



COMPARTILHAMENTO DA INFORMAÇÃO COMO ELEMENTO DE COORDENAÇÃO DA PRODUÇÃO EM CADEIA DE SUPRIMENTO

Pythágoras Grangeiro Furtado

DPM, Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP,
C.P. 6122, Campinas, SP,
e-mail: furtado@fem.unicamp.br

Marcus Fabius Henriques de Carvalho

DGE, Centro de Pesquisas Renato Archer (CenPRA),
C.P. 6162, Campinas, SP,
e-mail: marcius.carvalho@cenpra.gov.br

Recebido em 01/8/2003
Aprovado em 21/12/2004

Resumo

Este artigo estuda o planejamento da produção de uma cadeia de suprimento sob três cenários distintos de gestão e compartilhamento da informação, por meio de um modelo de otimização. No primeiro cenário são utilizadas somente as informações locais. No segundo cenário, informações de planejamento são compartilhadas entre empresa-cliente e empresa-fornecedora. No terceiro cenário há um compartilhamento global da informação. O estudo procura mostrar como a coordenação e o compartilhamento da informação contribuem para a melhoria do desempenho da cadeia. Por fim, é discutida a aplicação de uma ferramenta tecnológica para comunicação entre os membros da cadeia.

Palavras-chave: gerenciamento de cadeia de suprimento, planejamento da produção, coordenação, cooperação, otimização.

1. Introdução

Uma cadeia de suprimento (CS) é uma rede de empresas distribuídas geograficamente que realizam, de forma coletiva, diversas atividades inerentes ao fornecimento de produtos (Reid et al., 1996). O sucesso das atividades da CS depende da coordenação dos fluxos de informação, material e decisão entre as empresas, um problema que se mostra complexo por causa da dimensão da cadeia, às possíveis formas de gestão do negócio entre parceiros, e às tecnologias de comunicação utilizadas. Um exemplo de problema associado à falta de coordenação na CS é o fenômeno da distorção da informação de demanda. Este fenômeno, conhecido como **efeito chicote** (Lee et al., 1997), começou a ser estudado na década de 60, por Forrester (1961), que chegou à seguinte conclusão: quando a demanda de um produto é transmitida ao longo de uma série de empresas, por meio de pedidos, a variação entre a demanda conhecida na empresa-cliente (a que envia o pedido) e a demanda conhecida na empresa-fornecedora (a que recebe o pedido) cresce a cada transferência. As

causas do efeito chicote estão relacionadas com a estrutura de gestão descentralizada observada em grande parte das cadeias de suprimento, a qual nem sempre distribui a informação adequadamente a todos os elementos da cadeia (Simchi-Levi et al., 2000).

Possíveis soluções para contornar o efeito chicote passam pelo desenvolvimento de mecanismos de auxílio à tomada de decisão que considerem restrições e interesses individuais de cada empresa, buscando, ao mesmo tempo, um ponto de operação que torne competitivos os produtos da cadeia. A Figura 1 ilustra uma estrutura hierárquica sugerida por Carvalho e Campos (1997) para suporte ao processo decisório na CS. Nesta estrutura, o planejamento da produção passa a ser realizado em um nível superior, denominado **nível cooperativo** da cadeia de suprimento. O nível cooperativo deve gerar uma orientação de gestão, levando em conta restrições, necessidades e objetivos de cada empresa. Ele estabelece metas a serem perseguidas pelas empresas que compõem a cadeia, com

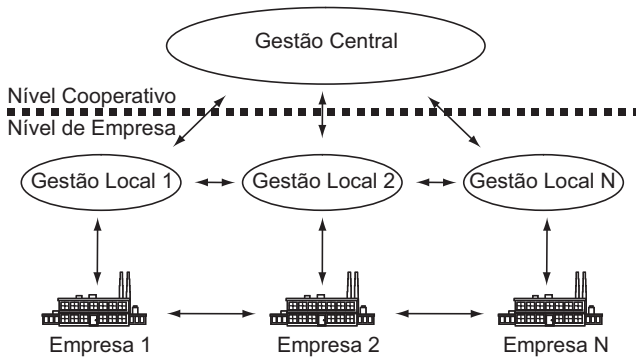


Figura 1. Estrutura hierárquica para planejamento.

base em uma visão global do processo produtivo. Tais metas, geradas em intervalos discretos de tempo, definem o **ponto ótimo** de operação para a CS como um todo.

Como indicado na Figura 1, no nível cooperativo existe um **coordenador centralizado** cujas decisões alimentam os sistemas de gestão local das empresas. As decisões tomadas são o quanto cada empresa deve produzir ou armazenar de cada item necessário para a composição do(s) produto(s) final(is) da cadeia, e quando a produção ou armazenagem destes itens deve ocorrer.

O planejamento interno a cada empresa continua ocorrendo, em um nível hierárquico inferior denominado **nível de empresa**. Neste segundo nível de decisão, cada parceiro procura administrar seu sistema de produção tendo como metas decisões tomadas no nível cooperativo. Durante o processo de planejamento local, pode-se identificar que algumas metas estabelecidas pelo nível cooperativo são inaceitáveis ou inatingíveis. Neste caso, novas restrições devem ser enviadas pelas empresas ao nível cooperativo, que as trata e devolve em forma de novas metas. Esta realimentação elimina inconsistências entre os níveis e facilita a convergência para um planejamento factível.

A modelagem utilizada neste trabalho para o planejamento no nível cooperativo baseia-se em programação matemática. Como se evidencia no transcorrer do artigo, o objetivo do nível cooperativo é estabelecer uma solução aproximada (indicações de metas para as empresas) realizável em curto tempo computacional. Nesse caso, portanto, a programação linear (PL) é suficiente. Técnicas mais recentes de programação matemática – como *steepest descent*, *simulated annealing*, *branch-and-bound* e algoritmos genéticos – podem, em alguns casos, resolver problemas não-lineares (Cleaves, 2001).

Este artigo apresenta, na seção 2, o modelo de otimização para o planejamento no nível cooperativo, baseado no trabalho de Carvalho e Fernandes (1999). Na seção 3, este modelo é usado em um estudo de caso que compara alguns enfoques para o planejamento da produção em uma rede de empresas distribuídas. Mostra-se também

como aplicar este modelo em uma cadeia de suprimento **multiproduto**. Na seção 4 é apresentada uma estrutura tecnológica genérica para a implementação de um sistema de informação que automatize a coordenação centralizada.

2. Modelagem da cadeia de suprimento por fluxo em redes

Um dos objetivos do planejamento da produção na cadeia de suprimento é propor meios de atender à demanda considerando as disponibilidades de materiais e capacidades operacionais das empresas componentes da cadeia. Outro objetivo importante, complementar ao anterior, é fazê-lo de maneira que o custo total da produção, traduzido pela soma dos custos associados aos processos de cada empresa, torne o produto da cadeia competitivo. Esta seção apresenta um modelo de otimização linear por fluxo em redes que visa a suportar decisões que atinjam os objetivos acima.

2.1 Modelagem da cadeia serial

A Figura 2 ilustra uma cadeia de suprimento com quatro empresas em série e o grafo correspondente para um horizonte de planejamento dividido em três períodos de tempo. Cada empresa, em um dado período, é representada por um arco horizontal ao qual estão associados um custo de operação e uma capacidade de produção, que podem ser diferentes em cada período. Os arcos verticais representam armazenagens entre os períodos (também custos e capacidades são associados a estes arcos). Cada nó representa um ponto de decisão no qual se determina o quanto produzir e o quanto armazenar para processamento futuro. O fluxo correspondente à demanda (d) “entra” pelo nó-extremo (em negrito) à esquerda do grafo, sendo a partir daí distribuído pela rede (normalmente indica-se com o sinal “+” a “entrada” ou “injeção” de fluxo em um nó). A mesma quantidade d deve “sair” pelo nó-extremo à direita do grafo, de forma que o balanço de fluxo na rede se conserve (a “saída” de fluxo de um nó é indicada com o sinal “-”). O objetivo do planejamento é determinar a quantidade de itens que cada empresa deve produzir ou armazenar por período. O modelo algébrico que fornece as informações acima, objetivando a redução do custo total de produção no menor nível possível, é dado por

$$\begin{aligned} & \text{Min } \mathbf{c}\mathbf{x} \\ \text{s.a. } & \mathbf{A}\mathbf{x} = \mathbf{b} \\ & \mathbf{S}\mathbf{x} \leq \mathbf{r} \\ & \mathbf{v} \leq \mathbf{x} \leq \mathbf{u} \end{aligned} \quad (1)$$

em que \mathbf{x} é o vetor de variáveis de decisão (fluxos a determinar), \mathbf{c} é o vetor de custos, \mathbf{A} é a matriz de incidência nó-arco em blocos-diagonais (associada às restrições de balanço da rede), \mathbf{b} é o vetor de demanda (ou suprimento) nos nós, \mathbf{S} é a matriz de coeficientes das **restrições adi-**

