

An integer linear programming model to support customer-driven material planning in synchronised, multi-tier supply chains

International Journal of Production Research

Volume 52

Número 14

Páginas do artigo pp. 4267–4278

ABSTRACT

Este artigo descreve um modelo de programação linear inteira concebido como uma alternativa a um sistema MRP (planeamento de necessidades de materiais) para estender o conceito de sincronização da cadeia de abastecimento a montante numa cadeia de abastecimento de vários níveis. Supõe-se que existe uma aplicação incumbente para transmitir os requisitos do fabricante de equipamento original (OEM) a fornecedores de primeiro, segundo e terceiro níveis. O modelo proposto é considerado como sendo incorporado num sistema de informações da cadeia de abastecimento habilitado para a Web e em várias camadas que fornece a aplicação para transmitir os requisitos de produção. O principal motivo para ter fornecedores de segundo e terceiro níveis sincronizados com a atividade de OEM e de primeiro nível são o *stock*, o prazo de entrega e os ganhos de capacidade de resposta que podem ser potencialmente alcançados. Aqui, o *stock* é considerado como um todo na cadeia de abastecimento, e as roturas de *stock* são proibidas para o fornecedor da primeira linha. Foi efetuado um estudo sobre um caso real, onde os resultados do modelo mostraram-se melhores em termos de *stock* e redução do efeito de chicote do que aqueles encontrados numa abordagem anterior baseada em simulação. Além disso, é fornecida uma comparação dos resultados de casos propostos com aqueles da aplicação do MRP convencional.

RESUMO DO ARTIGO

Coronado e Lyons em 2008 investigaram várias vantagens associadas à sincronização sequencial e simultânea de entregas de componentes a um fornecedor de segundo nível em duas cadeias de abastecimento de automóveis. A sincronização numa cadeia de abastecimento refere-se a um planeamento de necessidades de materiais (MRP) em que um fornecedor produz exatamente o que um fabricante de equipamento original (OEM) solicita respeitando determinado *lead time*. O uso de dados dos pedidos de (OEM) para a determinação das necessidades de material de segundo e terceiro nível está em conformidade com a noção da cadeia de abastecimento impulsionada pela procura. Os autores em causa consideraram vários aspetos essenciais da cadeia de abastecimento, tais como a proximidade geográfica, janelas de tempo para entregas e os tempos de deslocamento entre os diferentes níveis da mesma. Os aspetos anteriormente enumerados foram validados e demonstrados através de simulações em folhas de cálculo, melhorias de sincronização em termos de redução do efeito de chicote, níveis gerais de sincronização e *stocks* reduzidos e de tempos de ciclo. Baseando-se na proximidade geográfica entre OEM e os fornecedores os autores ponderaram a hipótese de implementar entregas sequenciais

e sincronizadas. O modelo proposto foi implementado na indústria automóvel onde a aplicabilidade do sistema forneceu suporte a decisões para problemas de coordenação da produção. As primeiras formulações de MRP não foram associadas a nenhum tipo de otimização. No entanto, a maximização dos lucros, isto é, a minimização do prejuízo, e as restrições relacionadas ao reabastecimento, procura e capacidade dos recursos disponíveis foram gradualmente incorporadas com o objetivo de fornecer soluções ótimas para os problemas. O presente artigo propõe uma formulação de programação linear inteira para desenvolver a sincronização sequencial em cadeias de abastecimento multinível como um modelo MRP alternativo, onde a cada membro da cadeia são delegadas responsabilidades totais pelos componentes que fabricam. Podemos desta forma inferir que a partir das quantidades finais de veículos seja possível obter os requisitos das diversas componentes de segundo e terceiro níveis. Foram comparados os resultados de simulação com os do modelo em causa, assim como com o modelo MRP convencional e concluiu-se que foi possível produzir melhores resultados com o modelo proposto em termos de níveis de *stock* e de efeito chicote. Além disso, o modelo é flexível o suficiente para também considerar variáveis de decisão adicionais, como *stock* de segurança, restrições de capacidade, atrasos ou requisitos independentes em cada nível. A principal contribuição deste trabalho diz respeito à aplicação da programação linear inteira para abordar o planeamento de materiais em cadeias de abastecimento multinível e assim, garantir uma nova perceção fornecida por tal abordagem.

