

Medição da incerteza da procura numa cadeia de abastecimento com múltiplos pontos de inventário

por Rui Fernandes, Joaquim Borges Gouveia e Carlos Pinho

RESUMO: O principal objetivo deste estudo é a definição de um indicador para medir o impacto da incerteza da procura, nas diferentes fases da cadeia de abastecimento. Em concreto, pretendemos demonstrar a importância da medida da incerteza, em diferentes pontos de uma cadeia de abastecimento, de forma a auxiliar os gestores na definição de níveis ótimos de inventário. Com esta métrica, os gestores serão capazes de estabelecer uma meta mais confiável e alinhada para o seu nível de inventário, considerando a exposição ao risco, com o objetivo de promover a otimização do capital investido. O modelo vai ser desenvolvido com base na metodologia das opções reais. De uma forma geral, este trabalho contribui para o conhecimento da otimização de inventários e do desempenho da cadeia de abastecimento em condições de incerteza. Os testes efetuados evidenciaram os efeitos desfavoráveis no valor do capital investido, como consequência da introdução de valores não ótimos nas sucessivas fases, tendo em conta diferentes níveis de penetração da incerteza.

Palavras-chave: Incerteza, Opções de Capacidade, Opções Reais, Cadeia de Abastecimento

TITLE: Uncertainty demand measurement in supply chains with multiple inventory points

ABSTRACT: The main goal of this study is the definition of an indicator able to measure the impact of demand volatility in different supply chain stages. Specifically, we aim the importance of the uncertainty measurement, at different points in a supply chain, in order to support managers in defining the optimal inventory levels. With this metric, managers are able to establish more reliable and aligned inventory targets, considering the risk exposure and promoting the invested capital optimisation. The model is based on the real options methodology. Overall, our investigation increases the knowledge related with inventory optimisation and supply chain performance under uncertainty environments. The numerical application supports the conclusion about the adverse effects on the invested capital value, as a result of the introduction of non-optimal values in sequential stages, considering different uncertainty penetration levels.

Key words: Uncertainty, Capacity Options, Real Options, Supply Chain

TITULO: Medición de la incertidumbre de la demanda en una cadena de suministro con múltiples puntos de inventario

RESUMEN: Las compras entre organizaciones cada vez más presentan relaciones de cooperación con los proveedores como la clave para una gestión eficaz en la cadena de suministro. En este sentido, la investigación tiene como objetivo estudiar la generación de confianza en las relaciones de compra entre organizaciones. La metodología usada fue exploratoria y descriptiva, con un enfoque cualitativo y análisis de contenido. Los resultados indicaron que en la percepción de los compradores, independientemente de la rama de actividad, hay confianza entre el comprador y el proveedor. La definición de la confianza ha salido del análisis, como sinónimo de ventaja competitiva, al referirse a

la capacidad del proveedor para contribuir al éxito de la organización de la empresa compradora. Se concluyó que los generadores de confianza entre organizaciones surgen de una combinación de tres aspectos: el buen desempeño operativo, una relación especial y la ética empresarial.

Palabras-clave: Incertidumbre, Opciones de Capacidad, Opciones Reales, Cadena de Suministro

As empresas de retalho, a jusante das cadeias de abastecimento, estão a ser pressionadas para reduzir o seu capital investido. Esta mudança está a provocar a transferência do risco da inconstância do mercado para as fases mais a montante da cadeia de abastecimento. Neste contexto, o risco nos fabricantes tenderá a aumentar, o que originará a necessidade de desenvolver novos instrumentos para auxiliar a sua gestão.

Numa cadeia de abastecimento integrada, os gestores podem adotar diferentes estratégias perante a volatilidade da procura, como sejam, o aumento da capacidade, o recurso a trabalho temporário ou horas extra, a subcontratação de capacidade ou a antecipação de inventários. Esta última abordagem, usando inventários, é justificada

pela necessidade de suportar o negócio atual em ambientes previsíveis, para suavizar a sazonalidade, as oportunidades e os erros de previsão e, finalmente, para minimizar o impacto da incerteza do mercado.

As cadeias de abastecimento estão expostas a diversos tipos de incertezas, que afetam o nível de serviço comprometido com o mercado, em função da disponibilidade de capacidade, da disponibilidade de recursos ou de mudanças imprevistas na procura. Quando uma cadeia de abastecimento é exposta a um tipo de incerteza em concreto – a variabilidade da procura –, as falhas relacionadas com a falta de material para entrega, podem ocorrer em qualquer fase da cadeia. A indisponibilidade do material pode provocar a perda de vendas e o aumento dos custos, prejudicando,

Rui Fernandes

rfernandes.ar@amorim.com

Aluno de Doutoramento na Universidade de Aveiro e licenciado em Contabilidade e Administração pelo Instituto Politécnico do Porto, Portugal. Exerce o cargo de CFO na Amorim Revestimentos SA, director na Amorim Cork GmbH, ACDN BV e Amorim Japan Corporation.

PhD student at Aveiro University and he received his graduation from Polytechnic Institute of Oporto in accountant and administration, Portugal. He is CFO at Amorim Revestimentos SA, board member at Amorim Cork GmbH, ACDN BV and Amorim Japan Corporation.

Estudante de doutorado na Universidade de Aveiro y licenciado en Contabilidad y Administración por el Instituto Politécnico do Porto, Portugal. Ocupa el cargo de CFO en Amorim Revestimientos SA, director en la Amorim Cork GmbH, ACDN BV y Amorim Japan Corporation.

Joaquim Borges Gouveia

bgouveia@ua.pt

Doutorado desde 1983 com Agregação em Engenharia Electrotécnica e de Computadores pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. É Professor no Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro, Portugal, desde outubro 2001.

He received his PhD in 1983 and Aggregate in Electrotechnical and Computer Engineering from Faculty of Engineering, University of Porto, Portugal. He is Full Professor at Department of Economics, Management and Industrial Engineering of University of Aveiro, Portugal, since October 2001.

Doctorado en 1983 con agregado en Ingeniería Electrotécnica y Computación de la Facultad de Ingeniería da Universidade do Porto. Es profesor en el Departamento de Economía, Administración e Ingeniería Industrial, Universidade de Aveiro, Portugal, desde octubre de 2001.

Carlos Pinho

cpinho@ua.pt

Doutorado em Economia Aplicada pela Universidade de Santiago de Compostela, Espanha. É Professor assistente no Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro. Portugal. É Diretor do Doutoramento em Contabilidade e do Curso de Mestrado em Economia.

He received his PhD in Applied Economics from the University of Santiago de Compostela, Spain. He is assistant Professor at Department of Economics, Management and Industrial Engineering of University of Aveiro, Portugal. He is the Director of the PhD in Accounting and of the Master's Degree in Economics.

cpinho@ua.pt

Doctorado en Economía Aplicada por la Universidad de Santiago de Compostela, España. Es profesor asistente en el Departamento de Economía, Administración e Ingeniería Industrial, de la Universidade de Aveiro. Portugal. Es director de la tesis doctoral en Contabilidad y del curso de Maestría en Economía.

