 0$.

• Limitações do modelo de Atkins e Iyogun

A escassez de espaço afecto à exposição e armazenamto no ponto de venda, terá, forçosamente, implicações na definição do stock de segurança de cada brinde. No modelo anteriormente descrito, a função custo a minimizar não entra em consideração com os custos associados ao stock de segurança, sendo T^* determinado independentemente do custo associado à sua posse.

O stock de segurança depende da frequência de aprovisionamento e do padrão da procura. Quanto maior for a frequência de aprovisionamento, menor será o stock de segurança. Por outro lado, as vendas dos brindes apresentam uma variabilidade com um padrão aproximado a uma distribuição exponencial negativa, podendo conduzir a um stock de segurança elevado.

As vendas dos brindes apresentam uma variabilidade com um padrão aproximado a uma distribuição exponencial negativa, podendo conduzir a um stock de segurança elevado. Como esta componente pode ter uma grande importância no cômputo do custo total, o modelo de Atkins e Iyogun parece não ser o mais adequado.

Como esta componente pode ter uma grande importância no cômputo do custo total, o modelo de Atkins e Iyogun parece não ser o mais adequado. Assim, é proposto um modelo, baseado no de Atkins e Iyogun, onde, na função custo total, se faz reflectir a componente custo relativa à posse do stock segurança.



Modelo proposto

• Pressupostos

O nível de serviço, que corresponde à probabilidade de não ocorrência de rupturas durante o período de vulnerabilidade, é conhecido. O prazo de entrega é determinístico e conhecido. Não são considerados custos de ruptura de stock. É assumido, também, que o custo unitário do artigo, v_i , não depende da quantidade a aprovisionar, i.e., não existem descontos de quantidade. Considera-se, ainda, que, em todos os períodos, existe a encomenda de pelo menos um artigo. Se m_i for um múltiplo de T para o artigo i , então o artigo é revisto e encomendado em cada $m_i T$ períodos (onde m_i é um inteiro positivo). Outro pressuposto assumido, sendo frequentemente utilizado na modelação de problemas de controlo de stocks, é a proporcionalidade dos custos de posse de stock em relação ao seu nível médio.

• Variáveis de decisão

T – Tempo de ciclo. Intervalo de tempo que medeia entre duas revisões do stock consecutivas.

m_i – Frequência de aprovisionamento do artigo i em função do tempo de ciclo (T), ou seja, o período de revisão representado por um número inteiro de ciclos.

• Definição da função objectivo

Num modelo baseado em revisão periódica, o nível do stock é revisto em intervalos de tempo constantes, sendo colocada uma encomenda de uma quantidade que permite elevar o nível do stock ao seu valor máximo. O nível de enchimento (S) é um parâmetro do modelo que deve ser definido de tal modo que permita responder à procura média durante o intervalo de tempo em que existe risco de ruptura, i.e., entre duas revisões consecutivas, T , mais o prazo de entrega, designado por L , bem como considerar o stock de segurança para o período $T+L$.

A função objectivo que se pretende minimizar, $CT()$, corresponde ao custo total médio para um determinado período de tempo e para uma família de n artigos, cujo abastecimento se processa a partir do armazém central. Resulta da soma dos custos parciais associados à preparação da encomenda no armazém central e à posse de stock no ponto

de venda, para os n artigos da família, e ao transporte entre o armazém central e os pontos de venda (expressão 5).

$$MIN CT() = \frac{A}{T} + \sum_{i=1}^n \frac{a_i m_i}{T} + \sum_{i=1}^n \left[\frac{D_i m_i T I v_i}{2} + Q_{Seg_i} I v_i \right] \quad (5)$$

Sujeita às seguintes restrições,

$$\begin{cases} T > 0 \\ m_i \geq 1, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad \text{são inteiros} \end{cases}$$

Na expressão 5, estão representados, por esta ordem, os custos de transporte, de manuseamento dos artigos no armazém central, de posse de stock (para o conjunto de artigos que constituem a família) e de posse associado ao stock de segurança.

Seguidamente será definido o stock de segurança, Q_{Seg_i} , que depende do nível de serviço ou probabilidade de ruptura pré-estabelecido e da distribuição de probabilidade da procura.