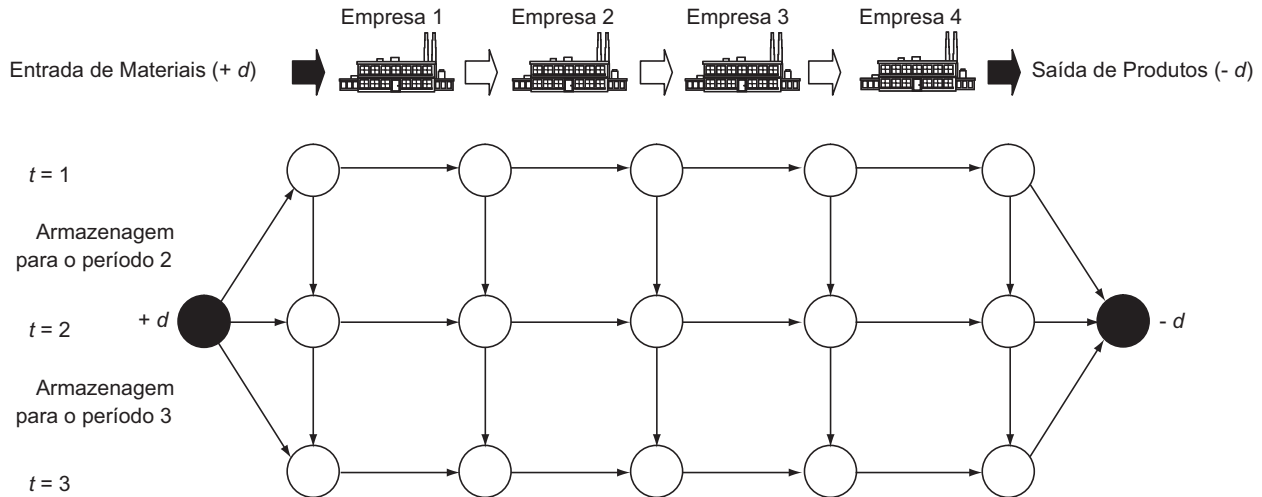


Figura 2. Grafo da cadeia de suprimento serial para três períodos de tempo.

cionais de capacidade e \mathbf{r} é o vetor de **capacidades mútuas**. A desigualdade $\mathbf{Sx} \leq \mathbf{r}$ define as restrições adicionais de capacidade, cujo papel é garantir que a fabricação simultânea de produtos diferentes em uma empresa não leve à violação da capacidade desta empresa. Os vetores \mathbf{v} e \mathbf{u} definem os limitantes inferiores e superiores (capacidades) dos arcos.

Considerando que a cadeia de suprimento pode processar P diferentes produtos e que cada produto tem correspondência com um grafo como o da Figura 2, tem-se a seguinte estrutura genérica para a matriz de restrições:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{A} \\ \mathbf{S} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_1 & & & \\ & \mathbf{A}_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & \mathbf{A}_P \\ \hline \mathbf{S}_1 & \mathbf{S}_2 & \dots & \mathbf{S}_P \end{bmatrix} \quad (2)$$

Na estrutura acima, \mathbf{A}_p é a matriz de incidência nó-arco correspondente ao grafo do produto P e \mathbf{S}_p é uma matriz esparsa que define a participação do produto P nas restrições adicionais de capacidade.

2.2 Modelagem da cadeia não-serial

Uma cadeia de suprimento não-serial (isto é, na qual partes do produto final são processadas em paralelo), com horizonte de planejamento dividido em dois períodos, é ilustrada na Figura 3. Esta cadeia é composta por três sub-cadeias seriais acopladas, conforme a Figura 3a, de forma que o grafo da Figura 3b é obtido pela sobreposição dos três grafos que representam estas sub-cadeias. Os arcos de armazenagem entre períodos aparecem pontilhados e os nós de demanda/suprimento aparecem em negrito. As demandas d_2 e d_3 são proporcionais a d_1 , que é a demanda do produto final da cadeia.

Uma das funções mais importantes do planejamento da produção na cadeia não-serial é coordenar o fluxo de

partes nos pontos de montagem (indicados com “M”, na Figura 3), visando eficiência na composição dos produtos finais. É necessária uma sincronização perfeita para prevenir o aparecimento de estoques supérfluos entre as empresas ou a interrupção da produção pelo não-balanceamento entre os fluxos de produtos principais e os fluxos de componentes. Para adequar o modelo serial a esta nova característica, deve-se acrescentar a ele um terceiro grupo de restrições, chamadas **restrições adicionais de acoplamento**, associadas à matriz \mathbf{M} na Equação 3. Estas restrições modelam a sincronização dos fluxos de produtos semi-acabados nas empresas montadoras, integrando os grafos disjuntos que representam as sub-cadeias seriais.

$$\begin{bmatrix} \mathbf{A} \\ \mathbf{S} \\ \mathbf{M} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_1 & & & \\ & \mathbf{A}_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & \mathbf{A}_P \\ \hline \mathbf{S}_1 & \mathbf{S}_2 & \dots & \mathbf{S}_P \\ \hline & & & \mathbf{M}_1 \\ & & & \mathbf{M}_2 \\ & & & \ddots \\ & & & \mathbf{M}_P \end{bmatrix} \quad (3)$$

Geralmente, a matriz \mathbf{M} tem dimensões reduzidas (o número de linhas de \mathbf{M} é da ordem da quantidade de pontos de montagem que ocorrem na cadeia) se comparada à matriz \mathbf{A} , e possui **esparsidades localizadas** que tornam especial a estrutura acima. Estas características especiais são aproveitadas pelo algoritmo dedicado à resolução do problema.

3. Estudo de caso

Este estudo considera uma cadeia de suprimento com-

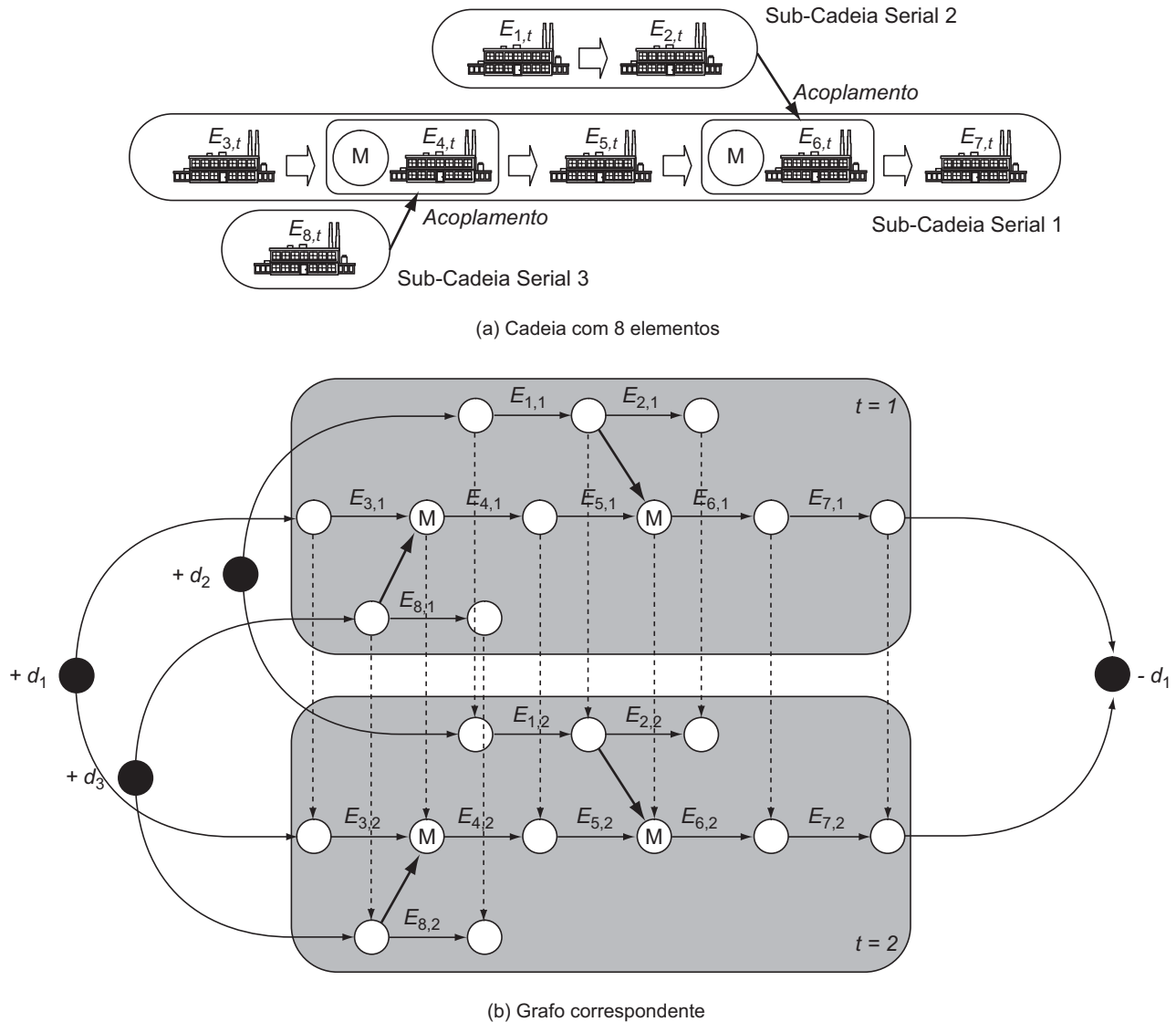


Figura 3. Cadeia de suprimento não-serial para dois períodos de tempo.

posta por sete empresas distribuídas em quatro estágios, conforme a Figura 4. No primeiro estágio, três varejistas recebem produtos acabados de um distribuidor localizado no segundo estágio. O distribuidor, por sua vez, recebe produtos manufaturados da montadora localizada no terceiro estágio. No quarto estágio estão dois fornecedores que suprem a montadora. A demanda por produtos acabados é conhecida ou pode ser prevista pelas empresas do primeiro estágio (varejistas), sendo transmitida, a partir daí, para os demais estágios, segundo diferentes políticas de gestão.