Recebido em fevereiro de 2011 e aceite em novembro de 2011.

Received in February 2011 and accepted in November 2011.

assim, a relação com os clientes, com um impacto direto no *goodwill* da empresa.

Com este trabalho pretendemos contribuir para a extensão da gestão do risco nas cadeias de abastecimento, em resultado do aumento da volatilidade dos mercados e, em concreto, da procura. O nosso principal objetivo é a definição de um indicador, para medir o impacto da incerteza da procura nas diferentes fases da cadeia de abastecimento. Para o efeito, iremos usar a definição de níveis de inventário, recorrendo ao conceito de *overstock*. No seguimento do nosso objetivo principal, iremos complementarmente analisar o impacto da incerteza nas fases a montante, como consequência da alteração dos valores de inventário na etapa mais a jusante da cadeia.

Neste trabalho analisamos um modelo de *overstock*, considerando o impacto da incerteza da procura em diferentes etapas de uma cadeia de abastecimento. Iremos abordar algumas das soluções anteriores para resolver o problema da volatilidade da procura, especificamente as opções de capacidade, explorando a relação entre a procura, a capacidade e a subcontratação (por exemplo, Bradley e Glynn, 2002; Driouchi *et al.*, 2006; Tan, 2002).

De forma resumida, pretendemos analisar três hipóteses:

- Hipótese 1 (h1) – existe relação entre o nível de inventários a jusante da cadeia de abastecimento e o grau de penetração, nos diferentes estádios, da incerteza da procura externa;
- Hipótese 2 (h2) – a incerteza da procura afeta, de forma diferente, os estádios da cadeia de abastecimento, tendo em conta a sua posição no fluxo de custo e *lead-time*;
- Hipótese 3 (h3) – a introdução de valores não ótimos no modelo, num cenário de falta de integração e coordenação da cadeia de abastecimento, provoca um aumento no nível global de inventários.

Revisão da literatura e opções metodológicas

Para resolver o problema da incerteza da procura, podemos encontrar na literatura diferentes abordagens. Dos desenvolvimentos analisados, destacamos o cálculo de um inventário de reserva (por exemplo, Tan *et al.*, 2009), métodos de previsão, sistemas de apoio à decisão (por exemplo, Matuyama *et al.*, 2009; Moole e Korrapati, 2004), sequen-

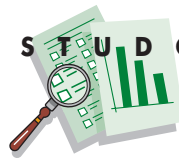
ciamento de ordens (por exemplo, Bish *et al.*, 2009), partilha de informação (por exemplo, Ryu *et al.*, 2009; Sheffi, 2001), contratos de fornecimento flexíveis (por exemplo, Barnes-Schuster *et al.*, 2002; Plambeck e Taylor, 2007; Serel *et al.*, 2001; Spinler e Huchzermeier, 2004) ou ajustamento do rendimento dos recursos internos (por exemplo, Mukhopadhyay e Ma, 2009), bem como alternativas para aumentar a capacidade disponível usando a subcontratação (por exemplo, Kamian e Li, 1990; Tan, 2002; Tan, 2004).

Na literatura estudada, encontramos justificações para o uso da abordagem multi-estádios, pela necessidade de decisões coordenadas e integradas, no âmbito de uma cadeia de abastecimento (por exemplo, Lee e Wen, 2007; Liu *et al.*, 2004; Yu, 2010).

O nosso trabalho está relacionado com o trabalho de Abhyankar e Graves (2001), no que diz respeito à utilização de um inventário de cobertura, para proteger as fases a montante da cadeia. A principal preocupação deste trabalho também está relacionada com um outro estudo efetuado por Graves e Willems (2000), que estabeleceram um modelo para um inventário de segurança global, distribuído pelas diferentes fases, considerando a incerteza da procura.

No que respeita à metodologia usada, encontramos na literatura vários trabalhos que usam a teoria da contingência aplicada a problemas de capacidade, na presença de irreversibilidade e incerteza no processo de decisão (por exemplo, Birge, 2000; Chung, 1990; Dangl, 1999; Pennings e Natter, 2001; Pindyck, 1988). Outros estudos foram feitos sobre capacidade ou subcontratação (por exemplo, Atamturk e Hochbaum, 2001; Bertrand e Sridharan, 2001; Bradley e Glynn, 2002; Gaimon, 1994; Gutierrez e Paulo, 2000; Kouvelis e Milner, 2002; Van Mieghem, 1999). Fazemos uma referência especial ao estudo de Bradley e Glynn (2002), defendendo a ideia de que as decisões de investimento em capacidade devem ser tomadas a nível estratégico e as decisões de inventário devem ser consideradas a um nível operacional.

Considerando que a incerteza da procura atinge níveis elevados e que a capacidade é limitada no curto prazo, uma empresa pode usar mecanismos de resposta para minimizar o eventual efeito negativo nas vendas. Tais mecanismos podem estar relacionados com a antecipação de inventários,



a subcontratação de atividades, a contratação ou a reserva de capacidade adicional (por exemplo, Tan, 2002; Tan, 2004). As alternativas anteriores devem ser consideradas como instrumentos de cobertura. Enquanto tal, dão o direito de aumentar o nível de inventário ou receber capacidade adicional, e podem ser exercidas mediante a adição de custos com o intuito de garantir a disponibilidade dos produtos, no âmbito de um procedimento ideal.

A nossa abordagem baseia-se na possibilidade de aumentar os «buffers» na cadeia de abastecimento, com base no raciocínio de que a incerteza cria oportunidades que podem ser valorizadas.

O nosso trabalho visa a primeira alternativa, relacionada com a antecipação de inventários, que iremos designar como uma opção de *overstock*. A terceira alternativa é conhecida como opção de capacidade (Tan, 2002) ou contrato de opção (Spinler e Huchzermeier, 2004). Tan (2002) explorou o conceito de um acordo de opção, do tipo contratual entre dois fabricantes, capaz de proporcionar um aumento da capacidade. Este autor considerou que existe uma relação direta entre o valor das opções de capacidade – com base na flexibilidade do volume, o aumento do nível de incerteza e a decisão ótima. A nossa abordagem baseia-se na possibilidade de aumentar os *buffers* na cadeia de abastecimento, com base no raciocínio de que a incerteza cria oportunidades que podem ser valorizadas.