• Definição do stock de segurança

Considere-se β_i a probabilidade de ruptura e uma procura distribuída segundo uma exponencial negativa. A probabilidade de ruptura, β_i , poderá ser definida a partir da expressão 6.

$$Pr ob(ruptura) = \beta_i = e^{-\frac{S_i}{D_i(T+L)}} \quad (6)$$

Onde,

S_i – Nível de enchimento relativo ao artigo i ,

D_i – Procura média relativa ao artigo i ,

T – Tempo de ciclo ou intervalo de tempo entre duas revisões de stock sucessivas,

L – Prazo de entrega ou intervalo de tempo que medeia entre a colocação de uma encomenda e a sua recepção.

Por uma questão de simplificação das expressões seguintes, o artigo i corresponde ao de maior frequência de abastecimento, sendo, por isso, revisto em todos os períodos (sendo equivalente a um $m_i=1$).

Aplicando a função logaritmo a ambos os membros da igualdade da expressão 6, é possível determinar o nível de enchimento, S_i (expressão 7):

$$S_i = -\ln \beta_i D_i (T + L) \quad (7)$$

Por outro lado, o nível de enchimento, S_i , pode ser definido, também, através da soma da procura média e do stock de segurança durante $(T+L)$ (expressão 8):

$$S_i = D_i(T+L) + Q_{Seg_i} \quad (8)$$

Donde,

$$Q_{Seg_i} = S_i - D_i(T+L) \quad (9)$$

Substituindo na expressão 9 o nível de enchimento, S_i , definido pela expressão 7, obtém-se Q_{Seg_i} (expressão 10):

$$Q_{Seg_i} = D_i(T+L) \left(-\ln \beta_i - 1 \right) \quad (10)$$

O intervalo de tempo que decorre entre o momento da revisão e a entrega dos artigos no ponto de venda é muito curto, não sendo superior a 48 horas. Além disso, o valor da procura dos brindes é baixo. De modo a simplificar as expressões, considera-se nulo o prazo de entrega (L), sendo o stock de segurança determinado a partir da expressão 11:

$$Q_{Seg_i} = D_i T (-\ln \beta_i - 1) = D_i T \ln \left(\frac{1}{\beta_i e} \right) \quad (11)$$

Generalizando para qualquer artigo da família, i , em que o período entre revisões é proporcional ao tempo de ciclo T , i.e., $m_i T$, sendo m_i um inteiro positivo, a definição do stock de segurança (para qualquer artigo i) é deduzido a partir da expressão 12:

$$Q_{Seg_i} = D_i m_i T \ln \left(\frac{1}{\beta_i e} \right) \quad (12)$$

• Tempo de ciclo óptimo

Substituindo Q_{Seg_i} na expressão 5, obtém-se a expressão 13:

$$CT() = \frac{A}{T} + \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{T} + \sum_{i=1}^n \left\{ I_{V_i} \left[\frac{D_i m_i T}{2} + D_i m_i T \ln \left(\frac{1}{\beta_i e} \right) \right] \right\} \quad (13)$$

A condição de primeira ordem permite determinar o valor óptimo do ciclo, T^* (expressão 14), como se demonstra no apêndice A.

$$T^* = \sqrt{\frac{A + \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{m_i}}{\sum_{i=1}^n D_i m_i I_{V_i} \left[\frac{1}{2} + \ln \left(\frac{1}{\beta_i e} \right) \right]}} \quad (14)$$

Utilizando a metodologia de determinação de T^* proposta por Atkins e Iyogun, o custo total de aprovisionamento de um artigo é, então, definido por $(\alpha_i A + a_i)$. O valor de α_i é deter-

minado a partir da expressão 15, como se demonstra no apêndice B.

$$\alpha_i = \frac{D_i T_i^2 I_{V_i} \left[\frac{1}{2} + \ln \left(\frac{1}{\beta_i e} \right) \right]}{A} - \frac{a_i}{A} \quad (15)$$

O valor óptimo de T (T^*) será o valor de T_i para o qual $\sum_i \alpha_i = 1$.

Aplicação do modelo e análise de resultados

• Definição de cenários

Actualmente, a distribuição física dos artigos é realizada por rota de distribuição, pré-definida contratualmente entre o operador logístico e a empresa responsável pela campanha. Cada rota de distribuição cobre um determinado espaço geográfico de Portugal, envolvendo um determinado número de postos de abastecimento. Verifica-se que a rota menor é constituída unicamente por quatro postos, enquanto a rota maior é efectuada para 39 pontos de venda.