VARIÁVEIS DE DECISÃO

No contexto do problema, foram consideradas várias variáveis de decisão para minimizar o prejuízo ao longo da cadeia de abastecimento, nomeadamente variáveis para representar os níveis de *stock* do primeiro e segundo nível, as entregas de matérias primas no segundo e terceiro níveis e ainda as variáveis para definir os pedidos efetuados no primeiro nível desde o período inicial até ao final. As variáveis em questão pretendem englobar os vários níveis de *stock* desde o momento inicial até ao momento final da entrega do produto, relacionando-se com os respetivos pedidos ao longo de toda a cadeia. Assim, as variáveis de decisão a considerar são *Sit*, *Fit*, *INCit*, *INDit*, *IsslCit*, *IsslDit*, *IsshCit*, *IsshDit*, *ksit* e *ktit*, respetivamente.

MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR (INTEIRA)

O modelo em questão alicerça-se em seis suposições. A primeira é que cada matéria prima ou peça é atribuída apenas a um fornecedor. As seguintes, exigem que todos os

componentes, inerentes na cadeia de abastecimento, tem *stock* inicial, têm um *stock* de segurança pré-definido e considera-se tamanhos de lotes de entrega pré-definidos. Para além das suposições enunciadas, sabe-se que todos os pedidos de clientes são satisfeitos, o que resulta na não existência de *backorders*. Por fim, após a encomenda de um cliente, os fornecedores de primeiro, segundo e terceiro níveis, encadeiam e sequenciam a produção. Para iniciar a produção dos segundo e terceiro níveis, assume-se que os respetivos fornecedores tomam em consideração o tempo de produção e de transporte do fornecedor de primeiro nível.

O objetivo do modelo é manter o nível de *stock* disponível próximo do nível de *stock* de segurança e, ao mesmo tempo, gerar entregas ajustadas às quantidades de cada componente, num determinado período. Deste modo, a função objetivo minimiza as primeira e segunda camadas do nível de *stock*, camada mais alta e mais baixa, respetivamente, do nível de *stock* de segurança. Minimiza também, o desvio positivo entre entregas de segundo e terceiro níveis e minimiza quantidades de procura por produto num determinado período.

O modelo usa o ficheiro com a sequência dos pedidos inalterados da OEM. Estes são enviados para o fornecedor de primeiro nível, com o objetivo de determinar as entregas ou matéria-prima para os segundo e terceiros níveis num dado período de tempo. Posto isto, o modelo compara o *stock* disponível com o *stock* de segurança pré-definido e adiciona ou subtrai da procura bruta, com o objetivo de devolver os *stocks* disponíveis ao nível desejado.

As entregas são ajustadas para a procura e arredondadas para os tamanhos de lotes predeterminados.

São assim descritas as restrições necessárias para o modelo.

- 1: O saldo do *stock* de primeiro nível do componente i , no período inicial.
- 2: O saldo do *stock* de primeiro nível do componente i nos períodos restantes.
- 3: Controlar os *stocks* de primeiro nível abaixo dos níveis de *stock* alvo pré-definidos.
- 4: Controla os níveis de *stock* alvo, pré-definidos, superiores aos *stocks* de primeira linha.
- 5: Estabelece o número de segundo nível de tamanhos de lote de entrega do componente i no período t , onde entregas de tamanho do lote de segunda camada é superior a 1.
- 6: O saldo do *stock* de segundo nível para o componente i , no período inicial.
- 7: O saldo do *stock* de segundo nível, para o componente i , nos restantes períodos.
- 8: Controla os *stocks* de segundo nível abaixo dos níveis de *stock* alvo, pré-definidos.
- 9: Controla os níveis de *stock* alvo pré-definidos superiores dos inventários de segunda linha.
- 10: Estabelece o número de terceiras camadas de tamanhos de lote de entrega do componente i no período t .
- 11: Restrições de não-negatividade e definição de variáveis inteiras.