Opções reais

A origem do conceito de opções reais remonta a 1977 e foi cunhado pelo professor Stewart Myers (Moel e Tufano, 2000; Myers, 1977), mais tarde popularizado por Maubousin (1999). Gertner e Rosenfield (1999) definiram opções reais como um método para valorizar oportunidades, considerando a possibilidade de alterar as decisões para resolver a incerteza, o que difere da tradicional técnica dos fluxos de caixa atualizados. As opções reais podem ser vistas como um mecanismo para apoiar o processo de decisão, na presença de incerteza e como uma maneira de valorizar a flexibilidade. Para Couto (2006), a flexibilidade é a capacidade de adaptação das decisões futuras a comportamentos ines-

perados do mercado. No que diz respeito ao nosso trabalho, iremos usar um valor de opção sobre o inventário, considerando as vendas futuras (por exemplo, Osowski, 2004), em oposição às técnicas tradicionais de gestão de inventário, que associam o inventário aos custos derivados da sua existência.

Descrição do problema, pressupostos e notação

Perante uma determinada capacidade instalada e na presença de restrições na utilização de subcontratação, é possível usar uma alternativa para adequar os inventários nas diferentes fases de uma cadeia, considerando a minimização do risco de escassez de produto com os consequentes efeitos negativos nas vendas.

Assumimos que as decisões sobre inventários, em todas as etapas, são centralizadas numa única autoridade com poder de decisão na cadeia de abastecimento. Consideramos que todas as informações relacionadas com *stocks* estão disponíveis (reforçando o que decorre da literatura tradicional), evitando impactos na construção do modelo, decorrentes de comportamentos internos divergentes. Assumimos também que não há escassez de recursos na cadeia durante o período em análise, o que difere do estudo de Tan (2002).

Vamos referenciar apenas os artigos fabricados e a procura será tratada como uma variável estocástica (a empresa não tem qualquer influência sobre a quantidade e o preço de venda). Consideramos que qualquer procura não satisfeita a partir de inventários é perdida no momento atual « t », os prazos de entrega são fixos e conhecidos (de acordo com as condições contratadas com os clientes). Ignoramos o impacto da perda de quota de mercado, no momento futuro « $t + 1$ », como consequência de escassez de produto no momento atual « t ».

Consideramos que a cadeia tem um número arbitrário de etapas e pontos de decisão sobre inventários numerados na ordem inversa do fluxo de materiais, ou seja, do mercado para as fases de fornecimento a montante. Vamos numerar a fase mais a jusante, próxima do mercado (perspetiva do mercado), com a notação «1».

A decisão sobre o nível de inventário é baseada nos resultados de um modelo de otimização. A formulação do problema exige uma abordagem determinística para a maioria dos

parâmetros, exceto a procura, afetando todas as fases da cadeia. De forma a evitar perturbações na análise, o modelo ignora a eficiência dos recursos disponíveis e os estrangulamentos de capacidade. As diferenças nas fases da cadeia de abastecimento estão apenas relacionadas com o tempo de processamento das atividades e o custo das mesmas.

A fonte de incerteza que trabalhamos é a procura, a qual iremos representar com a notação «D»; a evolução da procura é o *input* mais relevante para o modelo. Assumimos que a procura é estocástica e segue um processo geométrico Browniano (pressuposto também assumido por Bengtsson, 2001; Pindyck, 1988; Tannous, 1996). O processo da procura é representado por

$$dD = \alpha D dt + \sigma D dz \tag{1}$$

em que $dz = \varepsilon(t)/\sqrt{dt}$; $\varepsilon(t) \sim N(0,1)$; α = taxa de crescimento;

σ = volatilidade; dz = incremento de um processo de Wiener e $\varepsilon(t)$ é uma variável não correlacionada e normalmente distribuída.

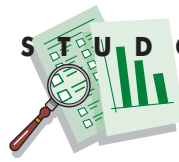
Da equação (1) retiramos que a procura «D» é distribuída de forma lognormal, com variância que cresce com o tempo (pressuposto igualmente assumido por Bengtsson (2001). A procura é modelada como um processo contínuo. Assumimos que toda a produção segue a política *make-to-stock* e as decisões sobre os níveis de inventário são tomadas de acordo com os períodos de planeamento definidos. Trata-se de uma simplificação do quadro temporal da decisão. Na Tabela 1 são apresentadas as variáveis de suporte ao modelo e as respetivas notações usadas.

Regras de decisão

Definimos uma opção, $\Omega_\varphi(t)$, que termina no momento «t» e dá a possibilidade de ajustar o nível de inventário quando

Tabela 1
Descrição das variáveis

Notação / Descrição da variável			
h	Fator de obsolescência	k_s	Custo de manuseamento do stock
D	Procura em quantidade	c_λ	Custo unitário das atividades em cada fase
c_v	Custo unitário variável de produção	I_{t-1}	Inventário existente no início do período t
p_v	Preço unitário de venda	λ	Fase da cadeia de abastecimento
$1-S$	Taxa de rutura	ϕ	Número de fases
K	Parâmetro definido em função da taxa de rutura (distribuição normal)	θ	Custo médio do artigo
S	Nível de serviço	φ	Identificação da fase (estádio)
L	Prazos de entrega	ζ_λ	Operações desenvolvidas em cada fase
τ_λ	Tempo de processamento em cada fase	M_v	$(p_v - c_v) \cdot D$
j	Custo médio de capital ponderado, ajustado ao período em análise	Ω_λ	Opção de <i>overstock</i> em cada fase
		Ω_φ	Opção de <i>overstock</i> na fase φ



os benefícios daí decorrentes excedam os custos necessários ao exercício da opção respeitando o limite para o capital investido. O valor da opção no momento « t » e na fase « φ » pode ser representado por:

$$D \cdot \left(\theta - \sum_{\lambda=1}^{\varphi-1} c_{\lambda} \right) \cdot \left(L_r + \sum_{\lambda=1}^{\varphi-1} \tau_{\lambda} \right) \cdot K \left(1 - j - h - \frac{k_s}{\left(\theta - \sum_{\lambda=1}^{\varphi-1} c_{\lambda} \right)} \right) - M_v \cdot (1 - S) - \sum_{\lambda=1}^{\varphi-1} \Omega_{\lambda} - I_{r-1} \quad (2)$$

O valor da opção de overstock na fase « φ » é o valor terminal da condição:

$$\Omega_{\varphi}(t) = \max \left[D \cdot \left(\theta - \sum_{\lambda=1}^{\varphi-1} c_{\lambda} \right) \cdot \left(L_r + \sum_{\lambda=1}^{\varphi-1} \tau_{\lambda} \right) \cdot K \left(1 - j - h - \frac{k_s}{\left(\theta - \sum_{\lambda=1}^{\varphi-1} c_{\lambda} \right)} \right) - M_v \cdot (1 - S) - \sum_{\lambda=1}^{\varphi-1} \Omega_{\lambda} - I_{r-1}, 0 \right] \quad (3)$$