Devido à confidencialidade dos dados, as ordenadas do gráfico da Figura (ver p. 60) – que apresenta o custo médio de transporte por posto de abastecimento e por rota de distribuição – foram omitidas. A análise visual da Figura permite constatar uma elevada variabilidade nos custos de transporte. Consequentemente, serão considerados três valores distintos – o menor, o maior e o valor médio (ponderado) – que darão origem, respectivamente, aos cenários optimista, pessimista e médio. O custo de transporte associado ao cenário pessimista é superior ao triplo do cenário optimista, e o associado ao cenário optimista é aproximadamente metade ao do cenário médio.

• Definição dos valores dos parâmetros do modelo

O custo médio de transporte entre o armazém central e o ponto de venda, A , é definido pelos três cenários previamente estabelecidos. O custo de preparação da encomenda no armazém central é a_i para cada artigo que intervém na encomenda, sendo o mesmo que Themido *et al.* (2000) utilizaram no seu trabalho. São custos de índole confidencial.

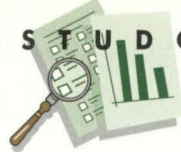
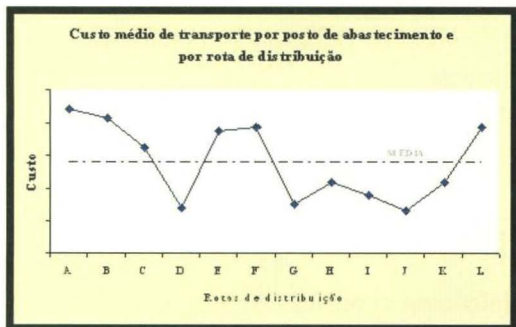


Figura
Custo médio de transporte, por posto de abastecimento e por rota de distribuição



A taxa de procura para cada um dos artigos, D_i , é definida para cada agrupamento de pontos de venda identificados em Barroso (2003), tendo sido utilizados dados referentes a um ano.

O custo unitário de aquisição do artigo, designado por v_i , é estimado a partir do preço do mesmo artigo ou de um similar no mercado tradicional, sendo efectivamente superior ao incorrido pelo posto de abastecimento. Dada a conjuntura económica actual, considera-se, também, um valor muito elevado para a taxa de posse de stock anual, tendo-se adoptado para esta taxa o valor 100%. Os valores destes parâmetros permitem penalizar fortemente a constituição de stock ao nível do último elo da cadeia de abastecimento, onde as limitações de espaço são muito severas.

• **Tempo de ciclo óptimo por agrupamento de pontos de venda**

A aplicação do modelo proposto a cada agrupamento de pontos de venda e cenário estipulado (Com Qseg), conduz a tempos de ciclo (T) diferenciados entre os vários agrupamentos, como se depreende da Tabela (ver abaixo). Sob as mesmas condições e para o cenário optimista, a aplicação do modelo de Atkins e Iyogun (Sem Qseg), onde não é considerado o custo associado à posse do stock de segurança, conduz a um ciclo mínimo de seis semanas, valor francamente superior ao determinado pelo modelo proposto (três semanas). Os valores óptimos de T são significativamente mais baixos quando são considerados os custos de posse do stock de segurança. Este facto revela a enorme importância do custo de posse associado ao stock de segurança, ao nível do custo total.

No caso em que é considerado o cenário pessimista, o tempo de ciclo determinado para cada agrupamento é elevado. O período entre revisões que minimiza os custos de gestão referentes aos agrupamentos que envolvem os pontos de venda com vendas médias mais baixas, PSL Med e PSL Peq, é de sete semanas. Os postos que envolvem vendas mais elevadas, apresentam tempos de ciclo menores, na ordem das três semanas. Considerando o cenário em que os custos de distribuição são os mais baixos, i.e., o melhor cenário na perspectiva da empresa responsável pelo programa de fidelidade – cenário optimista –, o tempo de ciclo óptimo para os agrupamentos que apresentam maior volume de vendas é de três