O objetivo do estudo é observar o comportamento temporal do sistema de produção ao longo da cadeia, para três cenários com níveis progressivamente maiores de cooperação entre as empresas. No menor nível de cooperação, cada empresa otimiza localmente seus custos operacionais, baseada em informações resumidas do pla-

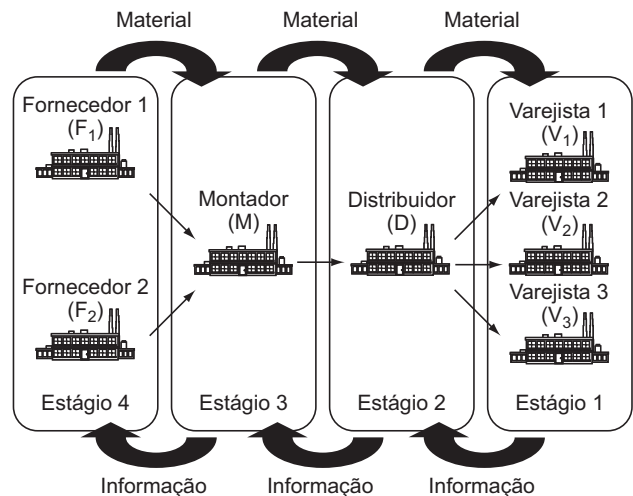


Figura 4. Cadeia de suprimento para estudo.

nejamento do estágio antecedente (cliente). No nível intermediário de cooperação, as empresas ainda realizam o planejamento localmente, porém com informações mais detalhadas acerca das políticas adotadas pelas demais empresas. Por fim, no nível mais alto de cooperação, as empresas compartilham toda a informação necessária para o planejamento global da cadeia, incluindo custos e capacidades.

3.1 Cenário 1: gestão com compartilhamento mínimo da informação

Neste primeiro cenário, cujo modelo de fluxo em redes é mostrado na Figura 5, somente os varejistas conhecem ou prevêm a demanda. A forma de gestão adotada permite que os varejistas “ditem” a política de produção às demais empresas. A partir do conhecimento de sua demanda, cada varejista otimiza sua produção – observando somente seus custos e capacidades – e coloca sua necessidade (d_i) ao distribuidor. Ao receber a necessidade total dos varejistas ($= d_1 + d_2 + d_3 = 100 + 200 + 50 = 350$), o distribuidor planeja suas atividades e coloca sua necessidade ao montador, que faz o mesmo com seus fornecedores. Toda a rede de empresas funciona como um sistema do tipo “puxa”, com o fluxo de informação caminhando empresa a empresa, no sentido contrário ao fluxo de materiais. Cada membro da cadeia toma suas decisões de produção com base na informação recebida da(s) empresa(s)-cliente(s). Como visto anteriormente, este enfoque dá margem a problemas de distorção de demanda (efeito chicote) durante o processo de transmissão da informação.

Na Figura 5 o problema de planejamento da produção da cadeia é representado por um grafo em que há três tipos principais de arcos:

- 1) **arcos de recebimento** (à esquerda de cada sub-grafo), que modelam o recebimento de material na empresa;
- 2) **arcos de produção** (no centro de cada sub-grafo), que modelam o processo produtivo. O termo “processo produtivo” não se refere apenas à atividade de fabricação, mas a qualquer atividade de transformação ou alteração de estado de um produto. Exemplificando, o processo produtivo do montador caracteriza-se pela montagem das partes, enquanto o processo produtivo do distribuidor caracteriza-se pela distribuição dos produtos ao varejista; e
- 3) **arcos de entrega** (à direita de cada sub-grafo), que modelam a entrega de material para o próximo estágio da cadeia.

Neste modelo estão indicados, abaixo dos arcos, os custos, os limites inferiores e as capacidades e, acima dos arcos, os fluxos ótimos obtidos. A quantidade injetada para satisfazer a demanda mensal de uma empresa é distribuída em quatro parcelas semanais, de acordo com

os critérios de custos e capacidades que guiam a otimização. No caso do primeiro varejista (V_1), por exemplo, a política obviamente mais vantajosa é ocupar toda a capacidade de produção disponível nas semanas 2, 3 e 4, onde os custos (9, 9, 9) são menores que na semana 1 (10). Note, porém, que o plano de produção varia de um varejista para outro, uma vez que variam também os custos e outros parâmetros da otimização.

Definidos os planos de produção dos varejistas, ficam definidos os pedidos (solicitações de produtos) a serem enviados para o distribuidor. Isto é modelado por meio da colocação de limites inferiores nos arcos de entrega do grafo do distribuidor. Estes limites inferiores devem ser iguais às demandas dos varejistas em cada semana. Para a semana 1, por exemplo, o distribuidor deverá entregar no mínimo uma quantidade igual à soma das produções previstas para os varejistas V_1 , V_2 e V_3 nesta semana. Assim, o limitante inferior para o arco de entrega relativo à primeira semana é igual a $\text{fluxo}(V_1,1) + \text{fluxo}(V_2,1) + \text{fluxo}(V_3,1) = 10 + 20 + 15 = 45$. Por meio de cálculos semelhantes, são determinadas as necessidades mínimas de 105, 105 e 95 unidades para as semanas 2, 3 e 4, respectivamente (ver Figura 5).

A partir dos resultados acima, verifica-se que, embora a capacidade mensal do distribuidor ($=$ soma das capacidades dos quatro arcos de produção $= 400$) seja suficiente para atender à demanda mensal dos varejistas ($= 350$), haverá problema nas semanas 2 e 3, nas quais a capacidade de produção do distribuidor (100 unidades/semana) é inferior à demanda dos varejistas (105 unidades/semana). Isto ocorre porque o tamanho dos lotes semanais foi dimensionado unicamente segundo critérios de capacidade e custo dos varejistas (i.e., as capacidades e os custos do distribuidor não são considerados). Como consequência, 10 unidades deixarão de ser entregues, sendo 5 na segunda semana e 5 na terceira semana. Estas quantidades correspondem ao fluxo indicado nos **arcos de factibilização** (os arcos tracejados que “saem” do nó-extremo à esquerda do grafo), cuja função é “escoar” a demanda não-atendida.

O problema de inadequação de capacidades observado entre os varejistas e o distribuidor estende-se ao longo da cadeia de suprimento. Mais 10 unidades de demanda deixam de ser atendidas entre o distribuidor e o montador, também nas semanas 2 e 3, uma vez que a capacidade de produção do montador (95 unidades/semana) é ainda menor que a do distribuidor. A empresa F_1 , que fornece componentes para o montador na razão de 4/1 e, por isso, tem demanda quatro vezes superior ao pedido do montador (i.e. $4 * (45 + 95 + 95 + 95) = 4 * 330 = 1320$), deixa de entregar um total de 60 componentes nas semanas 2, 3 e 4. De forma análoga, o fornecedor F_2 , que tem demanda de 660 componentes, deixa de entregar 30 peças por limitação de capacidade nas três últimas semanas.