Cada fase « φ » requer um determinado número de operações representadas por « ζ_{λ} » com um custo unitário « c_{λ} » e o tempo de processamento « τ_{λ} ». Onde « Ω_{φ} » representa o valor do overstock na fase « φ »; « $D \cdot \left(\theta - \sum_{\lambda=1}^{\varphi-1} c_{\lambda} \right) \cdot \left(L_r + \sum_{\lambda=1}^{\varphi-1} \tau_{\lambda} \right) \cdot K - \sum_{\lambda=1}^{\varphi-1} \Omega_{\lambda}$ » representa o inventário permitido para uma determinada procura na fase « φ »; « $M_v(1 - S)$ » representa a perda de margem pela falta de produto disponível; « $j + h + \frac{k_s}{\left(\theta - \sum_{\lambda=1}^{\varphi-1} c_{\lambda} \right)}$ »

representa o custo de oportunidade pela posse de inventários, o risco de obsolescência e o peso dos custos de manuseamento dos inventários no custo total do produto, e « $\Omega_{\varphi-1}$ » representa o overstock na fase imediatamente anterior.

$$0 \leq \sum_{\lambda=1}^{\varphi-1} \Omega_{\lambda}(t) \leq C^i \quad (4)$$

$$(\varphi - 1) > 0 \quad (5)$$

C^i = capital investido permitido para o momento « t ».

O overstock em cada fase pode ser expresso como uma call europeia, onde

$$D \cdot \left(\theta - \sum_{\lambda=1}^{\varphi-1} c_{\lambda} \right) \cdot \left(L_r + \sum_{\lambda=1}^{\varphi-1} \tau_{\lambda} \right) \cdot K \left(1 - j - h - \frac{k_s}{\left(\theta - \sum_{\lambda=1}^{\varphi-1} c_{\lambda} \right)} \right) - M_v \cdot (1 - S) - \sum_{\lambda=1}^{\varphi-1} \Omega_{\lambda}$$

é o valor do ativo subjacente para cada fase da cadeia de abastecimento. O nível de inventário atual « I_{t-1} » é considerado o preço de exercício. Uma ordem de produção para aumento de stock ocorrerá sempre que $\Omega_{\varphi}(t) \geq 0$. A opção de overstock dá o direito de aumentar o stock face à situação atual e termina no momento « t ».

Condições de barreira

O valor da opção é nulo, quando $\Omega_{\varphi}(t) \leq 0$.

Condições terminais:

$$\max \left[D \cdot \left(\theta - \sum_{\lambda=1}^{\varphi-1} c_{\lambda} \right) \cdot \left(L_r + \sum_{\lambda=1}^{\varphi-1} \tau_{\lambda} \right) \cdot K \left(1 - j - h - \frac{k_s}{\left(\theta - \sum_{\lambda=1}^{\varphi-1} c_{\lambda} \right)} \right) - M_v \cdot (1 - S) - I_{r-1} - \sum_{\lambda=1}^{\varphi-1} \Omega_{\lambda}, 0 \right] \quad (6)$$

$\Omega_{\varphi}(t)$ representa o valor ótimo na fase « φ »:

$$D \cdot \left(\theta - \sum_{\lambda=1}^{\varphi-1} c_{\lambda} \right) \cdot \left(L_r + \sum_{\lambda=1}^{\varphi-1} \tau_{\lambda} \right) \cdot K \left(1 - j - h - \frac{k_s}{\left(\theta - \sum_{\lambda=1}^{\varphi-1} c_{\lambda} \right)} \right) - M_v \cdot (1 - S) - I_{r-1} - \sum_{\lambda=1}^{\varphi-1} \Omega_{\lambda} \quad (7)$$

Valorização da opção

O valor da opção de overstock para « t » e na fase « φ », deverá satisfazer a seguinte equação diferencial:

$$\alpha \cdot D \cdot \frac{d\Omega_{\varphi}}{dD} + \frac{1}{2} \cdot \sigma^2 \cdot \frac{d^2\Omega_{\varphi}}{d^2D} - r\Omega_{\varphi} = 0 \quad (8)$$

Medida do impacto da incerteza

Usamos a métrica « $\frac{\sum_{\varphi=2}^{\phi} \Omega E_{\varphi}}{\sum_{\varphi=1}^{\phi} \Omega E_{\varphi} + \Omega D} \times 100$ » para medir o nível

de penetração da incerteza e para suportar as nossas conclusões sobre a exposição ao risco de cada fase da cadeia.

A métrica proposta compara o overstock na fase a jusante da cadeia com o existente nas fases a montante. O overstock na fase mais a jusante é descrito como «overstock procura» e representado por « ΩD » e o overstock a montante para cada fase « φ » é representado « ΩE_{φ} ».

Ilustração numérica, resultados e análise de sensibilidade

O exemplo numérico, cujos dados são apresentados na Tabela 2 (ver p. 73), é sobre a aplicação do conceito a uma empresa industrial e para um único grupo de produtos. A empresa avalia o nível de inventários, usando dados históricos, mas considerando que a volatilidade da procura é superior a 20%, a empresa antecipa stocks para evitar ruturas. A procura é considerada como uma variável estocástica e a volatilidade a considerar, para efeitos de simulação, resulta da análise de dados históricos e da perseguição da equipa de gestão.

Assim, iremos considerar a volatilidade de 0,25 (cálculo

suportado na Tabela 3) (ver p. 74). A cadeia de abastecimento é composta por seis fases (acrescidas da última etapa a jusante, que é usada somente para efeitos de simulação). O custo de processamento e a unidade de tempo das fases são baseados, respetivamente, no prazo de entrega e no custo unitário médio dos produtos.

Tabela 2
Dados base para suportar a ilustração numérica

Variável	Valor	Unidade
D	262.051	m ²
I_{t-1}	4.849.145	euros
h	0,002	coeficiente
c_v	5,000	€/unidade
p_v	15,000	€/unidade
S	95,000	%
j	0,500	%/mês
L	1,500	meses
k_s	0,263	€/unidade
θ	7,500	€/unidade

Considerados os pressupostos base, apresentaremos de seguida os resultados mais relevantes para suportar as três hipóteses formuladas, tendo em conta o grau de penetração e análise de sensibilidade dos diferentes estádios ao longo da cadeia, de jusante para montante, perante diferentes graus de incerteza da procura e o impacto de valores ótimos de inventário, na suavização da penetração da incerteza externa e no nível global de stocks (ver Figura 1, p. 75).

Desta primeira análise, e testando a Hipótese 1, constatamos que existe relação entre o nível de penetração da procura nas fases a montante da cadeia de abastecimento e o nível de *overstock* existente a jusante. A penetração da incerteza diminui nas fases mais a montante: níveis elevados de inventário nas fases a jusante diminuem o nível de penetração da incerteza. Assim, a penetração da incerteza pode ser suavizada pelo nível de *overstock* nas fases a jusante da cadeia.