Tabela
Tempo de ciclo óptimo por agrupamento de pontos de venda e cenários

Postos	T* (Semanas)					
	COM Qseg			SEM Qseg		
	Cen _{Pessimista}	Cen _{Médio}	Cen _{Optimista}	Cen _{Pessimista}	Cen _{Médio}	Cen _{Optimista}
Agrup1 -PSL Méd	7	6	5	15	13	12
Agrup2-PSL Gurb	6	5	4	12	11	10
Agrup3-PSL Gestr	6	5	5	13	12	10
Agrup4 -PSL Peq	7	7	6	17	15	13
Agrup5-PCL GR	3	3	3	8	7	6
Agrup6-PCL Peq	5	5	4	12	11	9
Agrup7- PCL Med	4	4	4	10	9	8
Agrup8-AE	4	3	3	8	7	6

semanas, situando-se no dobro para o agrupamento que envolve um menor volume de vendas.

Pontos de venda pertencentes à mesma rota foram classificados em agrupamentos diferentes na segmentação proposta por Barroso (2003). Assim, o tempo de ciclo a adotar para a totalidade dos agrupamentos deve ser o menor valor proposto pelo modelo, i.e., três semanas.

Apesar do valor dos parâmetros utilizados no modelo penalizarem fortemente a posse de stock ao nível do ponto de venda, o elevado custo de manuseamento e de transporte

justifica a redução significativa da frequência de abastecimento dos pontos de venda.

Por fim, e embora não ilustrado neste texto por limitações de espaço, é simples considerar cenários com diferentes níveis de serviço, permitindo o modelo determinar a periodicidade de encomendas e os custos globais respectivos. Podem, assim, estabelecer-se *trade-offs* entre níveis de serviço e respectivos custos totais, criando condições para decisões mais fundamentadas sobre este binómio.

Apêndices

Determinação do valor óptimo de ciclo, T*

$$\frac{\partial CT}{\partial T} = -\frac{A}{T^2} - \frac{\sum_{i=1}^n \frac{a_i}{m_i}}{T^2} + \sum_{i=1}^n \frac{D_i m_i I v_i}{2} + \sum_{i=1}^n D_i m_i I v_i \ln\left(\frac{1}{\beta_i e}\right) = 0$$

$$\frac{A + \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{m_i}}{T^2} = \sum_{i=1}^n \frac{D_i m_i I v_i}{2} + \sum_{i=1}^n D_i m_i I v_i \ln\left(\frac{1}{\beta_i e}\right)$$

$$T^* = \sqrt{\frac{A + \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{m_i}}{\sum_{i=1}^n D_i m_i I v_i \left[\frac{1}{2} + \ln\left(\frac{1}{\beta_i e}\right) \right]}}$$

Determinação de α_i

Se o custo de colocar uma encomenda referente ao artigo *i* for $(\alpha_i A + a_i)$, o valor de α_i pode ser calculado a partir da condição de primeira ordem do custo total (CT_i) em relação ao tempo de ciclo T_i .

$$CT_i = \frac{\alpha_i A + a_i}{T_i} + \frac{D_i I v_i T_i}{2} + D_i I v_i T_i \ln\left(\frac{1}{\beta_i e}\right)$$

$$\frac{\partial CT_i}{\partial T_i} = -\frac{\alpha_i A + a_i}{T_i^2} + \frac{D_i I v_i}{2} + D_i I v_i \ln\left(\frac{1}{\beta_i e}\right) = 0 \Leftrightarrow \frac{\alpha_i A + a_i}{T_i^2} = D_i I v_i \left[\frac{1}{2} + \ln\left(\frac{1}{\beta_i e}\right) \right]$$

$$\alpha_i = \frac{D_i I v_i T_i \left[\frac{1}{2} + \ln\left(\frac{1}{\beta_i e}\right) \right] - a_i}{A}$$



Conclusões

O caso de estudo tratado neste trabalho – gestão coordenada de aprovisionamentos de artigos oferecidos no âmbito de uma campanha de fidelização de clientes promovida por uma companhia petrolífera –, coloca desafios que são comuns a diversas cadeias de abastecimento. Esses desafios resultam, por um lado, de valores reduzidos da procura média dos artigos nos pontos de venda, mas com alta variabilidade, e elevados custos fixos de reaprovisionamento (particularmente os associados ao transporte e distribuição aos cerca de 250 postos de abastecimento dispersos pelo País) e de posse de stocks nos pontos de venda que se debatem com severas restrições de espaço para manter os inventários desses artigos. Nestes contextos, a coordenação de encomendas torna-se imperativa de modo a poder-se tirar partido de economias de escala resultantes de um reaprovisionamento conjunto, introduzindo elementos de eficiência na gestão destas cadeias de abastecimento.