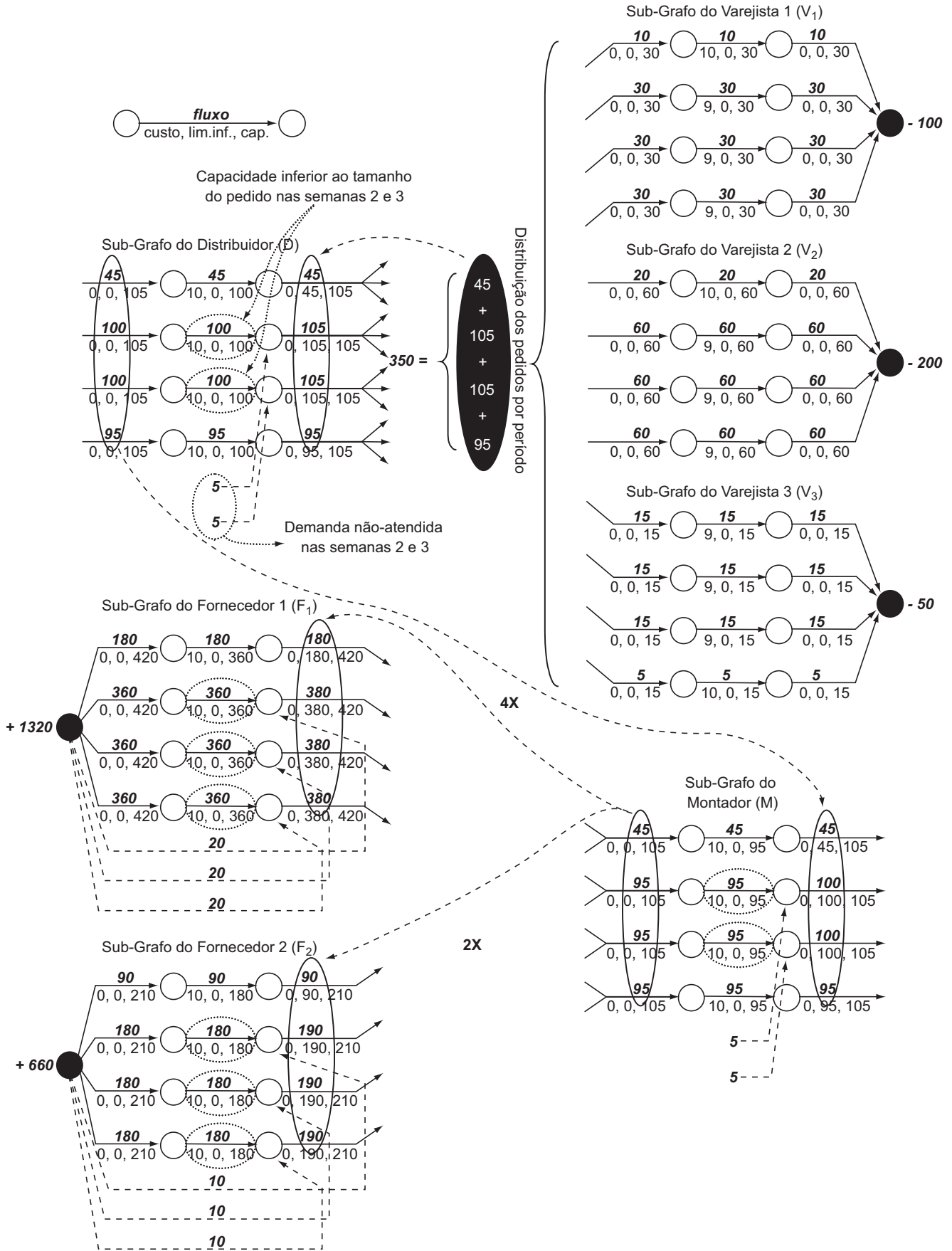


Figura 5. Modelo para o Cenário 1.

O cenário descrito aqui representa uma situação comum na prática. A empresa-cliente coloca seus pedidos baseando-se apenas no que pensa ser mais vantajoso para si, dentro de uma análise local de necessidades. A empresa-fornecedora acaba acatando a política da empresa-cliente, mesmo sem verificar as condições de honrar por completo seu compromisso, na expectativa de atender melhor o cliente. O resultado é o que se vê no exemplo: perda de efetividade em todos os níveis da cadeia de suprimento. Do ponto de vista financeiro, os custos do não-atendimento de um pedido são altos para a empresa-fornecedora, que pode sofrer alguma penalidade contratual pelo compromisso que deixou de cumprir. Por sua vez, a empresa-cliente também leva desvantagem, pois se sente obrigada a trabalhar com estoques de segurança grandes, para suprir falhas de abastecimento, o que se traduz em maiores custos. Na realidade, os prejuízos para a cadeia podem ser ainda maiores, pois o preço a ser pago pela insatisfação do consumidor final é imensurável.

3.2 Cenário 2: gestão com compartilhamento parcial da informação

A ineficiência da cadeia de suprimento modelada no primeiro cenário deve-se ao relacionamento não-cooperativo entre as empresas. Se as empresas compartilhassem informações de interesse comum, poderiam evitar as perdas observadas. Este segundo cenário estuda o caso em que as empresas predisõem-se a compartilhar maiores detalhes de seus planos de produção, permitindo o acesso antecipado aos objetivos semanais traçados pelo planejamento.

A Figura 6 ilustra o novo modelo, que conta agora com **arcos de armazenagem entre períodos** (os arcos verticais), conforme a modelagem apresentada anteriormente na seção 2. Os custos e capacidades de todos os arcos que já existiam no modelo anterior permanecem inalterados e os planos obtidos para os varejistas são os mesmos do cenário 1.

O modelo representa a seguinte situação: uma vez definidos os planos de produção dos varejistas, estes transmitem imediatamente para o distribuidor os requisitos de demanda para todas as semanas do mês. Da mesma forma, a montadora e seus fornecedores receberão informação com antecedência e serão capazes de atender na totalidade seus pedidos.

De posse da informação sobre a demanda futura, o distribuidor processa, na primeira semana, 10 unidades além da necessidade de entrega, antevendo os problemas de capacidade que ocorrerão nas semanas seguintes. Em outras palavras, as quantidades adicionais, que por limitação de capacidade não poderiam ser processadas nas semanas 2 e 3, são antecipadas para a semana 1 (na qual há capacidade ociosa) e ficam armazenadas para serem entregues convenientemente nos períodos futuros, con-

forme os fluxos indicados nos arcos de armazenagem da Figura 6.

Conclui-se, portanto, que uma maior cooperação entre as empresas, com a disponibilização de informações que permitam a visualização das necessidades de produção ao longo do tempo, pode eliminar perdas ao longo da cadeia e melhorar o desempenho de todos os membros, no sentido do aumento da competitividade do produto e da satisfação do cliente.

3.3 Cenário 3: gestão com compartilhamento total da informação

A situação descrita no segundo cenário, apesar de ser melhor que a do cenário 1, ainda não é ideal. Deve-se observar que, embora as fontes críticas de perdas tenham sido eliminadas, ainda existem melhorias a serem implementadas na cadeia por meio do **planejamento global** da produção.

Tanto no cenário 1 quanto no cenário 2, os grafos que representam as empresas estão desconectados entre si, emulando a otimização local nas empresas. Em nenhum dos dois casos as empresas compartilham informações referentes a custos e/ou capacidades. Para que seja possível a otimização global da cadeia, é necessário que os grafos estejam conectados o que, na prática, significa todas as empresas cooperando fortemente e compartilhando toda a informação disponível, inclusive capacidades e custos.

O modelo para o cenário 3 é apresentado na Figura 7. Os parâmetros são essencialmente os mesmos dos modelos anteriores, apenas foram retirados arcos de recebimento e entrega que são desnecessários no modelo global. A conexão entre os grafos dos fornecedores e o restante do modelo não pode ser feita por meio de arcos, pois o fluxo de componentes é diferente, em tipo e quantidade, do fluxo do produto principal. Então, tal conexão é feita por meio de restrições adicionais de acoplamento, conforme discutido na seção 2. Essas restrições fazem a **sincronização** entre as necessidades do montador e a produção dos fornecedores, e garantem que, para cada unidade de fluxo no montador, haja 4 unidades de um componente sendo produzidas no fornecedor F_1 e 2 unidades de outro componente sendo produzidas no fornecedor F_2 , para cada período de tempo.

Deve-se notar que os planos de produção obtidos diferem daqueles dos cenários anteriores, já que o modelo permite uma visão global – no tempo e no espaço – do problema de produção da cadeia. A situação aqui é a melhor possível, tanto em termos de custos (as despesas provenientes da armazenagem de produtos foram eliminadas) quanto em termos de atendimento ao cliente (a demanda é atendida completamente, sem utilização de estoque).