Vamos de seguida testar a Hipótese 2, pela análise da

sensibilidade da incerteza interna, face a variações na incerteza da procura. Os resultados são descritos na Tabela 4 e suportados pela Figura 2, através dos quais verificamos que as fases a jusante são as mais expostas aos níveis de incerteza do mercado. Simulamos o impacto, para diferentes valores de incerteza externa.

Por exemplo, explorando a Tabela 4 (ver p. 75), verificamos que perante um nível de incerteza de mercado igual a 10%, os últimos estádios a montante da cadeia (estádios 5 e 6), não são afetados pela incerteza da procura, uma vez que estão protegidos por níveis adequados de *overstock* nos estádios mais a jusante. Para valores mais elevados de incerteza da procura, por exemplo 30%, a exposição no último estádio a montante (estádio 6) é de 1%, evidenciando uma suavização da incerteza externa na ordem dos 97%. Na Figura 2 (ver p. 76) confrontamos, graficamente, a relação da incerteza de mercado com a incerteza medida em cada um dos estádios da cadeia. Verificamos, assim, a suavização da incerteza dos estádios a jusante (estádio 1) para os estádios a montante (estádio 6).

Testaremos de seguida a Hipótese 3, simulando o efeito no valor do *overstock* global, derivado da introdução de valores considerados não ótimos, nas diversas fases da cadeia de abastecimento (ver Tabela 5, p. 76).

Simulamos diferentes cenários, apresentados na Tabela 5, Figura 3 e 4 (ver p. 77), considerando o exercício de opções com valores não ótimos em diferentes estádios da cadeia. Concluímos que o exercício de valores não ótimos, nos estádios a montante, provoca um maior impacto no nível global de stocks. Desta forma, demonstramos que o exercício dos valores ótimos contribui para a redução do nível global de stocks.

Os resultados encontrados evidenciam que o nível de capital investido em stocks dentro da cadeia é afetado pela exposição à incerteza. Assim, o nível de flexibilidade existente na cadeia e as ferramentas de gestão de risco devem ser considerados na determinação do nível de *overstock* na última fase a jusante da cadeia. Também demonstramos que a aplicação da metodologia das opções reais permite quantificar o impacto da incerteza ao longo da cadeia. Por último, simulamos valores não ótimos e, pelos resultados, constatamos o aumento do capital em stocks.

Tabela 3
Suporte ao cálculo da volatilidade histórica

Período (meses)	$D_t (x10^4)$	$R_t = \ln(D_t - D_{t-1})$	$R_m = (R_t)^2$	$(R_t - R_m)^2$
1	0,82			0,00
2	1,13	0,31	0,10	0,09
3	0,82	-0,31	0,10	0,11
4	1,09	0,28	0,08	0,07
5	1,25	0,14	0,02	0,01
6	1,12	-0,11	0,01	0,02
7	0,86	-0,27	0,07	0,08
8	0,53	-0,48	0,23	0,25
9	1,00	0,64	0,41	0,39
10	1,28	0,25	0,06	0,05
11	1,03	-0,22	0,05	0,06
12	1,10	0,07	0,00	0,00
13	0,99	-0,11	0,01	0,02
14	0,99	0,00	0,00	0,00
15	0,83	-0,19	0,03	0,04
16	1,22	0,39	0,15	0,14
17	1,04	-0,15	0,02	0,03
18	1,15	0,10	0,01	0,01
19	0,90	-0,25	0,06	0,07
20	0,95	0,06	0,00	0,00
21	1,11	0,16	0,02	0,02
22	1,37	0,21	0,04	0,04
23	1,12	-0,20	0,04	0,05
24	1,25	0,11	0,01	0,01
25	1,25	0,00	0,00	0,00
	R_m	0,02		
		Soma	1,55	1,54
		VH	24,87%	25,32%

VH=volatilidade histórica

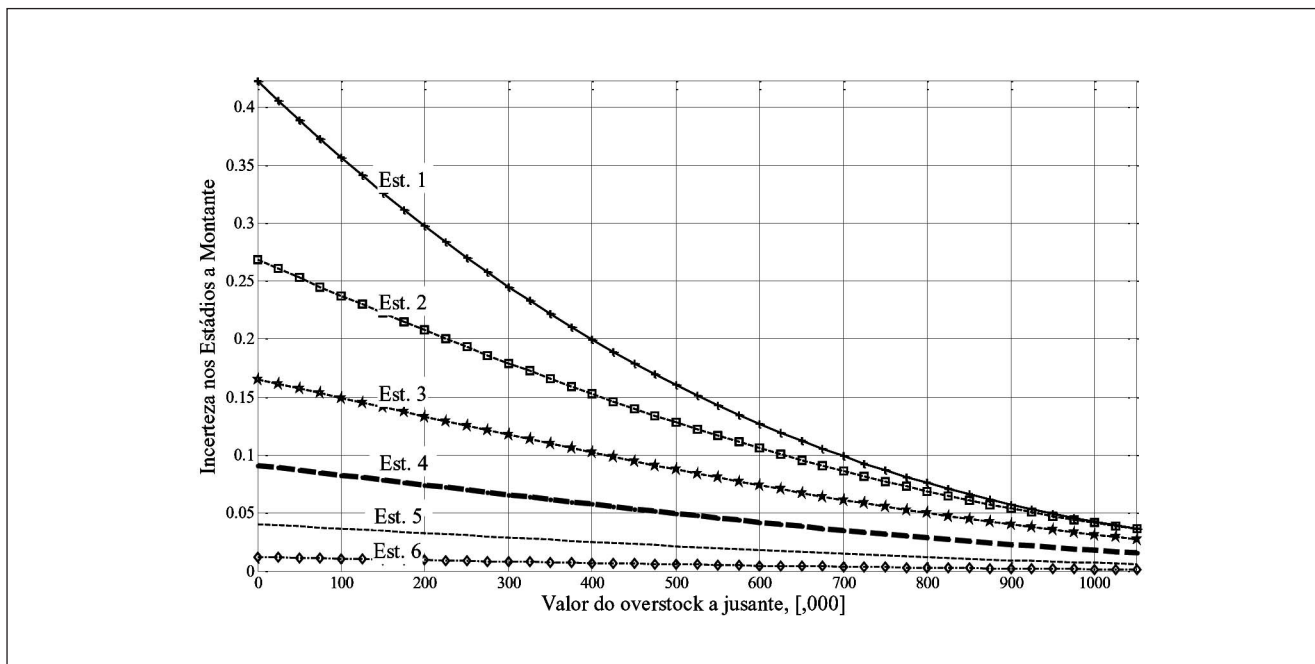
D_t =procura período t

Detetamos a existência de interação entre os vários estádios e o efeito de penetração da incerteza, com base nos parâmetros do modelo: custo de processamento e tempo, o que é coerente com o trabalho prévio apresentado por Emerson *et al.* (2009).