METODOLOGIA(S) USADA(S) NO ARTIGO

A pesquisa considerou dados reais de uma cadeia de abastecimento automóvel composta por uma fábrica de montagem automóvel (OEM), uma fábrica de montagem de assentos (primeiro nível), uma fábrica de encostos de cabeça (segundo nível) e um fornecedor de coberturas de encostos de cabeça (terceiro nível). O fornecedor de primeiro nível usa o ficheiro de pedidos da empresa principal como entrada para o seu sistema interno de MRP. Isto implica que a informação gerada pelo OEM é visível primeiro para os fornecedores de primeiro nível, mas não para os outros subsequentes. Estes factos implicam que o sinal de procura seja ampliado a montante da cadeia, resultando em ineficiência e níveis mais altos de *stock* ao longo da cadeia de abastecimento. O efeito de chicote encontrado nesta cadeia motivou o desenvolvimento de um modelo de programação linear inteira em que seria possível disponibilizar as informações de pedidos de produção da OEM para fornecedores de componentes de segundo e terceiro níveis. Para a resolução deste problema foi formulado um modelo de programação inteira linear para estender a sincronização sequencial na cadeia de abastecimento multinível, como alternativa ao modelo MRP.

Os autores definiram que o MRP alternativo seria executado todas as semanas para planear as entregas do segundo e terceiro nível, após o envio dos escalonamentos de produção da OEM ao fornecedor de primeiro nível. Para comparar os resultados foram executados três modelos: o modelo de otimização, o modelo de otimização com SSI como variáveis de decisão e o modelo convencional de cálculo de MRP. Todos estes métodos foram comparados entre si e também com a simulação da folha de cálculo usada por Coronado e Lyons. O modelo de otimização foi encontrado para produzir melhores resultados em termos de *stock*, efeito chicote e parâmetros relacionados com a política tais como o *stock* de segurança pretendido. Além disso o modelo é flexível o suficiente para considerar também variáveis de decisão adicionais, tais como o *stock* de segurança, restrições de capacidade, atrasos ou pedidos independentes em cada nível.

RESULTADOS COMPUTACIONAIS

O modelo proposto foi desenvolvido usando a linguagem MPL, V4.2 e a solução foi realizada com recurso ao *solver* de otimização, o Cplex 12.1.0. Os dados de entrada e os valores da solução do modelo foram processados com Microsoft SQL SERVER e a experiência correu num servidor com 2 processadores de 2.93 GHz cada um e 48 GB de RAM.

Os resultados obtidos indicam que o modelo MRP alternativo gera melhorias de *stock* no primeiro nível e as quantidades de entregas estão mais alinhadas no segundo nível com os pedidos da OEM. O efeito chicote para a simulação na folha de cálculo reduziu de 17,91 para 8,64 no modelo MRP alternativo. O modelo MRP alternativo com SSI como variáveis de decisão gera os menores níveis de *stock* no primeiro nível. O modelo MRP alternativo e a

simulação das folhas de cálculo tiveram melhores resultados do que o MRP convencional em termos de nível médio de *stock* e efeito de chicote. Na maioria dos casos os resultados dos modelos otimizados mostram-se melhores em termos de níveis de *stock* e redução do efeito de chicote. A solução do modelo MRP alternativo deste desafio da cadeia de abastecimento foi executada sem utilizar altos tempos de CPU. Além disso, é fácil aplicar as linguagens de programação matemática aos sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*) de uma empresa assim como a aplicação de modelos de programação matemática

permitem que a abordagem se possa estender a diferentes ambientes de produção.

REFERÊNCIAS

Para a realização do artigo foram usadas 36 referências, sendo a mais antiga de 1981 e a mais recente de 2012. Das referências utilizadas 2 são referentes a livros, 23 a jornais, 9 a revistas e 2 artigos.

PÁGINA PARA IDENTIFICAR OS ALUNOS DO GRUPO

Márcia Costa
A67672
marcia_210194@hotmail.com
Rua José Faria Martins R/C Esq nº
283 Costa - Guimarães

Ana Margarida Rolim
PG38332
amrolimmarques@hotmail.com
Rua 13 de Maio de 1986 nº6
Tenões Braga

Célia Figueiredo
A67637
celianlfg@hotmail.com
Rua da Costa nº1527 Chorento -
Barcelos