Obviamente, a modelagem apresentada neste terceiro cenário pode ser utilizada como ferramenta de suporte à

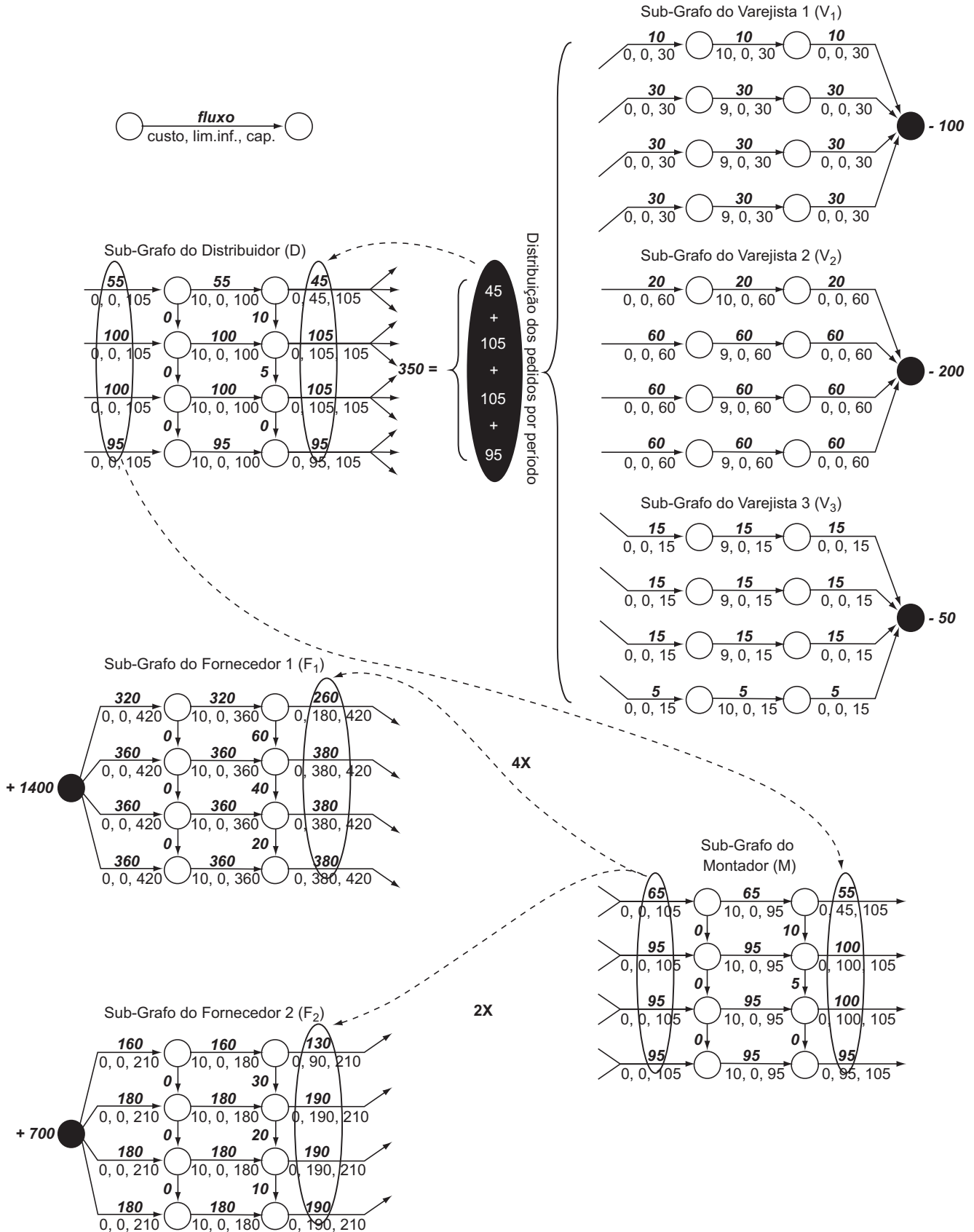


Figura 6. Modelo para o Cenário 2.

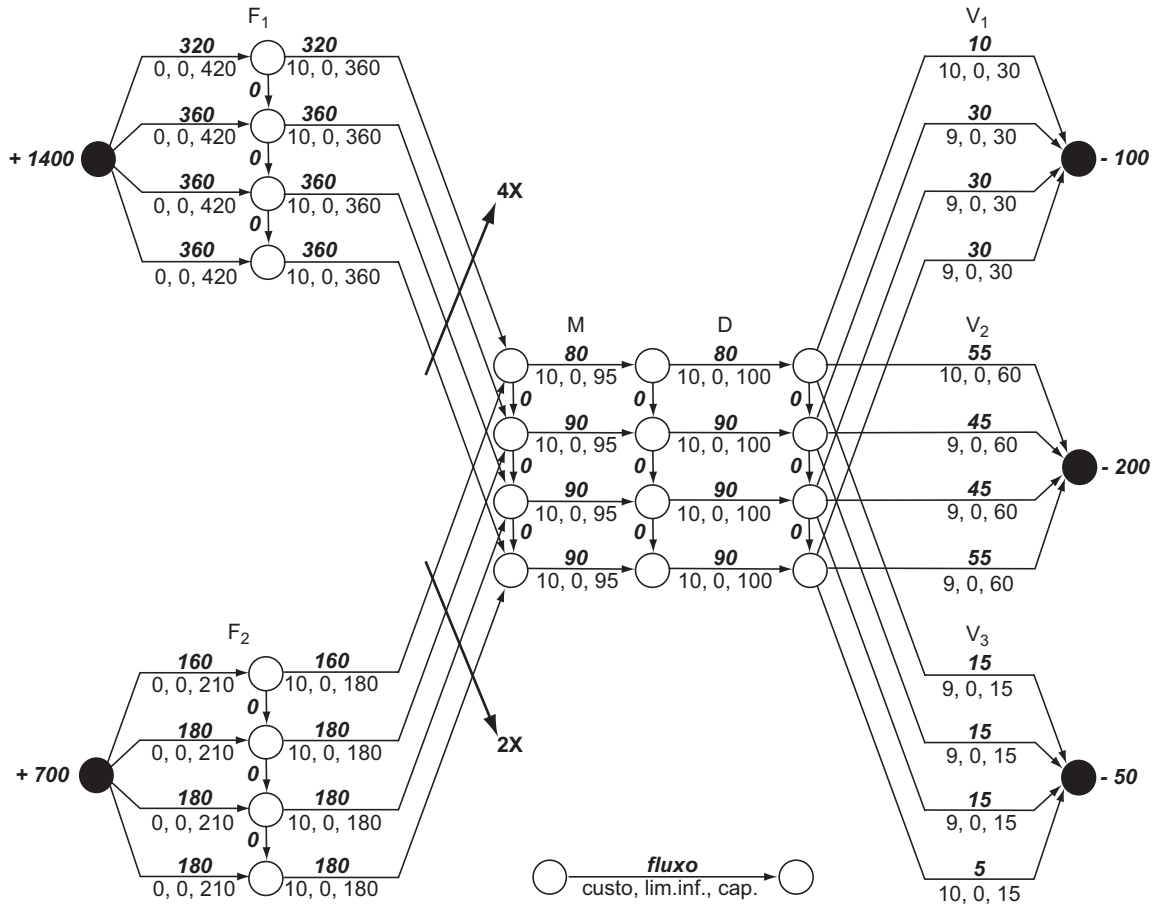


Figura 7. Modelo para o Cenário 3.

decisão no nível cooperativo de uma cadeia de suprimento. O objetivo do modelo é propor (e não impor) metas que sirvam de diretrizes para a operação das empresas e para a negociação entre elas, o que está coerente com o que foi discutido na introdução do trabalho. Este enfoque distribui a informação para todos os elementos da cadeia e, com isto, minimiza os possíveis problemas causados pelo efeito chicote. A Tabela 1 compara os resultados obtidos, em termos de atendimento da demanda, segundo os três enfoques. Nesta tabela, fica clara a evolução do nível de atendimento, com a eliminação progressiva dos fatores que tornam a cadeia menos competitiva.

Embora a centralização da decisão no nível cooperativo favoreça a gestão e minimize os custos da cadeia, como conclui o estudo, deve-se considerar que o emprego da política centralizada pode ser limitado por aspectos relacionados à **previsão de demanda, construção de confiança e governança**.

3.3.1 Previsão de demanda

Em muitos negócios, a representação da demanda é feita a partir de uma combinação de pedidos colocados (firmes) e de pedidos previstos (incertos). De certa forma, a parcela de incerteza presente na demanda define

o perfil do negócio e as políticas de fabricação e estocagem. Uma política de gestão centralizada, em que a quantidade de informação compartilhada é grande, deve funcionar melhor em cadeias de suprimento, nas quais a fabricação do produto somente se inicia após a colocação do pedido pelo cliente porque, neste caso, os “replanejamentos” ao longo do processo produtivo são menos frequentes (Arntzen e Shumway, 2002). Em cadeias que produzem para estoque, com pouca visibilidade da demanda firme, as incertezas complicam o ciclo de planejamento (ver seção 4), o que pode tornar menos atrativa a implementação do sistema centralizado.

3.3.2 Construção de confiança

A coordenação centralizada é inviável em relacionamentos inter-firmas nos quais não haja preocupação com a construção de confiança. Confiança é vista como a crença de que o parceiro realizará ações que resultarão em benefícios para a empresa em vez de atitudes inesperadas que resultem negativamente. De outra forma, é a crença de que o outro se comporta ou responde de forma previsível e mutuamente aceitável (Batt e Purchase, 2004).

A confiança evolui por meio do conhecimento e entendimento crescentes um do outro, por troca de expe-

Tabela 1. Sumário dos resultados.