Conclusões

Apresentamos o *overstock* como uma ferramenta alternativa à gestão de *stocks* e defendemos que o seu cálculo pode ser suportado em opções reais, devido principalmente a dois fatores: a procura – como uma variável de incerteza – e o

Figura 1
Penetração da incerteza da procura, por cada estágio
da cadeia de abastecimento



Nota: Estádios de jusante (Est. 1) para montante (Est. 6).

Tabela 4
Sensibilidade dos diferentes estádios a variações na volatilidade da procura (%)

Volatilidade da procura	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0
Estádio 1	0,0	2,4	9,1	15,4	19,9	23,4
Estádio 2	0,0	2,2	7,9	12,5	15,3	17,0
Estádio 3	0,0	1,2	5,0	8,3	10,2	11,4
Estádio 4	0,0	0,3	2,2	4,3	5,8	6,6
Estádio 5	0,0	0,0	0,6	1,6	2,5	3,1
Estádio 6	0,0	0,0	0,1	0,3	0,7	1,0

Nota: Estádios de jusante (Estádio 1) para montante (Estádio 6)

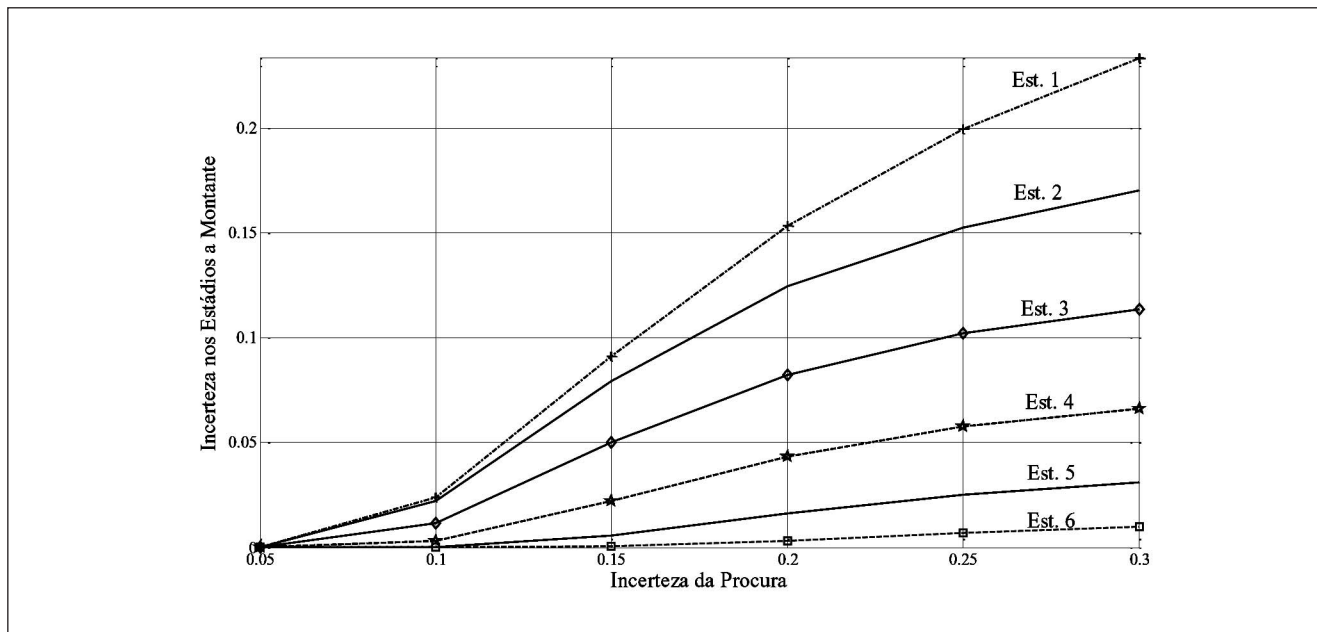
overstock – como um valor de flexibilidade dentro da cadeia de abastecimento. No processo de decisão sobre o overstock, existe relação entre o aumento da incerteza e a necessidade de aumentar o valor dos stocks.

Neste trabalho avaliamos a importância da flexibilidade

na determinação do valor de stocks em diferentes estádios para garantir uma cadeia de abastecimento equilibrada, em ambientes de incerteza.

Em concreto, pelo teste da primeira hipótese avançada (h1), concluímos que o nível de inventários, a jusante da

Figura 2
Relação entre a penetração da incerteza nos estádios a montante e a incerteza do mercado, por cada estádio



Nota: Estádios de jusante (Est. 1) para montante (Est. 6)

Tabela 5
Simulação para valor não ótimo = 200 x 10³ euros, nos diferentes estádios

Cenários	Estádio 1	Estádio 2	Estádio 3	Estádio 4	Estádio 5	Estádio 6	Valor Global
Valor ótimo	324	205	127	70	31	9	765
C1-Valor não ótimo Estádio 1	524	147	97	54	24	7	852
C2-Valor não ótimo Estádio 2	324	405	86	49	21	6	890
C3-Valor não ótimo Estádio 3	324	205	327	44	19	5	924
C4-Valor não ótimo Estádio 4	324	205	127	270	17	4	947
C5-Valor não ótimo Estádio 5	324	205	127	70	231	4	961
C6-Valor não ótimo Estádio 6	324	205	127	70	31	209	965

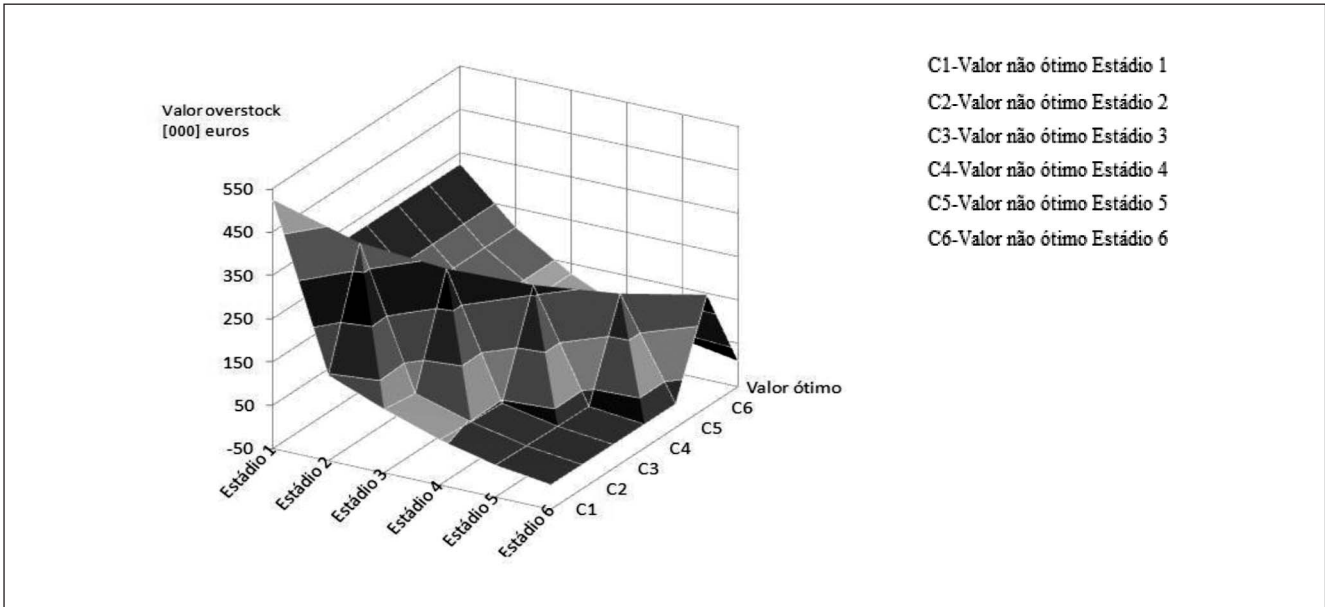
Nota: Estádios de jusante (Estádio 1) para montante (Estádio 6)