No entanto, a gestão coordenada de aprovisionamentos, levanta dificuldades acrescidas face ao elevado número de variáveis e factores a ter em conta, sendo crucial dispor-se de modelos sistémicos que abarquem todas essas dimensões e complexidades inerentes, e permitam apoiar decisões fundamentadas que promovam a eficiência e eficácia da gestão logística.

O modelo desenvolvido e apresentado neste texto serve estes propósitos. Trata-se de um modelo heurístico de gestão coordenada de aprovisionamento de artigos, baseado numa política de revisão periódica de inventários que, como é sabido, cria condições propícias à coordenação de encomendas. Tem por base o consagrado modelo proposto por Atkins e Iyogun (1988), mas com uma extensão original para considerar explicitamente os custos de posse associados ao stock de segurança, um aspecto de grande relevância no caso estudado face às severas restrições de espaço de armazenagem nos pontos de venda.

As potencialidades do modelo foram ilustradas através da sua aplicação ao caso de estudo que esteve na base do seu desenvolvimento. Foram estudados três cenários para os custos de distribuição, tendo o modelo permitido determinar a

frequência de entregas do operador logístico aos pontos de venda, produzindo recomendações por agrupamento de postos de abastecimento que apontam tipicamente no sentido da redução da frequência das entregas e consequente redução dos custos de distribuição. Adicionalmente, o modelo viabiliza a cenarização de níveis de serviço diversificados, criando, assim, condições para o estabelecimento de *trade-offs* entre níveis de serviço e os respectivos custos globais de operação e para decisões melhor fundamentadas relativamente a esta questão central da gestão da cadeia de abastecimento. ■

Referências bibliográficas

- ATKINS, D. R. e IYOGUN, P. O. (1988), «Periodic versus 'Can-Order' Policies for Coordinated Multi-Item Inventory Systems». *Management Science*, vol. 34(6), pp. 392-396.
- BALINTFY, J. L. (1964), «On a Basic Class of Multi-Item Inventory Problems». *Management Science*, vol. 10, pp. 287-297.
- BALLOU, R. (1999), **Business Logistics Management**, Prentice-Hall International, Inc..
- BARROSO, A. P. (2003), «Modelação de Vendas e Gestão Logística de Artigos Vendidos em Redes de Retalho Mistas». Tese de Doutoramento não publicada, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.
- BENINDER, J. (1993), «Integrated Logistics Management: Benefits and Challenges». *OR/MS Today*, June, pp. 34-36.
- CURRY, G. L.; SKEITH, R. W. e HARPER, R. G. (1970), «A Multi-Product Dependent Inventory Model». *AIIE Transactions*, vol. 2, pp. 263-267.
- FEDERGRUEN, A.; GROENEVELT, H. e TIJMS, H. C. (1984), «Coordinated Replenishments in a Multi-Item Inventory System with Compound Poisson Demands». *Management Science*, vol. 30, pp. 344-357.
- GOYAL, S. K. e SATIR, A. T. (1989), «Joint Replenishment Inventory Control: Deterministic and Stochastic Models». *European Journal of Operational Research*, vol. 38, pp. 2-13.
- MCGEE, V. E. e PYKE, D. F. (1996), «Periodic Production Scheduling at a Fastener Manufacturer». *International Journal of Production Economics*, vol. 46, pp. 65-87.
- SILVER, E. A. (1973), «Three Ways of Obtaining the Average Cost Expression in a Problem Related to Joint Replenishment Inventory Control». *Naval Research Logistics Quarterly*, vol. 20, pp. 241-254.
- SILVER, E. A. (1974), «A Control System for Coordinated Inventory Replenishment». *International Journal of Production Research*, vol. 12(6), pp. 647-671.
- SILVER, E. A.; PYKE, D. F. e PETERSON, R. (1998), **Inventory Management and Production Planning and Scheduling**, John Wiley and Sons.
- THEMIDO, I.; ARANTES, A.; FERNANDES, C. e GUEDES, A. P. (2000), «Logistic Costs Case Study - An ABC Approach». *Journal of the Operational Research Society*, vol. 51, pp. 1148-1157.