Empresa	Cenário 1				Cenário 2				Cenário 3			
	D	DA	DNA	ATI	D	DA	DNA	ATI	D	DA	DNA	ATI
V ₁	100	100	0	0	100	100	0	0	100	100	0	0
V ₂	200	200	0	0	200	200	0	0	200	200	0	0
V ₃	50	50	0	0	50	50	0	0	50	50	0	0
D	350	340	10	0	350	350	0	15	350	350	0	0
M	340	330	10	0	350	350	0	15	350	350	0	0
F ₁	1320	1260	60	0	1400	1400	0	120	1400	1400	0	0
F ₂	660	630	30	0	700	700	0	60	700	700	0	0

Legenda:

D - Demanda;

DA - Demanda Atendida;

DNA - Demanda Não-Atendida;

ATI - Armazenagem Total Inter-Períodos

riências diretas. Por isso, ela é importante para entender expectativas para cooperação e planejamento em relacionamentos de longo-prazo, os quais têm sido adotados por muitas empresas em ambientes crescentemente competitivos (Miyamoto e Rexha, 2004).

A construção de confiança pode ser motivada por estudos que dão suporte à hipótese de que performance e confiança estão positiva e significativamente relacionadas. Em outras palavras, a confiança melhora a performance nos relacionamentos entre empresas (Möllering, 2003).

A confiança assegura que a informação disponibilizada ao longo da rede de empresas é “fornecida” e “obtida” de maneira homogênea. Este aspecto desestimula as firmas dentro de uma colaboração a agirem livremente de acordo apenas com seus próprios interesses, o que é essencial para a implantação com sucesso do sistema centralizado de gestão proposto neste trabalho.

3.3.3 Governança

O estudo de Humphrey e Schmitz (2003) fornece uma visão bastante completa sobre governança, outro aspecto importante que deve ser considerado para a viabilização da coordenação centralizada. Governança estabelece que alguma empresa determina ou controla os parâmetros sob os quais outras empresas de uma cadeia de suprimento irão trabalhar. Três dos principais parâmetros são: (1) o que deve ser produzido (projeto e especificação); (2) que processo de produção deve ser utilizado (qualidade, tecnologia, etc); e (3) quantidade a ser produzida, bem como onde e quando (logística e *scheduling*).

A governança pode ocorrer de diferentes formas e é exercida pela empresa que detém o **ativo-chave**. Pode haver três situações:

1. Governança exercida pelo **produtor**, em que os ativos-chave são produtivos, permitindo que grandes empresas de manufatura coordenem redes inter-organizacionais utilizando intensivamente capital e tecnologia (Exemplos: indústria automotiva e de aviação);

2. Governança exercida pelo **comprador**, em que os ativos-chave são comerciais, como a marca do produto/serviço e os canais de distribuição e vendas. Nesse caso, os coordenadores são os grandes varejistas, *designers* e redes de exportadores que controlam como, quando e onde a produção irá ocorrer, e que parcela do lucro deve ser aferida a cada estágio da cadeia, apesar de não possuírem nenhum ativo de produção (Exemplos: indústria de calçados e brinquedos, distribuidoras de autopeças e grandes hipermercados); e
3. Governança exercida pelo *cluster*, em que o ativo-chave é a própria organização dessas empresas.

Nos dois primeiros casos, o detentor dos ativos-chave deve ser o implementador do sistema de informação, pois a própria estrutura da cadeia, nestes casos, centraliza o fluxo de informação nas entidades de negócio. No terceiro caso, o sistema de informação deve ser implementado por uma empresa de *data center*, especializada em manter serviços de repositório de dados que incluem toda a administração dos recursos computacionais, instalações e a responsabilidade da segurança dos dados (cópias de segurança, controle de acesso, *firewalls*, etc.). A terceirização de infra-estrutura de tecnologia da informação já é adotada por muitas empresas e é uma solução mais adequada quando se pensa em um sistema de informação que envolve empresas organizadas em *clusters*.

3.4 Extensão do estudo: caso multiproduto

Esta seção estende o estudo anterior, para considerar o caso em que as empresas da cadeia de suprimentos processam mais de um produto simultaneamente. O objetivo é mostrar a aplicabilidade da modelagem de otimização no planejamento de um ambiente de multiprodução. A configuração física da cadeia considerada é idêntica àquela do primeiro estudo. A diferença está no processo produtivo, caracterizado agora pela fabricação de três

itens diferentes. A Figura 8 ilustra as três seqüências de produção. Note que as empresas M e D têm seus recursos compartilhados por produtos diferentes (a empresa M participa da fabricação dos produtos 1 e 3, enquanto a empresa D participa da fabricação dos produtos 1 e 2). As empresas restantes não compartilham recursos, pois cada uma tem participação no processo de apenas um dos itens fabricados.

No problema multiproduto, o compartilhamento dos recursos de uma empresa é traduzido pelo compartilhamento da capacidade produtiva desta empresa, o qual é modelado pela inclusão de **restrições adicionais de capacidade**. Estas restrições têm a forma

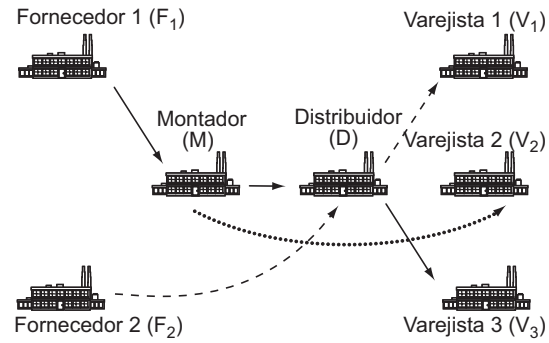
$$\sum_{p \in P_i} \frac{x_{ip}}{u_{ip}} \leq C_{it} \quad i \in I; t = 1, \dots, T \quad (4)$$

em que

- I : conjunto das empresas que compartilham recursos;
- T : quantidade de períodos do horizonte de planejamento;
- P_i : conjunto dos produtos que compartilham a empresa i ;
- C_{it} : capacidade da empresa i , no período t ;
- u_{ip} : capacidade de produção da empresa i , para o produto p , no período t ; e
- x_{ip} : variável que determina a quantidade do produto p a ser produzida na empresa i , no período t .

O papel das restrições (4) é garantir a não-violação das capacidades de produção das empresas que processam mais de um produto, uma vez que esta capacidade deverá ser compartilhada pelos diferentes produtos. O parâmetro C_{it} define a capacidade total disponível no período t , para processamento mútuo de produtos na empresa i . A ele é geralmente atribuído o valor 1, significando que a empresa i está operando com 100% de sua capacidade no período t . Porém, o parâmetro C_{it} poderia ser usado para modelar situações em que a empresa não dispõe de toda sua capacidade (caso em que $0 < C_{it} < 1$), ou mesmo situações em que existe capacidade adicional disponível (caso em que $C_{it} > 1$). O parâmetro u_{ip} expressa a taxa de produção máxima da empresa i para o produto p , no período t . Dessa forma, o quociente x_{ip}/u_{ip} representa a fração (nunca superior a 1) da capacidade da empresa i requerida pelo produto p no período t .

A Figura 9 mostra os grafos correspondentes ao modelo de fluxo em redes da cadeia ilustrada na Figura 8. Cada grafo representa a seqüência de produção de um determinado produto. Sendo o horizonte de planejamento discretizado em dois períodos ($T = 2$), cada empresa é representada, em cada grafo, por dois arcos, um para cada período. As capacidades (u_{ip}) das empresas M e D estão indicadas abaixo dos arcos. Note que a mesma empresa pode ter taxas de produção diferentes para produtos diferentes, já que um produto pode consumir mais



	Produto	Necessidade
→	1	130
- - -	2	110
⋯	3	90

Figura 8. “Caminhos” dos produtos na cadeia de suprimento.

tempo do que outro ao ser processado por esta empresa. Por exemplo, o montador é capaz de fabricar, por período, até 110 unidades do Produto 1 ou até 95 unidades do Produto 3, o que deve significar que, para o montador, o processo de fabricação do Produto 3 é mais complexo que o do Produto 1. As capacidades de todos os demais arcos que representam empresas, mas que não correspondem nem ao montador, nem ao distribuidor, são iguais a 100. Os arcos de fornecimento de material (à esquerda de cada grafo), de escoamento de demanda (à direita de cada grafo) e de armazenagem (verticais) têm capacidade ilimitada. Todos os arcos do modelo têm custo unitário. As quantidades que “entram” e “saem” de cada grafo (indicadas com sinais trocados ao lado dos nós-extremos) correspondem às demandas (necessidades) dos produtos, conforme indicado na Figura 8.

Se o montador e o distribuidor forem indexados, respectivamente, como $i = 1$ e $i = 2$, ($I = \{1,2\}$), teremos quatro restrições de capacidade mútua a acrescentar ao modelo, sendo o conjunto (a) relativo ao montador e o conjunto (b) relativo ao distribuidor, como mostra a Figura 9.