cadeia, influencia o grau de penetração da incerteza da procura externa, nos estádios mais a montante. Pelos ensaios sobre a segunda hipótese (h2), constatamos que as fases a jusante da cadeia são as mais sensíveis a variações na incerteza da procura externa. Finalmente, explorando a terceira hipótese (h3), suportamos a existência de um contributo positivo para a redução do valor global de inventários, pelo facto de existir integração e coordenação das

decisões sobre stocks ótimos ao longo dos diferentes estádios da cadeia.

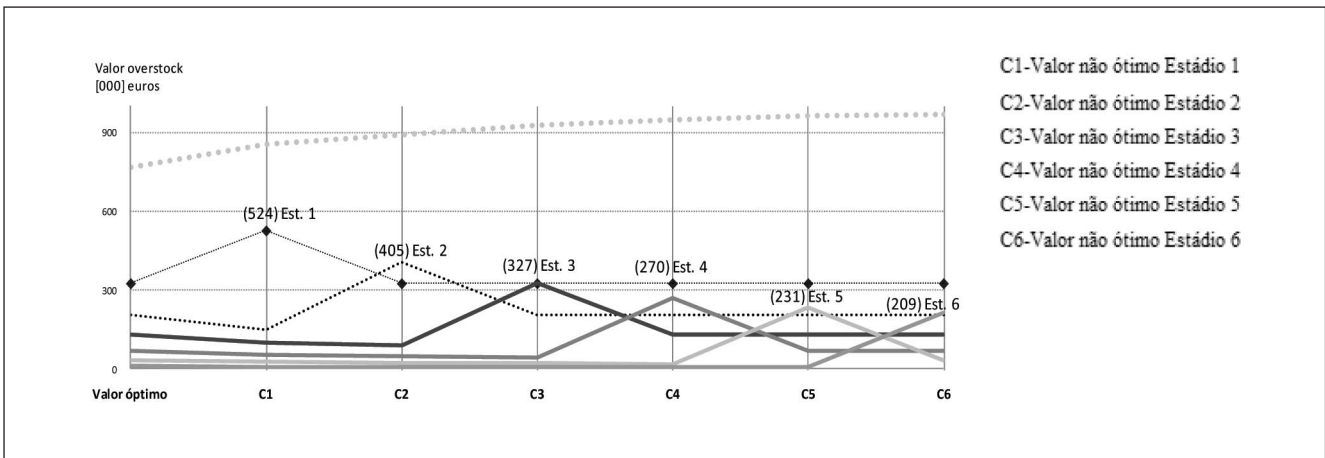
Com este estudo desenvolvemos uma ferramenta de decisão integrada, baseada num excedente de inventário, o que permite a análise de resultados sobre o nível de stock ideal em diferentes pontos da cadeia, bem como o impacto de diferentes valores na última etapa, a jusante da cadeia. A principal contribuição do nosso trabalho consiste no alargamen-

Figura 3
Simulação do efeito no «overstock», por estádio, pela introdução de valores não ótimos



Nota: Estádios de jusante (Estádio 1) para montante (Estádio 6).

Figura 4
Simulação do efeito no «overstock» global, pela introdução de valores não ótimos em cada um dos estádios

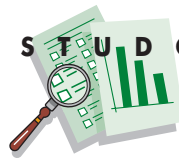


Nota: Estádios de jusante (Est. 1) para montante (Est. 6).

to das ferramentas utilizadas para medir o valor da flexibilidade das decisões, nas cadeias de abastecimento, em ambientes de incerteza.

Assumindo a existência de uma autoridade de decisão

única, a opção de overstock pode ajudar os gestores na condução e adequação dos recursos utilizados, permitindo um aumento na relação entre a eficácia e os custos. Em termos gerais, esta investigação contribui para o conflito de



Assumindo a existência de uma autoridade de decisão única, a opção de «overstock» pode ajudar os gestores na condução e adequação dos recursos utilizados, permitindo um aumento na relação entre a eficácia e os custos.

ideias sobre a estratégia de dividir os inventários, numa cadeia de abastecimento multi-estádios.

Desenvolvimentos futuros

De forma a introduzir maior diversidade no trabalho efetuado, julgamos que trabalhos futuros podem ser desenvolvidos no quadro do modelo proposto, considerando a interação no exercício das opções de overstock ao longo dos diferentes estádios da cadeia de abastecimento. Esta quarta hipótese subentende a possibilidade de não existência de uma autoridade integrada para decisões respeitantes a níveis de inventários. ■

Referências bibliográficas

ABHYANKAR, H. S. e GRAVES, S. C. (2001), «Creating an inventory hedge for Markov-modulated Poisson demand: An application and a model». *Manufacturing Service Operations Management*, vol. 3(4), pp. 306-320.

ATAMTURK, A. e HOCHBAUM, D. S. (2001), «Capacity acquisition, subcontracting, and lot sizing». *Management Science*, vol. 47, pp. 1081-1100.

BARNES-SCHUSTER, Bassok e ANUPINDI, Y. (2002), «Coordination and flexibility in supply contracts with options». *Manufacturing and Service Operations Management*, vol. 4(3), pp. 171-207.

BENGTSSON, J. (2001), «Manufacturing flexibility and real options». Department of Production Economics, I IE, Linköping Institute of Technology, S-581 83.

BERTRAND, J. W. e SRIDHARAN, V. (2001), «A study of simple rules for subcontracting in make-to-order manufacturing». *European Journal of Operational Research*, vol. 128, pp. 509-531.

BIRGE, J. (2000), «Option methods for incorporating risk into linear capacity planning models». *Manufacturing and Service Operations Management*, vol. 2(1), pp. 19-31.