A Tabela 2 apresenta as soluções (planos de produção para a cadeia) obtidas para duas variantes do problema: sem priorização e com priorização de produtos. Observe que, embora cada grafo da Figura 9 disponha de capacidade suficiente para absorver totalmente a demanda do produto associado, tal capacidade não pode ser usada completamente, por causa das restrições de compartilhamento. Nesta situação, a cadeia não tem **capacidade mútua** suficiente para suprir as necessidades dos três produtos simultaneamente, devendo, portanto, adotar uma solução alternativa, como obter os itens excedentes de um fornecedor externo (subcontratação). Por exemplo,

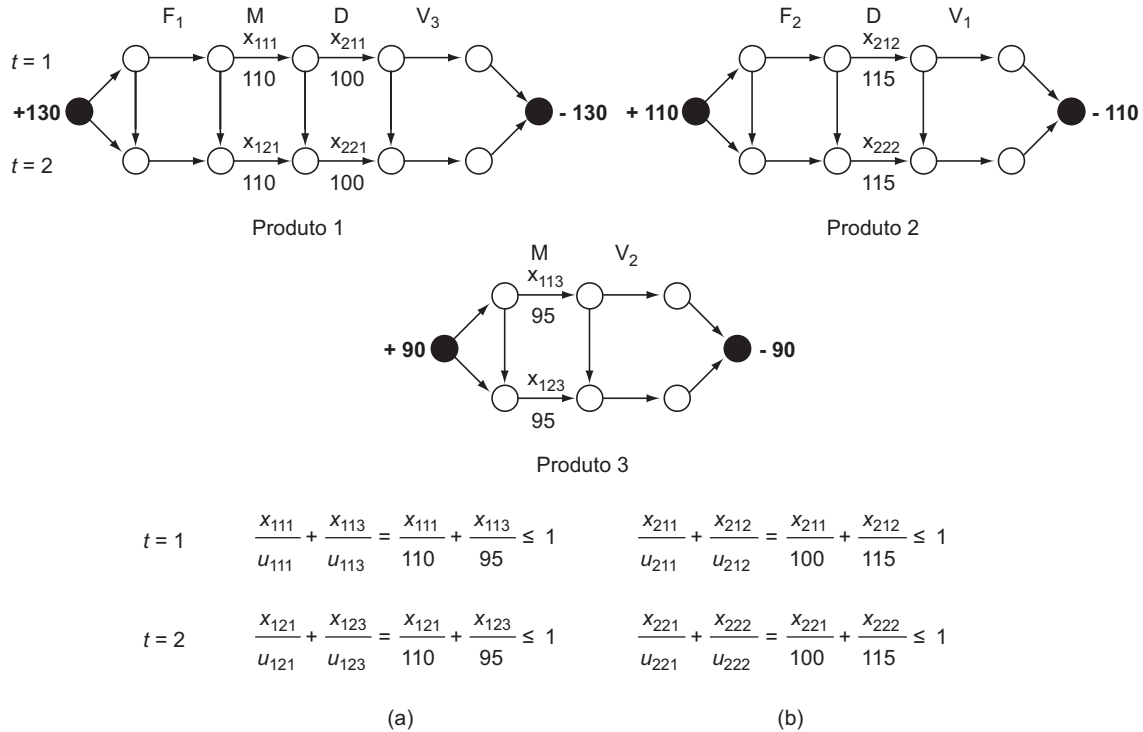


Figura 9. Grafos e restrições adicionais associados ao exemplo da Figura 8.

Tabela 2. Planos de produção para a cadeia.

	Sem Priorização			Priorizando o Produto 1		
	Produto 1	Produto 2	Produto 3	Produto 1	Produto 2	Produto 3
Período 1	91,30	10	6,26	100	0	8,64
Período 2	13,04	100	83,74	30	80,5	69,09
Subcontratação	25,66	0	0	0	29,5	12,27
Total	130,00	110	90,00	130	110,0	90,00

somando-se as capacidades dos dois arcos associados ao distribuidor, que é uma “empresa-gargalo” no grafo do Produto 1, conclui-se que a capacidade da cadeia para este produto é igual a 200, valor superior à demanda de 130. No entanto, a solução ótima, para o caso sem priorização, é produzir aproximadamente 104 unidades e subcontratar aproximadamente 25 unidades do Produto 1 (a fim de preservar a exatidão da formulação matemática, a Tabela 2 expressa os valores não-inteiros encontrados pelo algoritmo de otimização, com aproximação de até duas casas decimais. Entretanto, a grande maioria dos problemas de fabricação admite aproximações inteiras, sem prejuízo sensível do plano de produção).

Quando não há priorização, o algoritmo de otimização procura pela solução que minimize a subcontratação, considerada de alto custo para a cadeia. Em geral, soluções alternativas para suprir a demanda não-atendida, como a subcontratação, são caras ou até mesmo impossíveis, dependendo da disponibilidade de recursos e tempo. Por

isso, o melhor é evitar o não-atendimento da demanda, por meio de uma política adequada de gestão. Existem casos, porém, em que há interesse econômico em priorizar determinados clientes, colocando em segundo plano outros clientes considerados menos urgentes ou com os quais haja flexibilidade para negociação. No exemplo, a subcontratação mínima é obtida atendendo-se na totalidade às demandas dos Produtos 2 e 3, e atendendo-se parcialmente à demanda do Produto 1, como mostra a Tabela 2, para o caso sem priorização. Mas se for desejável priorizar a fabricação do Produto 1, por exemplo, pode-se fazê-lo por meio de uma manipulação simples do modelo, para induzir o algoritmo a evitar a subcontratação desse produto. De acordo com os dados da segunda metade da Tabela 2 (priorizando o Produto 1), tal política leva ao aumento da quantidade de itens subcontratados na cadeia, pois atende apenas parcialmente os clientes que necessitam dos Produtos 2 e 3. No entanto, como explicado anteriormente, esta é uma opção estratégica que

pode ser justificada pela eventual importância financeira dos clientes que demandam o primeiro produto.

4. Tecnologia para intercâmbio de dados e negociação

A resolução do problema de planejamento na cadeia de suprimento, por meio do enfoque de tratamento centralizado da informação, pode constituir um ciclo composto de diversos “replanejamentos”, até a obtenção de um plano de produção factível. Isso ocorre porque, em um ambiente cooperativo, as decisões não podem ser tomadas isoladamente, mas sim por meio de uma **negociação** envolvendo as partes interessadas. Rabelo e Klen (2000) explicam o processo: “A negociação envolve uma análise, feita por cada empresa, em termos de estratégias e decisões a serem tomadas, de acordo com a gravidade do problema. Tais decisões podem ter um nível de complexidade bastante amplo, variando de rápidas e fáceis decisões de apenas retardar o início de uma atividade qualquer da produção, a demorados e difíceis processos decisórios que podem culminar com o cancelamento de uma atividade, a troca de um fornecedor ou até mesmo a dissolução da cadeia”. Sendo assim, o planejamento será realizado por meio de uma sucessão de etapas que, dependendo do andamento da negociação, poderão repetir-se várias vezes (Figura 10).

4.1 Etapas do planejamento

Recebimento dos dados. Nesta etapa, o sistema de gestão centralizada recebe dados relativos a restrições de capacidade, prazos, custos, etc., que possibilitam a formulação de um plano de produção para a cadeia. A comunicação com o usuário é feita por meio de interfaces gráficas que permitam a visualização das rotas de produção ao longo da rede de empresas. Os dados fornecidos pelos usuários alimentam um banco de dados central (*blackboard*), que passa a conter toda a informação pertinente ao planejamento da cadeia.

Tratamento dos Dados e Geração do Plano. De posse de toda a informação relevante para o planejamento, o núcleo (que pode ser um otimizador, um simulador ou um método heurístico) do sistema gestor trata os dados e gera metas de produção, em termos de quantidades e prazos, para cada uma das empresas que compõem a cadeia.

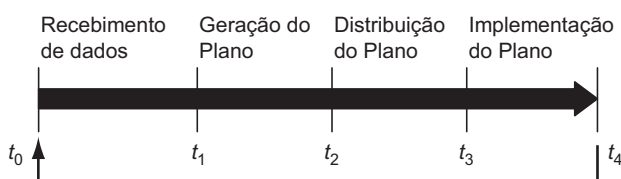


Figura 10. Ciclo de Planejamento.

Distribuição do Plano. O plano de metas proposto (jamais imposto) pelo nível cooperativo deve ser distribuído para todas as empresas. Esta distribuição pode ser “comandada” pelo próprio sistema de gestão, no qual podem ser definidos períodos (por exemplo, todos os dias em determinado horário) para a transmissão automática dos dados relativos às metas. Outra alternativa seria deixar a informação disponível no “*blackboard*”, para que as empresas acessem o plano remotamente no momento que melhor lhes convier. Esta opção, no entanto, pode ser indesejável, pois facilita a ocorrência de problemas de coordenação (i.e., empresas trabalhando, num mesmo momento, com planos desatualizados ou inválidos).