BISH, E.; LIU, J. e SUWANDECHOCHAI, R. (2009), «Optimal capacity, product substitution, linear demand models, and uncertainty». *The Engineering Economist*, vol. 54(2), pp. 109-151.

BRADLEY, J. e GLYNN, P. (2002), «Managing capacity and inventory jointly in manufacturing systems». *Management Science*, vol. 48(2), pp. 273-288.

CHUNG, K. H. (1990), «Output decisions under demand uncertainty with stochastic functions: A contingent claims approach». *Management Science*, vol. 36(11), pp. 1311-1328.

COUTO, G. (2006), «Opções reais e decisão sob incerteza no processo de realocização». Doutoramento em Gestão, Instituto

Superior de Economia e Gestão, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

DANGL, T. (1999), «Investment and capacity choice under uncertain demand». *European Journal of Operational Research*, vol. 117, pp. 1-14.

DRIOUCHI, T.; BENNETT, D. e BATTISTI, G. (2006), «Capacity planning under uncertainty: An Asian option approach. Real options: Theory meets practice». *10th Annual International Conference*, 14-17 Jun 2006, Nova Iorque.

EMERSON, D.; ZHOU, W. e PIRAMUTHU, S. (2009), «Goodwill, inventory penalty, and adaptive supply chain management». *European Journal of Operational Research*, vol. 199(1), pp. 130-138.

GAIMON, C. (1994), «Subcontracting versus capacity expansion and the impact on pricing of services». *Naval Research Logistics*, vol. 41(7), pp. 875-892.

GERTNER, R. e ROSENFELD, A. (1999), «How real options lead to better decisions; [Surveys edition]». *Financial Times*, 25 de Outubro, p. 6.

GRAVES, S. C. e WILLEMS, S. P. (2000), «Optimizing strategic stock placement in supply chains». *Manufacturing & Service Operations Management*, vol. 2(1), pp. 68-83.

GUTIERREZ, G. e PAUL, A. (2000), «Analysis of the effects of uncertainty, risk-pooling, and subcontracting mechanisms on project performance». *Operations Research*, vol. 48(6), pp. 927-938.

KAMIAN, M. e LI, L. (1990), «Subcontracting, coordination, flexibility and production smoothing in aggregate planning». *Management Science*, vol. 36(11), pp. 1352-1363.

KOUEVELIS, P. e MILNER, J. M. (2002), «Supply chain capacity and outsourcing: the dynamic interplay of demand and supply uncertainty». *IIE Transactions*, vol. 34, pp. 717-728.

LEE, F. e WEN, U. (2007), «A heuristic approach for solving serially distributed storage depots under general-integer policy». *Asia – Pacific Journal of Operational Research*, vol. 24(4), pp. 479-497.

LIU, L.; LIU, X. e YAO, D. (2004), «Analysis and optimization of a multistage inventory-queue system». *Management Science*, vol. 50, pp. 365-380.

MAUBOUSSIN, M. J. (1999), «Get real: using real options in security analysis». *Frontiers of Finance: Credit Suisse First Boston Corporation*, Equity Research, 10.

MATUYAMA, K.; SUMITA, T. e WAKAYAMA, D. (2009), «Periodic forecast and feedback to maintain target inventory level». *International Journal of Production Economics*, vol. 118(1), pp. 298-304.

MOEL, A. e TUFANO, P. (2000), «When are real options exercised? An empirical study of mine closings». *Working paper*, Harvard Business School.

MOOLE, B. R. e KORRAPATI, R. B. K. (2004), «A decision support system model for forecasting in inventory management using probabilistic multidimensional data model (PMDDM)». *Allied Academies International Conference*. Academy of Information and Management Sciences. Proceedings, vol. 8(2), pp. 35-40.

MUKHOPADHYAY, S. K. e MA, H. (2009), «Joint procurement and production decisions in remanufacturing under quality and demand uncertainty». *International Journal of Production Economics*, vol. 120(1), pp. 5-17.

MYERS, S. (1977), «Determinants of corporate borrowing». *Journal of Financial Economics*, vol. 5(2), pp. 6-13.

OSOWSKI, N. R. (2004), «Inventory valuation decisions and strategy analysis». *A Thesis Submitted to the Graduate Faculty of the North Dakota State University of Agriculture and Applied Science*.

PENNINGS, E. e NATTER, M. (2001), «Strategic diversification and capacity utilization». *International Journal of Production Economics*, vol. 72(3), pp. 261-272.

PINDYCK, R. S. (1988), «Irreversible investment, capacity choice, and the value of the firm». *The American Economic Review*, vol. 78(5), pp. 969-985.

PLAMBECK, E. L. e TAYLOR, T. A. (2007), «Implications of renegotiation for optimal contract flexibility and investment». *Management Science*, vol. 53(12), pp. 1872-1886.

RYU, S. J.; TSUKISHIMA, T. e ONARI, H. (2009), «A study on evaluation of demand information-sharing methods in supply chain». *International Journal of Production Economics*, vol. 120(1), pp. 162-175.

SEREL, D.; DADA, M. e MOSKOWITZ, H. (2001), «Sourcing decisions with capacity reservation contracts». *European Journal of Operational Research*, vol. 131, pp. 635-648.

SHEFFI, Y. (2001), «Supply chain management under the threat of international terrorism». *The International Journal of Logistics Management*, vol. 12(2), pp. 1-11.

SPINLER, S. e HUCHZERMEIER, A. (2004), «The valuation of

options on capacity with cost and demand uncertainty». *European Journal of Operational Research*, vol. 171(3), pp. 915-934.

TAN, B. (2002), «Managing manufacturing risks by using capacity options». *Journal of the Operational Research Society*, vol. 53(2), pp. 232-242.

TAN, B. (2004), «Subcontracting with availability guarantees: production control and capacity decisions». *IIE Transactions*, vol. 36(8), pp. 711-724.

TAN, T.; GÜLLÜ, R. e ERKIP, N. (2009), «Using imperfect advance demand information in ordering and rationing decisions». *International Journal of Production Economics*, vol. 121(2), pp. 665-677.

TANNOUS, G. F. (1996), «Capital budgeting for volume flexible equipment». *Decision Sciences*, vol. 27(2), pp. 157-184.

VAN MIEGHEM, J. A. (1999), «Coordinating investment, production, and subcontracting». *Management Science*, vol. 45(7), pp. 954-971.

YU, J. (2010), «Optimal deteriorating items inventory model with a three-echelon supply chain strategic alliance». *Asia - Pacific Journal of Operational Research*, vol. 27(6), pp. 693-711.

O NOVO MANIFESTO CAPITALISTA

UMAIR HAQUE

REINVENTAR A MANEIRA DE FAZER NEGÓCIO

a vantagem do prejuízo

capacidade de resposta

resistência

criatividade

fazer a diferença

PREFÁCIO DE GARY HAMEL



ACTUAL

GRUPOALMEDINA

fazemos bem