Implementação do Plano. Depois de receber o plano, cada empresa deve fazer uma análise das metas propostas, a fim de detectar possíveis inconsistências de planejamento e/ou a impossibilidade prática da realização do plano. Supondo-se que as restrições informadas pelas empresas (na fase de recebimento de dados) sejam coerentes, espera-se que as metas sugeridas pelo sistema gestor sejam realizáveis pelas empresas, ao menos num primeiro momento. Nesse caso, o plano é considerado factível e o ciclo de planejamento é momentaneamente encerrado. No entanto, por causa da dinâmica do mercado e dos imprevistos que normalmente acontecem no nível operacional, é provável que, depois de algum tempo, as metas precisem ser reavaliadas. Quando há a necessidade de reavaliação das metas, as empresas devem, inicialmente, tentar resolver o problema dentro do seu próprio âmbito de ação, por meio da negociação. Se o problema for considerado insolúvel no nível das empresas, então, novas restrições devem ser transmitidas para o nível cooperativo, iniciando-se um novo ciclo de planejamento.

As etapas descritas acima devem estar fortemente amparadas por protocolos de comunicação que possibilitem o intercâmbio da informação no formato desejado. A robustez destes protocolos, que podem ser comerciais ou de desenvolvimento próprio, vai depender do tipo e da quantidade dos dados a serem transmitidos. A seguir, propõe-se um projeto de protocolo para integração de empresas.

4.2 Protocolo para comunicação

As atividades relacionadas à reavaliação de metas e negociação devem ocorrer em intervalos de tempo determinados (diariamente, em determinado horário, por exemplo). No intervalo de tempo destinado à troca de informações, a primeira ação é o envio de dados de cada participante em nível cooperativo. Baseado neste modelo, um serviço distribuído para membros do grupo e um projeto de protocolo semi-centralizado (Diaz e Villemur, 1999) é sugerido (Figura 11). Nesta estrutura cada agente-empresa é responsável pelos dados que envia dentro do grupo cooperativo e o gestor tem a responsabilidade de supervisionar e controlar no tempo a evolução da es-

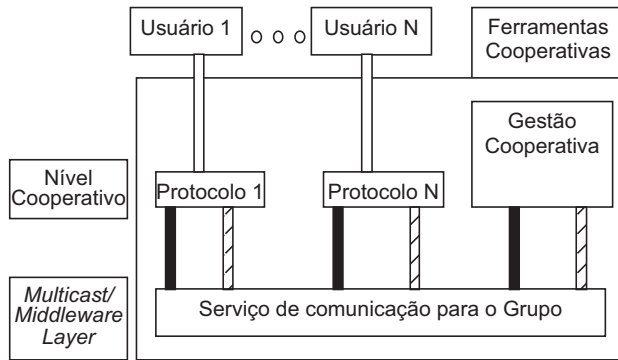


Figura 11. Estrutura para serviço de comunicação.

trutura cooperativa. Caminho inverso ocorre quando da comunicação das metas às empresas. Conforme discutido na seção 3, o elemento gestor (situado no nível cooperativo) estabelece as metas fornecidas pela ferramenta de otimização e as transmite aos usuários do serviço de comunicação.

Já existe um número grande de tecnologias para a implementação de serviços de comunicação distribuídos. Entretanto, o investimento financeiro neste tipo de aplicação pode variar consideravelmente. Grande parte das empresas, sobretudo aquelas que não têm condições de arcar com altos investimentos, estão em busca de soluções viáveis de alto desempenho e custos baixos. Neste contexto, a *Internet* surge como a melhor solução em termos de infraestrutura de comunicação, por ser uma rede pública, não envolver altos custos, ser flexível, possuir portabilidade e ser capaz de encapsular protocolos para organizar e acessar dados (Mundim e Bremer, 2000).

Java tem sido vista como a “nova direção” para aplicações distribuídas. *Java* é uma linguagem de programação segura e de fácil uso cujo atrativo é ser “baixável” para execução em navegadores *Web*. Para construir aplicações distribuídas, *Java* necessita estar “casada” com alguma

outra tecnologia que possibilite interação entre os componentes distribuídos. Acredita-se que, para aplicações industriais muito complexas, é apropriada uma infraestrutura mais extensiva baseada na combinação *Java-CORBA*. Neste sentido, existem propostas para integrar *Java* e *CORBA* de forma mais fechada. Tal integração deve fortalecer os benefícios das duas tecnologias, tornando sua combinação bem posicionada em relação à exploração do fenômeno da *Internet*.

5. Conclusões

Neste artigo foi apresentado um modelo de fluxo em redes que pode ser usado como ferramenta de apoio às atividades de planejamento estratégico/tático no nível cooperativo, segundo o conceito de gestão centralizada da cadeia de suprimento. O modelo foi estudado em três cenários envolvendo diferentes níveis de cooperação/integração entre as empresas. Concluiu-se que o desempenho da cadeia de suprimento, principalmente no que se refere à satisfação do cliente final, aumenta quando se utiliza a abordagem do planejamento centralizado.

Embora haja atualmente um incentivo à política de descentralização da produção e da decisão, a sugestão de um nível de decisão centralizado não é uma volta ao passado, mas a busca de integração dos negócios e diminuição de incertezas com relação a situações prováveis do futuro. A descentralização da produção não elimina a necessidade de coordenação das decisões de produção, mas sim modifica seu conteúdo e seus métodos, tirando proveito de características do processo decisório global que podem favorecer o conjunto de empresas.

Agradecimentos

Este trabalho foi apoiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

Referências Bibliográficas

- ARNTZEN, B. C.; SHUMWAY, H. M. Driven by Demand: A Case Study, **Supply Chain Management Review**, v. 6, n. 1, p. 34-41, Jan/Fev 2002.
- BATT, P. J.; PURCHASE, S. Managing Collaboration within Networks and Relationship, **Industrial Marketing Management**, v. 33, n. 3, p. 169-174, Abr 2004.
- CARVALHO, M. F.; CAMPOS, R. A Hierarchy for Cooperative Enterprise. **Proceedings of the IFAC/IFIP Conference on Management and Control of Production and Logistics (MCPL'97)**, Campinas, Brasil, p.420-425, Ago/Set 1997.
- CARVALHO, M. F.; FERNANDES, C. A. O. Planejamento da Produção de Manufatura por Fluxos em Redes. **Gestão & Produção**, v. 6, n. 1, p. 30-50, 1999.
- CLEAVES, G. **Supply Chain Planning Optimization in the Chemical Industry**, 2001. Disponível em: <http://www.wamsystems.com/elibrary>. Acesso em: julho de 2003.
- DIAZ, M.; VILLEMUR, T. **A Collaborative Membership Service and Protocol for Structured Groups, LAAS Report**, (link “Catalog” in “Documentation Center”, Report Number 99118), 1999. Disponível em: <http://

- www.laas.fr/laasve/index.htm>. Acesso em: 2 de abril de 2005.
- FORRESTER, J. W. **Industrial Dynamics**, Boston: MIT Press, 1961.
- HUMPHREY, J.; SCHMITZ, H. Governance in Global Value Chains, In: SCHMITZ, H. (ed.): **Local Enterprises in the Global Economy: Issues of Governance and Upgrading**. Cheltenham: Elgar, 2003.
- LEE, H. L.; PADMANABHAN, V.; WHANG, S. Information Distortion in a Supply Chain: the Bullwhip Effect. **Management Science**, v. 43, n. 4, p. 546-558, 1997.
- MIYAMOTO, T.; REXHA, N. Determinants of Three Facets of Customer Trust: A Marketing Model of Japanese Buyer-Supplier Relationship. **Journal of Business Research**, v. 57, n. 3, p. 312-319, Mar 2004.
- MÖLLERING, G. A. Typology of Supplier Relations: From Determinism To Pluralism in Inter-Firm Empirical Research. **Journal of Purchasing and Supply Management**, v. 9, n. 1, p. 31-41, Jan 2003.
- MUNDIM, A. P.; BREMER, C. F. Design of a Computer-Supported Cooperative Environment for Small and Medium Enterprises, In: CAMARINHA-MATOS, L.M.; AFSARMANESH, H.; RABELO, R.J. (ed.): **E-Business and Virtual Enterprises**, p. 113-126, Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- RABELO, R. J.; KLEN, A. P. Escalonamento Cooperativo Interorganizacional. **Gestão & Produção**, v. 7, n. 3, p. 226-246, 2000.
- REID, R. L.; ROGERS, K. J.; JOHNSON, M. E.; LILES, D. H. **Engineering the Virtual Enterprise**, 1996. Disponível em: <http://arri.uta.edu/eif/ve_ie.pdf>. Acesso em: 2 de abril de 2005.
- SIMCHI-LEVI, D.; KAMINSKY, P.; SIMCHI-LEVI, E. **Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies, and Cases**. McGraw-Hill, 2000.

INFORMATION SHARING AS AN ELEMENT OF PRODUCTION COORDINATION IN SUPPLY CHAINS

Abstract

This paper reports on a study of supply chain production planning in three distinct management and information-sharing scenarios, using an optimization model. The first scenario involves the use of only local information, while the second involves planning information scenario shared between company-client and company-supplier, and the third consists of global information sharing. This paper attempts to show how information sharing and coordination can improve overall supply chain performance. A technological tool to support communication among the members of the chain is also discussed.

Keywords: *supply chain management, production planning, coordination, cooperation, optimization.*